

3D PRINT
EXPO
TURKEY

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON 3D PRINTING TECHNOLOGIES(3D-PTS2016)

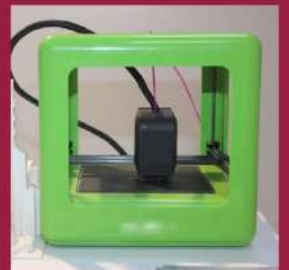
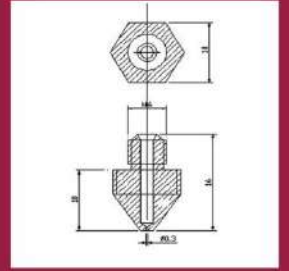
Important Dates

Extended Abstract Submission	: 30th December 2015
Accepted Abstracts' Notification	: 15th January 2016
Full Paper Submission	: 15th March 2016
Accepted Full Papers' Notification	: 15th April 2016
Symposium Program Notification	: 25th April 2016



Pullman Istanbul Convention Center

YEŞILKOY / ISTANBUL



SCIENTIFIC PROGRAM / BİLİMSEL PROGRAM

5 MAY 2016 / 5 MAYIS 2016

10:00-10:30	Registration / Kayıt		
10:30-10:45	Opening Speeches / Açılış Konuşmaları		Prof.Dr. Kerim ÇETİNKAYA (Karabük Üniversitesi)
			Hüseyin ARSLAN (Demos Fuarçılık)
			Prof.Dr. Mustafa YAŞAR (Karabük Üniversitesi)
			Uğur YURTTAŞ (infoTRON)
10:45-11:00	Keynote Speaker / Davetli Konuşmacı		Prof.Dr. Ersan ASLAN (Müsteşar - Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı)
1st. Session / 1. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Prof.Dr. Mustafa KURT
11:00-11:15	A BIOPRINTING APPLICATION BY USING A REP-RAP 3D PRINTER		Batuhan YILDIRIM, Berk Kemal PANK, Egemen KEÇECİ, Onat TOTUK, Ender YILDIRIM
	REP-RAP 3 BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK BİYO YAZICI UYGULAMASI		
11:15-11:30	PRODUCTION OF A HUMAN BRAIN VIA FUSED DEPOSITION MODELING USING MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI) SCAN DATA		Yılmaz GÜR, E. OKUCU
11:30-11:45	3D CERAMIC PRINT DESIGN AND PROTOTYPE		Aydın ÇALIŞKAN, Hatice EVLEN, Kerim ÇETİNKAYA
	3B SERAMİK YAZICISI TASARIMI VE PROTOTİPİ		
11:45-12:00	THE PRODUCTION OF OBJECTS WITH THREE DIMENSIONAL PRINTING TECHNIQUE		Gizem ACAR YAVUZ, Zeki KIRAL
	ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNİĞİ İLE NESNELERİN ÜRETİMİ		
12:00-13:00	Lunch / Öğle Yemeği		
2nd. Session / 2. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Doç.Dr. Süleyman SEMİZ
13:45-14:00	EFFECT ON DIMENSIONAL ACCURACY AND SURFACE QUALITY IN MANUFACTURING WITH 3D PRINTER		Şükrü ŞEN, Halil İbrahim DEMİRCİ, Birhan IŞIK
	3B PRINTER İLE İMALATTA ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BOYUTSAL DOĞRULUK VE YÜZEY KALİTELERİNE ETKİSİ		
14:00-14:15	DEVELOPMENT OF NOVEL MATERIALS FOR 3D PRINTERS		Ebubekir ÇANTI, Mustafa AYDIN, Ferhat YILDIRIM
14:15-14:30	ERGONOMIC GRIP DESIGN AND APPLICATION		Esra AKGÜL, Emel KIZILKAYA AYDOĞAN, Diyar AKAY, Cem SİNANOĞLU
	ERGONOMİK KABZA TASARIMI VE UYGULAMASI		
14:30-14:45	GELECEK; KALIPSIZ SERİ ÜRETİM		Eren TİGREL
14:45-15:00	EFFECTS OF FILLING PERCENTAGE ON MECHANICAL PROPERTIES OF PLA AND PET MATERIALS		Merve Ayfer ÖZDEMİR, Hatice EVLEN, Aydın ÇALIŞKAN
	DOLULUK ORANLARININ PLA VE PET MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ		
15:00-15:15	PRODUCTION OF PERSONEL IMPLANT DESIGNS WITH A 3D PRINTER		Mustafa KARAGÖZ, Afşın Alper CERİT
	KİŞİYE ÖZEL İMPLANT TASARIMLARININ 3 BOYUTLU YAZICILARLA ÜRETİLMESİ		
15:15-15:30	Coffee Break / Kahve Arası		
3rd. Session / 3. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Doç.Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ
15:30-15:45	INDUSTRIAL SIZES DOUBLE NOZZLE AND CARTESIAN TYPE 3D PRINTER DESIGN AND PROTOTYPING		Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA
	ENDÜSTRİYEL BOYUTLU ÇİFT BAŞLI KARTEZYEN TİPİ 3B YAZICI TASARIMI VE PROTOTİPİ		
15:45-16:00	3D PRINTERS AND THE FUTURE OF ARCHITECTURAL TECHNOLOGY		F.Elif TANDIRICIOĞLU, Semra ARSLAN SELÇUK
	3 BOYUTLU YAZICILAR VE GELECEĞİN MİMARLIK TEKNOLOJİSİ		
16:00-16:15	İÇİ BOŞ (SHELL) PRİZMALARIN YAZDIRILMASI İÇİN BİR YÖNTEM		Fuat KARTAL
	MASA ÜSTÜ 3 BOYUTLU YAZICILARIN POTANSİYEL RİSKLERİ		
16:15-16:30	3B YAZICI TASARIM YARIŞMASI FINAL SUNUMU		FİNALİSTLER
16:30-16:45	DIRECT METAL LASER SINTERING PROCESS AND USE OF Co-Cr IN DENTAL APPLICATION		Özkan ÖZMEN, Cem SİNANOĞLU
	DOĞRUDAN METAL LAZER SİNERLEME PROSESİ VE DENTAL ALANDA Co-Cr ÜRETİMİNDE KULLANIMI		
16:45-17:00	INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF PRINT-OUTS MANUFACTURED USING DIFFERENT PRINTING METHODS ON 3D		Halil İbrahim DEMİRCİ, Şükrü ŞEN, Buğra SEKBAN
	3B YAZICIDA FARKLI BASKI YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN ÇIKTILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ PRINTER		

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON 3D PRINTING TECHNOLOGIES (3D PTS2016)

3B BASKI TEKNOLOJİLERİ ULUSLARARASI SEMPOZYUMU (3B-BTS2016)

SCIENTIFIC PROGRAM / BİLİMSEL PROGRAM

6 MAY 2016 / 6 MAYIS 2016

10:00-10:30	Registration / Kayıt		
1st. Session / 1. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Prof.Dr. Cem SİNANOĞLU
10:30-10:45	STEREOTACTIC SYSTEM DESIGN AND MANUFACTURING		Cem SİNANOĞLU, Esra AKGÜL, Selahattin Orhan AKANSU, Bülent TUCER, Kadir PEKER
	STEREOTAKTİK SİSTEM TASARIMIVE İMALATI		
10:45-11:00	INDUSTRIAL SIZES 3D PRINTER HEATED BED DESIGN AND PROTOTYPING		Abdurrahim TEMİZ, Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA
	ENDÜSTRİYEL BOYUTLU ISITMALI 3B YAZICI TABLASI TASARIMI VE PROTOTİPİ		
11:00-11:15	DEVELOPMENT OF MULTI AXIS RAPID PROTOTYPING PLATFORM USING FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) METHOD		Mücahit SOYASLAN, Mustafa KURT, Ergün NART
	ERGİYİK BİRİKİMLİ MODELLEME (FDM) TEKNİĞİ İLE ÇOK EKSENLİ HIZLI ÖRNEKLEME PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ		
11:15-11:30	VERTICAL EKSTRUZYON (FILAMENT) SYSTEM DESIGN AND PROTOTYPING		Mustafa AYDIN, Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA
	DİKEY EKSTRÜZYON (FILAMENT) SİSTEMİ TASARIM VE PROTOTİP İMALATI		
11:30-11:45	PERSONAL REFLEXOLOGY FOOTPAD MANUFACTURING WITH 3D PRINTER		Berat Barış BULDUM, Çağdaş YILMAZ, Ali AKDAĞLI, Ezgi KARA
	KİŞİYE ÖZGÜ REFLEKSOLOJİ TABANLIKLARIN TASARIMI		
11:45-12:00	HIZLI PROTOTİPLEME İLE ÜRETİM SÜRECİNDEKİ GELİŞMELER VE TÜRKİYEDEKİ KULLANIM ANALİZİ		Hakan GÜZELGÖZ
	3B YAZICI MALZEMELERİ VE SANAYİ, MEDİKAL, BIOPRINTING ALANINDAKİ GELİŞMELER, 3B YAZICI İLE YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ		
12:00-13:00	Lunch / Öğle Yemeği		
2nd. Session / 2. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Doç.Dr. Ergün NART
13:45-14:00	PERSONAL IMPLANT MANUFACTURING WITH 3D PRINTER 3B YAZICI İLE KİŞİYE ÖZGÜ İMPLANT TASARIMI		Ezgi KARA, Berat Barış BULDUM, Çağdaş YILMAZ, Nazım ÖZKAYA
14:00-14:15	THE FAULTS OF PROTOTYPE PARTS PRODUCED WITH FDM TECHNOLOGY AND PREVENTION OF THESE FAULTS		Hakan MADEN, Ömer Şaban KAMBER, Erkan DİPCİN, Haydar UĞUR, Bilal ÖZSARIKAYA, Alim İGNECİ
	FDM TEKNOLOJİ İLE ÜRETİLEN PROTOTİP PARÇALARININ HATALARI VE HATALARIN ÖNLENMESİ		
14:15-14:30	FARKLI ORANLARDA AHŞAP TOZU PLA KARIŞIMI İÇEREN FİLMAMENTLERİN ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ		Ebru GÜRBÜZ , Murat AYDIN, Özkan ÖZ, Suat ALTUN
	INVESTIGATING PRODUCTION OF PLA-WOOD POWDER FILMANETS CONTAINS DIFFERENT WOOD POWDER		
14:30-14:45	USING HIGH TORQUE STEPPER ON INDUSTRIAL 3D PRINTERS		Erşah AKGÜL, Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA
	3 BOYUTLU ENDÜSTRİYEL YAZICILARDA YÜKSEK TORKLU ADIM MOTORLARIN KULLANILMASI		
14:45-15:00	ASELSANDA HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMİ VE UYGULAMALARI		Alper ATAĞ
15:00-15:15	İZMİT BELEDİYESİ GENÇLİK VİZYON PROJESİ "3B YAZICI VE TASARIM MERKEZİ"		Veysel Arif YÜKSEL
15:15-15:30	Coffee Break / Kahve Arası		
3rd. Session / 3. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Prof.Dr. Cevdet GÖLOĞLU
15:30-15:45	OUTLINE MANSYS PROJECT, BERENSCHOT		Onno ponfoort,
	3B YAZICILAR ÜZERİNE ManSYS PROJELERİ		
15:45-16:00	MANSYS SUPPLY CHAIN, BERENSCHOT		Hans van Toor
	3B YAZICILAR ÜZERİNE ManSYS TEDARİK ZİNCİRİ		
16:00-16:15	SHOWCASING THE WORKFLOW		Jeremy COUSIN
	3B YAZICILARDA İŞ AKIŞI VE ÖRNEK UYGULAMA		
16:15-16:30	OPTIMIZING DESIGN, BERENSCHOT		Hans van Toor
	3B YAZICILAR İÇİN OPTİMUM TASARIM		
16:30-16:45	OUTLINE ASSURANCE AND CONTROL		Jeremy COUSIN
	3B BASKI TEKNOLOJİLERİNDE KALİTE GÜVENCE VE KONTROLÜ		
16:45-17:00	QUALITY ASSURANCE AND CONTROL, BERENSCHOT		Onno ponfoort
	TARTISMA - DEĞERLENDİRME		

SCIENTIFIC PROGRAM / BİLİMSEL PROGRAM

7 MAY 2016 / 7 MAYIS 2016

10:00-10:30	Registration / Kayıt		
1st. Session / 1. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Prof.Dr. H. Rıza BÖRKLÜ
10:30-10:45	PROBLEMS ENCOUNTERED DURING THE RAPID PROTOTYPING AND THEIR SOLUTION PROPOSALS HIZLI PROTOTİP OLUŞTURMADA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		H. Rıza BÖRKLÜ, A. Kıvanç YILDIRIM, H. Kürşad SEZER
10:45-11:00	INVESTIGATION OF 3D PRINTER PROCESS PARAMETERS EFFECTS ON FUNCTIONAL PRODUCTS STRENGTH 3B YAZICI İŞLEM PARAMETRELERİNİN İŞLEVSEL ÜRÜNLERİN DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ		Cevdet GÖLOĞLU, Emir Ömer AKBAŞ
11:00-11:15	3D PRINTING AND MODELING OF ANATOMICAL STRUCTURES OF HUMAN BODY FOR THE TRAINING OF MEDICINE AND HEALTH SCIENCES TIP VE SAĞLIK BİLİMLERİ EĞİTİMİ İÇİN İNSAN VÜCUDUNDAKİ ANATOMİK YAPILARIN MODELLENMESİ VE 3 BOYUTLU BASKISI		Eylül DEMİR, İhsan TOKTAŞ
11:15-11:30	INVESTIGATION OF EFFECTS OF PRINTING PARAMETERS & POSITIONING ON SURFACE ROUGHNESS USING 3D PRINTER ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA BASKI PARAMETRELERİ VE KONUMLANDIRMANIN ÇIKTI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ		Birhan IŞIK, Halil İbrahim DEMİRCİ, Süleyman SEMİZ
11:30-11:45	3D PRINT DESIGN AND INVESTIGATION MECHANICAL PROPERTIES EFFECT OF THE PRINT OCCUPACY RATE 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE YAZDIRMA DOLULUK ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ		Gülçin EREL, Elif YILMAZ, Hatice EVLEN
11:45-12:00	3D FOOD PRINTER DESIGN AND PROTOTYPE 3 BOYUTLU YİYECEK YAZICISI TASARIMI VE PROTOTİPİ		Gülce KAYA, Hatice EVLEN, Kerim ÇETİNKAYA
12:00	TASARIM YARIŞMASI ÖDÜL TÖRENİ		
12:00-13:00	Lunch / Öğle Yemeği		
2nd. Session / 2. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Doç.Dr. Mustafa BOZDEMİR
13:45-14:00	DEVELOPMENT OF 3D TRAINING MODEL FOR WEAPONS MECHANICAL SYSTEMS SİLAH MEKANİK SİSTEMLERİ İÇİN 3 BOYUTLU EĞİTİM MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ		Mustafa BOZDEMİR
14:00-14:15	PRINTING INDUSTRIAL PRODUCTS USING 3D PRINTER, COMPARISON OF SURFACE PROCESSING AND MECHANIC PROPERTIES 3B YAZICILARDA ENDÜSTRİYEL ÜRÜN YAZDIRMA VE ÜST YÜZEY İŞLEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI		Abdullah Altın, Derya ÇELİK, Kerim ÇETİNKAYA
14:15-14:30	APPLICATION OF LOM FOR PRODUCTION OF EPS MODELS FOR CASTING: A CASE STUDY WITH SAMPLE DIE DESIGN USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY DÖKÜM İÇİN EPS KÖPUK MODELLERİN ÜRETİLMESİNDE LAMİNASYON BASKI TABANLI YÖNTEMİN ADAPTASYONU: OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEN ÖRNEK BİR KALIP ÜZERİNDE UYGULAMASI		Bülent KAYA , Zeycan DUVARCI
14:30-14:45	THE DEFECTS OF STL FILES WHICH ARE USED IN ADDITIVE MANUFACTURING AND THEIR FIXING METHODS EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN STL DOSYALARININ HATALARI VE ONARIM YÖNTEMLERİ		Burhan DUMAN, Cengiz KAYACAN
14:45-15:00	EFFECTS OF DIFFERENT FILL PATTERNS ON MECHANICAL PROPERTIES OF PET AND ABS MATERIALS FARKLI DOLGU ÖRÜNTÜLERİNİN PET VE ABS MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ		Hatice EVLEN, Merve A. ÖZDEMİR, Mesut AYDOĞDU
15:00-15:15	DUAL EXTRUDER 3D PRINTER DESIGN AND MANUFACTURING ÇİFT EKSTRUDERLİ ÜÇ BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE İMALATI		Yasin DOĞAN, Muhammet Ali ÖCEL, Bilçen MUTLU, Gürcan ATAKÖK
15:15-15:30	Coffee Break / Kahve Arası		
3rd. Session / 3. Oturum		Chairman / Oturum Başkanı	Doç.Dr. Birhan IŞIK
15:30-15:45	DESIGN AND PRODUCT TESTING OF 3 DIMENSIONAL PRINTERS 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE ÜRÜN TESTİ		Tuğba AKÇAY, Süleyman SEMİZ, Şeref AYKUT
15:45-16:00	CARBON FIBER REINFORCED ABS FILAMENT MANUFACTURING AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES FDM İÇİN KARBON FİBER TAKVİYELİ ABS FILAMENTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI		H. Kürşad SEZER, Oğulcan EREN, H. Rıza BÖRKLÜ
16:00-16:15	THE USE OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF PROFESSIONAL MAKEUP PROFESYONEL MAKYAJ ALANINDA 3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI		M. Sevtap AYTUĞ
16:15-16:30	DESIGNING AND MANUFACTURE OF DOUBLE HEAD DELTA TYPE THREE DIMENSIONAL PRINTER DELTA TİPİ ÇİFT BAŞLI ÜÇ BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE İMALATI		Süleyman SEMİZ, Mesut AYDOĞDU, Birhan IŞIK
16:30-16:45	3D PRINTER DESIGN AND PROTOTYPE FOR CAKE DECORATIONS YAŞ PASTA SÜSLEMELERİ İÇİN 3D YAZICI TASARIMI VE PROTOTİPİ		Murat SUBAŞI, Azab ÖZCAN, Şeref AYKUT
16:45-17:00	IMPROVEMENTS OF STL DATAS FOR MANDIBULAR BONE REGENERATION IN ORDER TO 3B PRINT ÇENE KEMİĞİ ONARIMINDA 3B YAZICIYA YÖNELİK OLARAK STL DOSYALARININ İYİLEŞTİRİLMESİ		Serap ÇELEN
17:00	KAPANIŞ		



Değerli Katılımcımız,

1. 3B BASKI TEKNOLOJİLERİ ULUSLARARASI SEMPOZYUMU (3B-BTS2016) 5-7 Mayıs 2016 tarihlerinde **Demos Fuarcılık tarafından Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü işbirliği ile Pullman İstanbul Convention Center De** düzenlenmesine karar verilmiştir.

” Üç boyutlu üretim neredeyse tüm imalat yöntemlerinden devrim yaratma potansiyeline sahip bir teknolojidir”.

Şirketler üç boyutlu yazıcılar üretim merkezleri sayesinde savunma bakanlığı ile ortaklık oluşturarak, globalleşme nedeniyle göz ardı edilmiş bölgeleri yüksek teknoloji iş merkezleri haline dönüştüreceklerdir.

Üç boyutlu yazıcıları bu kadar cazip kılan özellik ise var olan üretim teknolojileriyle yapılması imkânsız ya da makul olmayan bir şeyi elde edebilme imkânı. 3D Printerlar bir çok farklı teknolojileri kullanarak üretim yapabilmektedir. Günümüzde en popüler yöntem FDM (Fused Deposition Modelling) yada eklemeli yığılma teknolojisidir. FDM den sonra en sık kullanılan ikinci yöntem SLS (selective laser sintering) seçici lazer sinterlemedir. Plastiğin, metalin ve diğer maddeleri bir lazer veya ısıtma ünitesi kullanarak eritip katmanlar halinde üretim gerçekleştirilir. Bu teknoloji o kadar yaygınlaşacak ki tüm dünyanın üretim şeklini etkilemesi kaçınılmazdır. Bunlar başlıca; uzay araştırmaları, savunma, tıp, taşıma, yiyecek, hediyeleşme eşya, oyuncak, inşaat, moda, sanat. Günümüzün elektrikli otomobilleri 3D printer den çıkıyor artık.

Gelecek de her eve en az iki tane lazım. Birincisi mutfak da kurabiye pasta benzeri hamur işleri için ve ikincisi çocukların kendi oyuncaklarını tasarlayıp üretim oynaması için olacaktır.

Bu teknolojinin 20 yıldan bu yana yeni ürün tasarımlarını test etmek için üretilen modellerde ve prototiplerde zaten kullanılıyor olması 3D yazıcının özel, ayırık parçaları talebe karşılık hiçbir fabrika zincirine gerek duymadan üretmede olan güçlü yeteneğidir. Bazı endüstriyel ürünler için fabrika alanı olmayacak, belki evler üretim kümelenmesine dahil olacaktır. Örneğin jet uçaklarında küçük parçalarda yapılacak değişimlerde ya da kişiye özel çene kemiği gibi implantların getirdiği kullanışlılık 3D yazıcıları birinci sıraya çıkarıyor.

Word gibi herkesimin ulaşabileceği ve kolayca kullanabileceği programlar gerekir bu geleceği parlak üretim yönteminde. Örneğin, çocuklar için oyuncak tasarım programları, mutfak için hamur işleri programları, ki bunlar parametrik olmalı ki istenilen boyutlara erişilebilsin. Geleceği parlak olan bu teknolojiye üniversiteler, endüstri, devlet kurumları birlikte organize merkezler kurmalı ki dünya ile paralel gidelim. Gelecek de bayilere mal taşınmayacak, gelecek de fabrikalar depo tutmayacak, bayiler ürün programı kullanıcıları, fabrikalar tasarım ve malzeme tedarikçisi olacaktır. Gece makineler üretecek gündüz çalışanlar pazarlayacaktır.

3D BASKI TEKNOLOJİLERİ nin uygulama ve araştırmasına gönül veren herkesi bu sempozyumda aramızda görmek istiyoruz. Aramızdaki paylaşım ve iletişim ne kadar artarsa;

- Eğitim kurumları ve şirketler arasında bilgi paylaşım ağı oluşturulması,
- “3D printing” konusunda araştırma geliştirme faaliyetleriyle daha verimli ve esnek üretim teknolojileri geliştirilmesi,
- Öğrenciler, çalışanlar ve akademisyenler bu yeni teknolojiler konusunda bilgi paylaşımı sonucu ileri üretim teknolojilerinin getireceği yeniliklere adapte olabilen yüksek yeteneğe sahip iş gücü oluşturmaya katkı sağlayıp, Inovatif üretim merkezleri kurulmasına öncü olunacaktır.

Geleceğin dijital fabrikalarının teknolojisini ve uygulayıcılarını buluşturan Demos Fuarcılık **5 – 7 Mayıs 2016** tarihlerinde 3. 3D Baskı Teknolojileri Fuarı ile birlikte düzenlenecek olan 1.3B BASKI TEKNOLOJİLERİ ULUSLARARASI SEMPOZYUMU (3B-BTS2016)'na sizleri davet etmekten memnuniyet duymaktayız.

Sempozyumda görüşmek dileği ile,

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Sempozyum Düzenleme Kurulu Başkanı

KONULAR

A) PROGRAM - KONTROL ve TEKNOLOJİLERİ

Kontrol Programları

Tasarım Programları

3D Tarama Teknolojileri

DMLS Teknolojileri

SLA Teknolojileri

SLS Teknolojileri

FDM Teknolojileri

Dijital Üretim Teknolojileri

Diğer 3D-Printer Teknolojileri

B) TASARIM, MODELLEME VE ANALİZ

3D Printer Tasarımı

Ekstruder Tasarımı

Ürün Geliştirme

Seramik sistemler tasarımı

Yiyecek sistemleri Tasarımı

Tabla sistemleri tasarımı

Elektronik Elemanlar

Mekanik Elemanlar

Standart Elemanlar

C) FİLAMENT MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Plastik malzemeler

Esnek malzemeler

Biyo malzemeler

Metal Malzemeler

Ahşap Malzemeler

Kompozit Malzemeler

D) UYGULAMA ALANLARI

Medikal Uygulamalar

Yapı Uygulamaları

Kalıp Uygulamaları

Mimarlık Uygulamaları

Model Uygulamaları

Prototip Uygulamalar

Görsel Sanatlar Uygulamaları

Tekstil Uygulamaları

Dijital Fabrikalar

KURULLAR

ONUR KURULU

Bilim ve Teknoloji Genel Müdürü	
Prof. Dr. Durmuş GÜNAY üyesi	YÖK Yürütme kurulu
Prof. Dr. Süleyman BÜYÜKBERBER Rektörü	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. M. Emin ARAT Rektörü	Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Muhammet GÜVEN Rektörü	Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Refik POLAT Rektörü	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU Yardımcısı	TÜBİTAK Başkan

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa KURT	Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU	Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Cevdet GÖLOĞLU	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Süleyman SEMİZ	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Birhan IŞIK	Karabük Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN	Karabük Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Hatice EVLEN	Karabük Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Erkan LİKOS	Karabük Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. H. Kürşad SEZER	Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Özkan ÖZ	Karabük Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Raşit ESEN	Karabük Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Cemal ÖZCAN	Karabük Üniversitesi

SEKRETERYA

Rümeysa CEREN	Demos Fuarcılık
Ufuk AKSOY	Demos Fuarcılık

Murat AYDIN	Karabük Üniversitesi
Mustafa AYDIN	Karabük Üniversitesi
Abdurrahim TEMİZ	Karabük Üniversitesi
Gülce KAYA	Karabük Üniversitesi
Pınar ÖZKARA	Karabük Üniversitesi
Erşah AKGÜL	Karabük Üniversitesi

AKADEMİK BİLİM KURULU

Prof. Dr. Ahmet BİRİNCİ Üniversitesi	Karadeniz Teknik
Prof. Dr. Aydın DURMUŞ	Batman Üniversitesi
Prof. Dr. Bedri TUÇ	Başkent Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent EKİCİ	Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Can ÇOĞUN	Çankaya Üniversitesi
Prof. Dr. Cevdet GÖLOĞLU	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Erol UYAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Faruk ÜNSACAR	KTO Karatay Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan IŞIK	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan YAVUZ	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Hanifi GÜLDEMİR	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ İmam Üniversitesi	Kahramanmaraş Sütçü
Prof. Dr. İbrahim KADI	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. İlhan TARIMER Üniversitesi	Muğla Sıtkı Koçman
Prof. Dr. İhsan KORKUT	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. M. Cengiz KAYACAN Üniversitesi	Süleyman Demirel
Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet TÜRKER	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV	Celâl Bayar Üniversitesi

Prof. Dr. Murat BENGİSU	İzmir Ekonomi Üniversitesi	Doç. Dr. Mustafa BOZDEMİR	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa ÇANAKCI	Kocaeli Üniversitesi	Doç. M.Sevtap AYTUĞ	Gelişim Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa YAŞAR	Karabük Üniversitesi	Doç. Dr. Serap ÇELEN	Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Nihat YILDIRIM	Gaziantep Üniversitesi	Doç. Dr. Süleyman SEMİZ	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Osman YAZICIOĞLU Üniversitesi	İstanbul Ticaret	Doç.Dr. Turhan KURŞUN	Cumhuriyet Üniversitesi
Prof. Dr. Osman GÜRDAL Üniversitesi	Bursa Orhangazi	Doç. Dr. Volkan KOVAN	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ Üniversitesi	Süleyman Demirel	Yrd. Doç. Dr. Afşin Alper CERİT	Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Rıza GÜRBÜZ Üniversitesi	Çankırı Karatekin	Yrd. Doç. Dr. Ahmet ONUR	Avrasya Üniversitesi
Prof. Dr. Sadettin HERDEM	Selçuk Üniversitesi	Yrd. Doç.Dr. Ahmet YAZICI Üniversitesi	Eskişehir Osmangazi
Prof. Dr. Salih OKUR Üniversitesi	İzmir Katip Çelebi	Yrd. Doç. Dr. Barış BULDUM	Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ	Selçuk Üniversitesi	Yrd.Doç.Dr.Bilçen MUTLU	Marmara üniversitesi
Prof. Dr. Zeki KIRAL	Dokuz Eylül Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Bülent KAYA	Erciyes Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah ALTIN	Yüzüncü Yıl Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Cemal ÖZCAN	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN	Gazi Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Derya HAROĞLU	Erciyes Üniversitesi
Doç. Dr. Arif GÖK	Amasya Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Ender YILDIRIM	Çankaya Üniversitesi
Doç. Dr. Birhan IŞIK	Karabük Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Erkan LİKOS	Karabük Üniversitesi
Doç.Dr. Candan EFEOĞLU	Ege Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Fuat KARTAL	Kastamonu Üniversitesi
DOÇ. Dr Ergun NART	Sakarya Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Gültekin BASMACI Üniversitesi	Mehmet Akif Ersoy
Doç. Dr. Eyüp BAĞCI	Yıldız Teknik Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Gürcan ATAKÖK	Marmara üniversitesi
Doç. Dr. Fatih BAŞÇİFTCİ	Selçuk Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. Hatice EVLEN	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. H.Güran ÜNAL	Kastamonu Üniversitesi	Yrd. Doç.Dr. Hilal CAN	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ	Karabük Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. H. Kürşad SEZER	Gazi Üniversitesi
Doç.Dr. İsmail UCUN Üniversitesi	Afyon Kocatepe	Yrd. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ Üniversitesi	Namık Kemal
Doç.Dr. Muhammet UZUNTARLA	Bülent Ecevit Üniversitesi	Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ Üniversitesi	Yıldırım Beyazıt
Doç.Dr. Naci KURGAN Üniversitesi	Ondokuz Mayıs	Dr. Kadir GÖK Üniversitesi	Dumlupınar
Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU Üniversitesi	İskenderun Teknik	Yrd. Doç. Dr. Metin TOZ	Düzce Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ Mehmetbey Üniversitesi	Karamanoğlu	Yrd. Doç. Dr. Murat BALCI	Bayburt Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa AYDIN	Dumlupınar Üniversitesi	Yrd. Doç.Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN	Trakya Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Nurettin AKÇAKALE Üniversitesi	Abant İzzet Baysal	Dr. Burhan DUMAN Üniversitesi	Süleyman Demirel
Yrd.DoçDr. Özdoğan KARAÇALI	İstanbul Üniversitesi	Assoc. Prof. Dr. V. LOKESHA, INDIA	V.S. K. University,
Yrd. Doç. Dr. Özkan ÖZ	Karabük Üniversitesi	Dr. Nik Norsyahariati NIK DAUD, MALAYSIA	University Putra,
Yrd. Doç. Dr. Raşit ESEN	Karabük Üniversitesi	Assoc. Prof. Dr. Daqing GUO, Science and Technology, CHINA	University of Electronic
Yrd.Doç.Dr. Salih ÖZER Üniversitesi	Muş Alparslan	Prof. Dr. İbrahim N. TANSEL, University, USA	Florida International
Yrd. Doç. Dr. Özgün BAŞER Üniversitesi	İzmir Katip Çelebi	Dr Emeka AMALU, Wolverhampton, UNITED KINGDOM	University of
Yrd. Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN	Erciyes Üniversitesi	Assist. Prof. Dr. Sanjay SHARMA, Management Technology Institute, INDIA	Rooke Engineering &
Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN	Karabük Üniversitesi	Dr. Ravindra W. GAIKWAD, Engineering College, INDIA	Pravara Rural
Yrd. Doç. Dr. Şaban BÜLBÜL	Şırnak Üniversitesi	Assoc. Prof. Dr. Sanjeev KUMAR, Science & Technology, INDIA	YMCA University of
Yrd.Doç.Dr. Şeref AYKUT	Bitlis Eren Üniversitesi	Prof. Dr. Tahir Imran QURESHI, Engineering of Technology, PAKISTAN	NFC-Institute of
Yrd. Doç. Dr. Ünal KURT	Amasya Üniversitesi		
Yrd. Doç. Vedat TAŞKIN	Trakya Üniversitesi		
Yrd.Doç.Dr. Yılmaz GÜR	Balıkesir Üniversitesi		
Yrd.Doç.Dr. Zafer Ömer ÖZDEMİR	Kırklareli Üniversitesi		



05-07 MAYIS / MAY 2016

3B BASKI TEKNOLOJİLERİ ULUSLARARASI SEMPOZYUMU(3B-BTS2016)
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON 3D PRINTING TECHNOLOGIES
(3D-DTS2016)

EDİTÖR

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA



HAZIRLAYANLAR

Arş. Gör. Abdurrahim TEMİZ

Arş. Gör. Murat AYDIN

BİLDİRİLER KİTABI



Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü

www.3dexpoturkey.com

BU BİLDİRİLER KİTABINDAKİ ESERLERİN SORUMLULUĞU YAZARLARINA AİTTİR

ÖNSÖZ

Gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlara bağlı olarak hayatın her alanında olduğu gibi yazıcı ve baskı alanında da önemli ilerlemeler görülmektedir. Papirüslerle başlayan kâğıda yazma süreci, günümüzde artık yavaş yavaş kâğıdın terkedilmesi noktasına kadar gelmiştir. 1980'li yıllarda ilk örneklerinin görüldüğü fakat yakın tarihe kadar önemli bir çıkış yakalama fırsatı bulamayan üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi; hayatın dijitalleşmesi ve rekabetin her geçen gün daha da üst seviyelere çıkmasına bağlı olarak günümüzde aranır hale gelmiştir. Sahip olduğu avantajlar ve kolaylıklar ile birçok alanda önemli kullanım sahası bulan bu teknoloji, belki de birkaç yıl içinde yapay organ üretilmesine kadar uzanan bir evreye sahip olacaktır.

İmalat sektöründe kullanılan birçok üretim yönteminin olduğu herkesin malumudur. Bu yöntemlerin başında hiç şüphesiz talaşlı imalat yöntemi gelmektedir. Universal tezgahlarda yapılmaya başlayan talaşlı imalatın, gelişen teknoloji ile birlikte artık farklı eksen sayılarına sahip büyük tezgahlarda sadece izleyerek yapılabilen bir hal alması sektörde gelinen noktayı ifade etmek için yeterlidir. Eksen sayısının fazlalığı, tezgahların devasa hale gelmesi veya maliyetlerin gelişen teknoloji ile birlikte düşmesi ihtiyaçların tamamını gidermede yeterli olmamıştır. Geleneksel üretim yöntemleri ile üretimin yetersiz kaldığı durumlarda yeni bir yöntem veya yeni bir üretim aracına ihtiyaç duyulmuştur. Üretim teknolojileriyle yapılması imkânsız ya da makul olmayan bir ürünün kolaylıkla imal edilebilmesini sağlayan 3B teknolojisi, imalat sektörü başta olmak üzere birçok alanda insanlara yeni bir nefes olmuştur.

Özellikle plastiğin veya metalin bir lazer veya ısıtma ünitesi kullanarak ergitilmesi ve ergiyen malzemenin katmanlar halinde ürünün üretilmesinde kullanıldığı teknolojinin, gelecek için büyük adımların atılmasına öncülük edeceği kaçınılmazdır. Bu teknolojinin, uzay araştırmaları, savunma sanayi, tıp, inşaat ve sanatsal aktiviteler başta olmak üzere her alanda farklı amaçlar için kullanılması beklenmektedir. Üretim anlayışının gelecekte tamamen değişmesine neden olacak olan 3B yazıcıların, hayatı kolaylaştırmasının yanı sıra her evin küçük ölçekli bir üretim atölyesine dönüşmesini bile sağlaması öngörülmektedir. Diğer yandan kişiye özel üretim modelinin doğmasına ve seri üretim anlayışının zamanla bu kapsamda değişmesi de gelecekte karşılaştığımız diğer bir senaryo olacaktır.

Dünyanın 4. Sanayi Devrimini konuştuğu günümüzde; 3B teknolojisi, yakın zamanda insansız fabrika modelinin hayata geçmesinde önemli bir yere sahip olacaktır. İnternet tabanlı hale getirilen cihazlar yardımıyla, insana ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilecek üretimlerde verimlilik ve kalite artarken, maliyetler ve zaman kayıpları düşecek; üretim tek ekrandan kolaylıkla takip edilebilir hale gelecektir. Akıllı üretim süreci olarak kabul edilen bu süreçte, internet sayesinde birbirleri ile konuşabilen robotlar ve cihazlar sayesinde imalat sektörü yepyeni bir kimliğe kavuşacaktır. 4. Sanayi Devriminin temel unsurlarından biri olacağı ve bu süreçte önemi ve gerekliliği daha da artacak olan 3B teknolojisi, yeni sanayi devrimi gibi Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının öncelikli konuları arasında yerini almıştır.

Ülkemiz Ar-Ge ve yenilik ekosisteminde yer alan Teknoloji Geliştirme Bölgeleri ve Ar-Ge Merkezleri başta olmak üzere diğer kurumsal yapılarda bu teknolojinin kullanılması, geliştirilmesi ve ekonomik değere dönüştürülmesi için firmalarımız ve gençlerimiz yoğun bir gayret içerisinde çalışmaktadır. Ülke olarak sanayi devrimlerinin öncüsü olma şansını ve imkanını geçmişte yakalama fırsatı bulamadık. Kamu, özel sektör, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşlarımızın birlikte çalışması ile yeni sanayi devriminde öncü olan ülkeler arasında bulunmanın ideali içinde olmamız oldukça önemlidir.

3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu ve Fuarına katılan, bilimsel çalışmaları ile katkı sağlayan ve bu etkinliğin gerçekleşmesinde büyük çaba sarf eden herkese teşekkür eder, bu eserin akademik ve iş dünyasına hayırlı olmasını dilerim.

Prof.Dr. Ersan ASLAN
Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Müsteşarı

3B BASKI TEKNOLOJİLERİ ULUSLARARASI SEMPOZYUMU (3B-BTS2016)

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON 3D PRINTING TECHNOLOGIES (3D-DTS2016)

Onur Kurulu

Prof.Dr.	Ersan ASLAN	Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Müsteşarı
Doç.Dr.	İlker Murat AR	Bilim ve Teknoloji Genel Müdürü
Prof.Dr.	Süleyman BÜYÜKBERBER	Gazi Üniversitesi Rektörü
Prof.Dr.	M. Emin ARAT	Marmara Üniversitesi Rektörü
Prof.Dr.	Muhammet GÜVEN	Erciyes Üniversitesi Rektörü
Prof.Dr.	Refik POLAT	Karabük Üniversitesi Rektörü
Prof.Dr.	Erol ARCAKLIOĞLU	TÜBİTAK Başkan Yardımcısı

Düzenleme Kurulu

Prof.Dr.	Kerim ÇETİNKAYA	Karabük Üniversitesi
Prof.Dr.	Mustafa KURT	Marmara Üniversitesi
Prof.Dr.	Hüseyin Rıza BÖRKLÜ	Gazi Üniversitesi
Prof.Dr.	Cem SİNANOĞLU	Erciyes Üniversitesi
Prof.Dr.	Cevdet GÖLOĞLU	Karabük Üniversitesi
Doç.Dr.	Süleyman SEMİZ	Karabük Üniversitesi
Doç.Dr.	Halil İbrahim DEMİRCİ	Karabük Üniversitesi
Doç.Dr.	Birhan IŞIK	Karabük Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr.	Suat ALTUN	Karabük Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr.	Hatice EVLEN	Karabük Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr.	Erkan LİKOS	Karabük Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr.	H. Kürşad SEZER	Gazi Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr.	Özkan ÖZ	Karabük Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr.	Raşit ESEN	Karabük Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr.	Cemal ÖZCAN	Karabük Üniversitesi

Sekretarya

Rümeysa CEREN	Demos Fuarcılık
Ufuk AKSOY	Demos Fuarcılık
Murat AYDIN	Karabük Üniversitesi
Mustafa AYDIN	Karabük Üniversitesi
Abdurrahim TEMİZ	Karabük Üniversitesi
Gülce KAYA	Karabük Üniversitesi
Pınar ÖZKARA	Karabük Üniversitesi
Erşah AKGÜL	Karabük Üniversitesi

Akademik Bilim Kurulu

Prof.Dr.	Ahmet BİRİNCİ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof.Dr.	Aydın DURMUŞ	Batman Üniversitesi
Prof.Dr.	Bedri TUÇ	Başkent Üniversitesi
Prof.Dr.	Bülent EKİCİ	Marmara Üniversitesi
Prof.Dr.	Can ÇOĞUN	Çankaya Üniversitesi
Prof.Dr.	Cevdet GÖLOĞLU	Karabük Üniversitesi
Prof.Dr.	Erol UYAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof.Dr.	Faruk ÜNSACAR	KTO Karatay Üniversitesi
Prof.Dr.	Hakan IŞIK	Selçuk Üniversitesi
Prof.Dr.	Hakan YAVUZ	Çukurova Üniversitesi
Prof.Dr.	Hanifi GÜLDEMİR	Fırat Üniversitesi
Prof.Dr.	Hüseyin TEMİZ	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Prof.Dr.	İbrahim KADI	Karabük Üniversitesi
Prof.Dr.	İlhan TARIMER	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Prof.Dr. İhsan KORKUT
Prof.Dr. M. Cengiz KAYACAN
Prof.Dr. Mehmet SARIBIYIK
Prof.Dr. Mehmet TÜRKER
Prof.Dr. Mehmet Ali YURDUSEV
Prof.Dr. Murat BENGİSU
Prof.Dr. Mustafa ÇANAKCI
Prof.Dr. Mustafa YAŞAR
Prof.Dr. Nihat YILDIRIM
Prof.Dr. Osman YAZICIOĞLU
Prof.Dr. Osman GÜRDAL
Prof.Dr. Reşat SELBAŞ
Prof.Dr. Rıza GÜRBÜZ
Prof.Dr. Sadettin HERDEM
Prof.Dr. Salih OKUR
Prof.Dr. Süleyman YALDIZ
Doç.Dr. Abdullah ALTIN
Doç.Dr. Ahmet TAŞKESEN
Doç.Dr. Birhan IŞIK
Doç.Dr. Candan EFEOĞLU
Doç.Dr. Ergun NART
Doç.Dr. Eyüp BAĞCI
Doç.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ
Doç.Dr. H.Güran ÜNAL
Doç.Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ
Doç.Dr. İsmail UCUN
Doç.Dr. Muhammet UZUNTARLA
Doç.Dr. Naci KURGAN
Doç.Dr. Selçuk MISTIKOĞLU
Doç.Dr. Uğur KÖKLÜ
Doç.Dr. Mustafa BOZDEMİR
Doç.Dr. Süleyman SEMİZ
Doç.Dr. Turhan KURŞUN
Doç.Dr. Volkan KOVAN
Doç.Dr. Arif GÖK
Doç.Dr. Serap ÇELEN
Yrd.Doç.Dr. Afşin Alper CERİT
Yrd.Doç.Dr. Ahmet CAN
Yrd.Doç.Dr. Ahmet ONUR
Yrd.Doç.Dr. Ahmet YAZICI
Yrd.Doç.Dr. Barış BULDUM
Yrd.Doç.Dr. Bilçen MUTLU
Yrd.Doç.Dr. Bülent KAYA
Yrd.Doç.Dr. Cemal ÖZCAN
Yrd.Doç.Dr. Derya HAROĞLU
Yrd.Doç.Dr. Erkan LİKOS
Yrd.Doç.Dr. Gültekin BASMACI
Yrd.Doç.Dr. Gürkan ATAÖK
Yrd.Doç.Dr. Hatice EVLEN
Yrd.Doç.Dr. Hilal CAN
Yrd.Doç.Dr. H. Kürşad SEZER
Yrd.Doç.Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ
Yrd.Doç.Dr. İhsan TOKTAŞ
Dr. Kadir GÖK
Yrd.Doç.Dr. Metin TOZ
Yrd.Doç.Dr. Murat BALCI
Yrd.Doç.Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN
Yrd.Doç.Dr. Nurettin AKÇAKALE
Yrd.Doç.Dr. Özdoğan KARAÇALI
Yrd.Doç.Dr. Özkan ÖZ
Yrd.Doç.Dr. Raşit ESEN
Yrd.Doç.Dr. Salih ÖZER
Yrd.Doç.Dr. Özgün BAŞER
Yrd.Doç.Dr. Sezai Alper TEKİN
Yrd.Doç.Dr. Suat ALTUN
Yrd.Doç.Dr. Şaban BÜLBÜL
Yrd.Doç.Dr. Şeref AYKUT

Gazi Üniversitesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Sakarya Üniversitesi
Gazi Üniversitesi
Celâl Bayar Üniversitesi
İzmir Ekonomi Üniversitesi
Kocaeli Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Gaziantep Üniversitesi
İstanbul Ticaret Üniversitesi
Bursa Orhangazi Üniversitesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Çankırı Karatekin Üniversitesi
Selçuk Üniversitesi
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
Selçuk Üniversitesi
Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Gazi Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Ege Üniversitesi
Sakarya Üniversitesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
Selçuk Üniversitesi
Kastamonu Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bülent Ecevit Üniversitesi
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İskenderun Teknik Üniversitesi
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Kırıkkale Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Cumhuriyet Üniversitesi
Akdeniz Üniversitesi
Amasya Üniversitesi
Ege Üniversitesi
Erciyes Üniversitesi
Necmettin Erbakan Üniversitesi
Avrasya Üniversitesi
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Mersin Üniversitesi
Marmara Üniversitesi
Erciyes Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Erciyes Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Marmara Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Pamukkale Üniversitesi
Gazi Üniversitesi
Namık Kemal Üniversitesi
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Dumlupınar Üniversitesi
Düzce Üniversitesi
Bayburt Üniversitesi
Trakya Üniversitesi
Abant İzzet Baysal Üniversitesi
İstanbul Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Muş Alparslan Üniversitesi
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
Erciyes Üniversitesi
Karabük Üniversitesi
Şırnak Üniversitesi
Bitlis Eren Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Ünal KURT
Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN
Yrd.Doç.Dr. Yılmaz GÜR
Yrd.Doç.Dr. Zafer Ömer ÖZDEMİR
Doç. M.Sevtap AYTUĞ
Assoc.Prof.Dr. V. LOKESHA
Dr. Nik Norsyahariati NIK DAUD
Assoc.Prof.Dr. Daqing GUO
Prof.Dr. İbrahim N. TANSEL
Dr. Emeka AMALU
Assist.Prof.Dr. Sanjay SHARMA
Dr. Ravindra W. GAIKWAD
Assoc.Prof.Dr. Sanjeev KUMAR
Prof.Dr. Tahir Imran QURESHI

Amasya Üniversitesi
Trakya Üniversitesi
Balıkesir Üniversitesi
Kırklareli Üniversitesi
Gelişim Üniversitesi
V.S. K. University, INDIA
University Putra, MALAYSIA
University of Electronic Science and Technology, CHINA
Florida International University, USA
University of Wolverhampton, UNITED KINGDOM
Rooke Engineering & Management Technology Institute,
INDIA
Pravara Rural Engineering College, INDIA
YMCA University of Science & Technology, INDIA
NFC-Institute of Engineering of Technology, PAKISTAN

İÇİNDEKİLER

DOĞRUDAN METAL LAZER SİNERLEME PROSESİ VE DENTAL ALANDA Co-Cr ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Özkan ÖZMEN, Cem SİNANOĞLU..... 8

3B YAZICILARDA ENDÜSTRİYEL ÜRÜN YAZDIRMA, MEKANİK VE YÜZEY İŞLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Abdullah ALTIN, Derya ÇELİK, Kerim ÇETİNKAYA.....19

ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNİĞİ İLE NESNELERİN ÜRETİMİ

Gizem ACAR YAVUZ, Zeki KIRA 29

Rep-Rap 3 BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK BİYO YAZICI UYGULAMASI

Batuhan Yıldırım, Berk Kemal Pank, Egemen Keçeci, Onat Totuk, Ender Yıldırım 40

STEREOTAKTİK SİSTEM TASARIMI VE İMALATI

Cem SİNANOĞLU, Esra AKGÜL, Selahattin Orhan AKANSU, Bülent TUCER, Kadir PEKER 45

ERGONOMİK KABZA TASARIMI VE UYGULAMASI

Esra AKGÜL, Emel KIZILKAYA AYDOĞAN, Diyar AKAY, Cem SİNANOĞLU.....51

PRODUCTION OF A HUMAN BRAIN VIA FUSED DEPOSITION MODELING USING MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI) SCAN DATA

Yılmaz GÜR, E.OKUCU.....57

FDM TEKNOLOJİ İLE ÜRETİLEN PROTOTİP PARÇALARININ HATALARI VE HATALARIN ÖNLENMESİ

Hakan MADEN, Ömer Şaban KAMBER, Erkan DİPCİN, Haydar UĞUR, Bilal ÖZSARIKAYA, Alim İĞNECİ 65

DEVELOPMENT OF NOVEL NANOCOMPOSITE MATERIALS FOR 3D PRINTING

Ebubekir ÇANTI, Mustafa AYDIN, Ferhat YILDIRIM 76

3 BOYUTLU YAZICILAR VE GELECEĞİN MİMARLIK TEKNOLOJİSİ

F. Elif TANDIRCIOĞLU, Semra ARSLAN SELÇUK.....84

SİLAH MEKANİK SİSTEMLERİ İÇİN 3 BOYUTLU EĞİTİM MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa BOZDEMİR 91

TIP VE SAĞLIK BİLİMLERİ EĞİTİMİ İÇİN İNSAN VÜCUDUNDAKİ ANATOMİK YAPILARIN MODELLENMESİ VE 3 BOYUTLU BASKISI

Eylül DEMİR, İhsan TOKTAŞ 101

MASAÜSÜTÜ 3 BOYUTLU YAZICILARIN POTANSİYEL RİSKLERİ

Fuat KARTAL 107

HIZLI PROTOTİP OLUŞTURMADA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

H. Rıza BÖRKLÜ, A. Kivanç YILDIRIM, H. Kürşad SEZER.....111

PROFESYONEL MAKYAJ ALANINDA 3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI

M. Sevtap AYTUĞ 123

ENDÜSTRİYEL BOYUTLU ÇİFT BAŞLI KARTEZYEN TİPİ 3B YAZICI TASARIMI VE PROTOTİPİ

Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA 128

KARBON FİBER TAKVİYELİ ABS FİLAMENT ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

H. Kürşad SEZER, Oğulcan EREN, H. Rıza BÖRKLÜ 138

ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA BASKI PARAMETRELERİ VE KONUMLANDIRMANIN ÇIKTI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	
<i>Birhan IŞIK, Halil İbrahim DEMİRCİ, Süleyman SEMİZ</i>	149
EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN STL DOSYALARININ HATALARI VE ONARIM YÖNTEMLERİ	
<i>Burhan DUMAN, M. Cengiz KAYACAN</i>	156
DİKEY EKSTRÜZYON (FİLAMENT) SİSTEMİ TASARIM VE PROTOTİP İMALATI	
<i>Mustafa AYDIN, Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA</i>	163
DÖKÜM İÇİN EPS KÖPÜK MODELLERİN ÜRETİLMESİNDE LAMİNASYON BASKI TABANLI YÖNTEMİN ADAPTASYONU: OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEN ÖRNEK BİR KALIP ÜZERİNDE UYGULAMASI	
<i>Bülent KAYA, Zeycan DUVARCI</i>	172
3D PRİNTER İLE İMALATTA ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BOYUTSAL DOĞRULUK VE YÜZEY KALİTELERİNE ETKİSİ	
<i>Şükrü ŞEN, Halil İbrahim DEMİRCİ, Birhan IŞIK</i>	180
3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE YAZDIRMA DOLULUK ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	
<i>Gülçin EREL, Elif YILMAZ, Hatice EVLEN</i>	189
3B YAZICI İŞLEM PARAMETRELERİNİN İŞLEVSEL ÜRÜNLERİN DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	
<i>Cevdet GÖLOĞLU, Emir Ömer AKBAŞ</i>	197
3B YAZICIDA FARKLI BASKI YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN ÇIKTILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	
<i>Halil İbrahim DEMİRCİ, Şükrü ŞEN, Buğra SEKBAN</i>	204
ENDÜSTRİYEL BOYUTLU VE ISITMALI 3B YAZICI TABLASI TASARIMI VE PROTOTİPİ	
<i>Abdurrahim TEMİZ, Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA</i>	212
3B YAZICI İLE KİŞİYE ÖZGÜ İMPLANT TASARIMI	
<i>Ezgi KARA, Berat Barış BULDUM, Çağdaş YILMAZ, Nazım ÖZKAYA</i>	218
KİŞİYE ÖZGÜ REFLEKSOLOJİ TABANLIKLARIN TASARIMI	
<i>Berat Barış BULDUM, Çağdaş YILMAZ, Ali AKDAĞLI, Ezgi KARA</i>	227
3 BOYUTLU ENDÜSTRİYEL YAZICILARDA YÜKSEK TORKLU ADIM MOTORLARIN KULLANILMASI	
<i>Erşah AKGÜL, Burak GÜLER, Kerim ÇETİNKAYA</i>	236
YAŞ PASTA SÜSLEMELERİ İÇİN 3D YAZICI TASARIMI VE PROTOTİPİ	
<i>Murat SUBAŞI, Azeb ÖZCAN, Şeref AYKUT</i>	244
3 BOYUTLU YİYECEK YAZICISI TASARIMI VE PROTOTİPİ	
<i>Gülce KAYA, Hatice EVLEN, Kerim ÇETİNKAYA</i>	253
İÇİ BOŞ (SHELL) PRİZMALARIN YAZDIRILMASI İÇİN BİR YÖNTEM	
<i>Fuat KARTAL</i>	260
ERGİYİK BİRİKİMLİ MODELLEME (FDM) TEKNİĞİ İLE ÇOK EKSENLİ HIZLI ÖRNEKLEME PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ	
<i>Mücahit SOYASLAN, Mustafa KURT, Ergün NART</i>	268
DELTA TİPİ ÇİFT BAŞLI ÜÇ BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE İMALATI	
<i>Süleyman SEMİZ, Mesut AYDOĞDU, Birhan IŞIK</i>	278

DOLULUK ORANLARININ PLA VE PET MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Merve Ayfer ÖZDEMİR, Hatice EVLEN, Aydın ÇALIŞKAN.....278

3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE ÜRÜN TESTİ

Tuğba AKÇAY, Süleyman SEMİZ, Şeref AYKUT.....294

ÇENE KEMİĞİ ONARIMINDA 3B YAZICIYA YÖNELİK OLARAK STL DOSYALARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Serap ÇELEN.....306

KİŞİYE ÖZEL İMPLANT TASARIMLARININ 3 BOYUTLU YAZICILARLA ÜRETİLMESİ

Mustafa KARAGÖZ, Afşın Alper CERİT.....311

FARKLI ORANLARDA AHŞAP TOZU-PLA KARIŞIMI İÇEREN FİLAMENTLERİN ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Ebru GÜRBÜZ, Murat AYDIN, Özkan ÖZ, Suat ALTUN.....318

ÇİFT EKSTRUDERLİ 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE İMALATI

Yasin DOĞAN, M.Ali ÖCEL, Bilçen MUTLU, Gürcan ATAKÖK.....327

FARKLI DOLGU ÖRÜNTÜLERİNİN PET VE ABS MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Hatice EVLEN, Merve Ayfer ÖZDEMİR, Mesut AYDOĞDU.....332

3 BOYUTLU SERAMİK YAZICISI TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

Aydın ÇALIŞKAN, Hatice EVLEN, Kerim ÇETİNKAYA.....338

DOĞRUDAN METAL LAZER SİNERLEME PROSESİ VE DENTAL ALANDA Co-Cr ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Özkan ÖZMEN^a, Cem SİNANOĞLU^b

a, ERU Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Kayseri/TÜRKİYE, ozmen@erciyes.edu.tr

b, ERU Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Kayseri/TÜRKİYE, csinan@erciyes.edu.tr

Özet

Son yıllarda Katmanlı İmalat Teknolojileri'nde (KİT) çok büyük gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle metal tozlarının bir enerji kaynağı (lazer, elektron ışını, vb.) aracılığıyla ergitilerek nihai ürünlerin üretiminin yapılabilmesi imalat teknolojilerinde yeni bir kapı aralamıştır. Son 10 yılda Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) üzerine çok çeşitli ticari ürünler piyasaya sunulmuş ve bu alanda ciddi bir pazar payı ortaya çıkmıştır. Ülkemizde de farklı alanlarda kullanılan DMLS teknolojisi özellikle dental sektörde kendisine belirgin şekilde yer edinmiştir. Bu çalışmada DMLS prosesi, gelişimi ve dental alanda kullanımı açıklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: DMLS, Lazer Sinterleme

DIRECT METAL LASER SINTERING PROCESS AND USE OF Co-Cr IN DENTAL APPLICATION

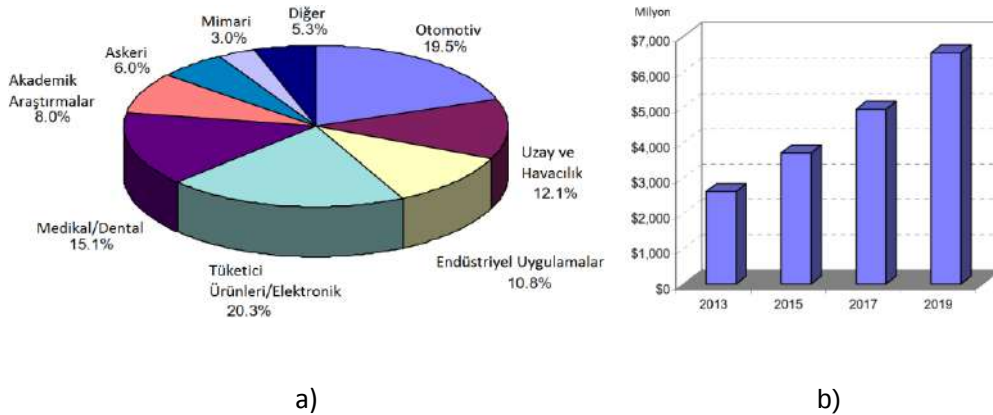
Abstract

In recent years there have been huge advances in Additive Manufacturing Technology. The ability of manufacturing the final products especially by melting the metal powders using energy sources such as lasers, electron beam has been a new perspective in manufacturing technologies. In the last decade, a wide variety of commercial products on Direct Metal Laser Sintering (DMLS) has been presented and a significant market share in this area has been emerged. The DMLS technology used in the different areas of our country clearly has gained a place in the market especially in the dental industry. In this study, the manufacturing process, the technological development and the use of the DMLS process in the dental industry will be explained.

Keywords: DMLS, Laser Sintering

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile beraber kullanım alanı artmakta olan DMLS teknolojisinin birçok farklı pazarda önemli bir paya sahip olduğu açıktır (Şekil 1). Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) metodu ile uzay, otomotiv, elektronik, medikal, dental, kalıp, makine dâhil olmak üzere, bütün endüstri alanlarına yönelik klasik üretim metotlarıyla imal edilemeyecek kadar karmaşık parçalar üretilebilmektedir. Bu yöntemle üretim yapan makinelerin yüksek fiyatlarına rağmen sağladıkları avantajlardan dolayı ülkemizde de birçok üniversite, araştırma merkezi, çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından alınmakta ve kullanılmaktadır.



Şekil 1. Katmanlı imalat teknolojisinin a) Kullanım alanları b) Yıllara göre tahmini pazarı [1].

2. DMLS Prosesinin Gelişimi

DMLS prosesi, imalat alanının belirli bölgelerindeki metal tozlarının termal enerji yardımıyla birleştirildiği ve parçanın katman katman imal edildiği bir işlemdir. Metal tozlarını lazer ile ergiterek katı parçalar oluşturma fikri 1970'li yıllar da başlamış ve 1980'li yılların ortalarında genel olarak katmanlı imalat metodları ve toz tabanlı katmanlı prosesler için ilk ticari adımlar atılmıştır. İlk çalışmalarda kalay, çinko gibi tek fazlı metal malzemeler kullanılmış fakat başarısızlıkla sonuçlanmıştır. 1994 yılında ilk başarılı deneme ise Fraunhofer IPT tarafından 316L paslanmaz çelik tozu üzerine yapılmıştır. İlk ticari DMLS makinesi ise EOS tarafından 1995 yılında piyasaya sunulmuştur. Bu sistem 100W'lık CO₂ lazer kullanarak 100µm katman kalınlığında üretim yapabilmekteydi. 2001 yılında, malzeme olarak çelik tozu kullanan DirectSteel 20 modeli ile de katman kalınlığı 20µm değerine kadar düşürülmüş ve üretim kalitesi artmıştır. Daha sonra DirectSteel H20 modeli ile takım çeliği tozları kullanılarak yoğunluğu yüksek, 1100MPa çekme dayanımlı ve 42 Rockwell C sertliğine sahip parçalar üretilebilmiştir. Yine 2001 yılında Concept Laser firması tarafından lazer sinterleme, lazer işaretleme ve lazer işlemeyi birleştiren yeni bir makine geliştirilmiştir. Bu makinede yttrium-alüminyum-garnet(YAG) lazer kullanılmış ve malzeme olarak paslanmaz çelik tozu ile yoğunluğu yüksek parçalar üretilmiştir. DMLS sistemlerinde başlangıçta lazer kesim ve lazer kaynak gibi lazer makine proseslerinde kullanılan standart tipteki CO₂ ve Nd: YAG lazerler devamlı mod da kullanılmıştı. CO₂ ve Nd: YAG lazerler arasındaki ana fark ise lazer ışınlarının dalga boyudur. Nd: YAG lazerler 1.06 µm dalga boyuna sahipken CO₂ lazerler 10.6 µm dalga boyuna sahiptir. Çoğu metalin absorptivitesi ise lazerin dalga boyunun küçülmesiyle artmaktadır. Çizelge 1' de DMLS sisteminde genel olarak kullanılan metallerin absorptivitesi verilmiştir. Ayrıca aynı güç yoğunluğuna sahip lazerle yapılan çalışmalarda Nd: YAG lazerin daha uzun ergitme derinliğine ulaşılabilirdiği de görülmüştür[1-3].

Çizelge 1. DMLS sisteminde genel olarak kullanılan metallerin absorptivitesi

Malzeme	Nd: YAG lazer (1.06 µm)	CO ₂ lazer (10.6 µm)
Cu	0.59	0.26
Fe	0.64	0.45
Sn	0.66	0.23
Ti	0.77	0.59
Pb	0.79	-
Co-alışımı (1% C; 28% Cr; 4% W)	0.58	0.25
Cu- alışımı (10% Al)	0.63	0.32
Ni- alışım- I (13% Cr; 3% B; 4% Si; 0.6% C)	0.64	0.42
Ni- alışımı- II (15% Cr; 3.1% Si; 4%; 0.8% C)	0.72	0.51

Santos ve ark. CO₂ ve Nd:YAG lazerler ile Fe-Cu ve WC-Co toz malzemeler üzerine araştırmalar yapmıştır. Araştırmalar sonucunda aynı lazer enerjisine sahip CO₂ ve Nd: YAG lazerlerden, Nd: YAG lazer ile üretilen parçaların yoğunluğunun daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Osaka Üniversitesi'nde ortalama gücü 50W olan pulslı Nd: YAG lazer ile nikel, alüminyum, çelik, bronz ve titanyum üzerine başarılı çalışmalar yapılmıştır. Pulslı lazer yardımıyla yüksek puls enerjisini, kısa puls süresi ile uygulayarak toz malzeme üzerinde ısıdan etkilenen bölgeler azaltılabilmiş ve metalürjik olarak birbirlerine iyi kaynaşmış parçalar elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda üretilen parçalar arasında etkili bir yapışma elde etmek amacıyla, lazerin nüfuz etme derinliği ile katman kalınlığının aynı olmasının gerekli olduğu gözlemlenmiştir. Sonraki yıllarda lazerlerin odaklanmasını sağlayan optik lenslerde ve lazer teknolojisindeki gelişmeler sayesinde parçalardaki doğruluk ve yüzey kalitesi artmıştır. Bunlara paralel olarak fiber ve disk lazerler gibi yeni lazer tiplerinin gelişmesiyle ışın kalitesi de yükselmiştir. Çizelge 2' te ticari olarak satılan cihazlarda kullanılan lazer tipleri gösterilmiştir. Bu ticari modellerdeki lazer güçleri 50 W – 4 kW arasındaki değişmekteyken CO₂ lazerde 18kW' a kadar çıkabilmektedir [2-5].

Çizelge 2. Ticari DMLS makinelerinin kullandıkları lazer tipleri.

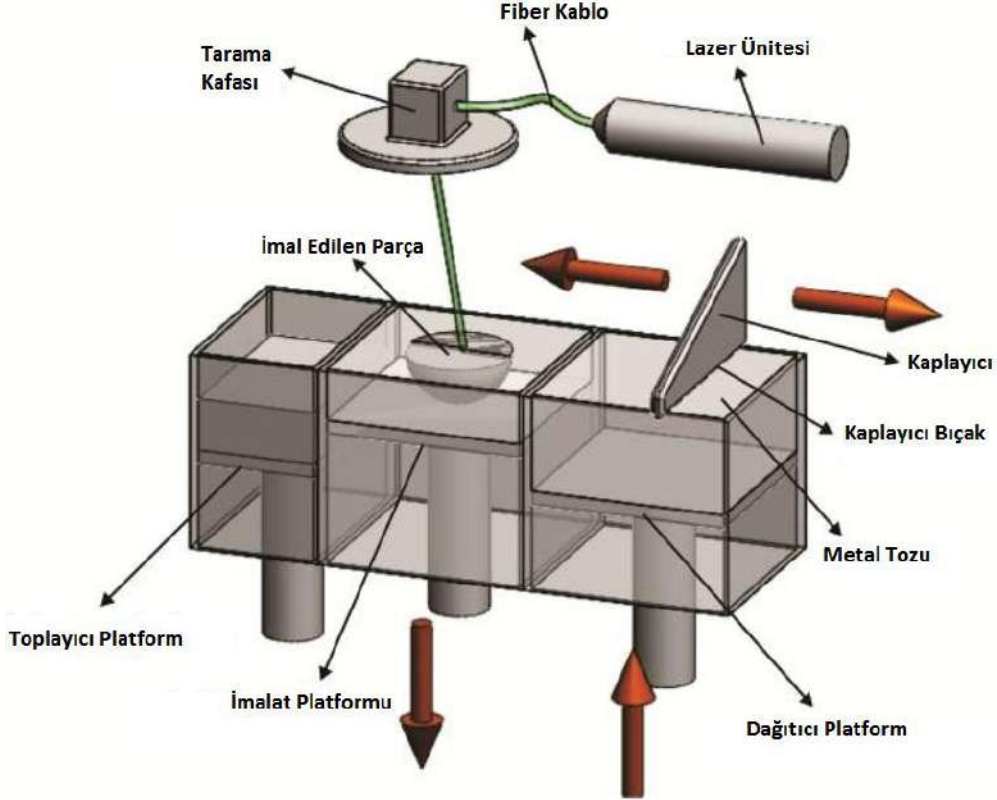
Makineler	Firmalar	Prosesleri	Lazer Tipleri	Güçleri
Precious M 080	Eos	Dmls	Ytterbium lazer	100 W
Eos M 280	Eos	Dmls	Ytterbiumlazer	200 W - 400 W
Eos M 290	Eos	Dmls	Ytterbiumlazer	400 W
Eos M 400	Eos	Dmls	Ytterbiumlazer	1000 W
MlabCusing	ConceptLazer	Dmls	Ytterbiumlazer	50 W – 100 W
MlabCusing R	ConceptLazer	Dmls	Ytterbiumlazer	100 W
M1 Cusing	ConceptLazer	Dmls	Ytterbiumlazer	200 W
M2 Cusing	ConceptLazer	Dmls	Ytterbiumlazer	200 W – 400 W
Lumex Avance-25	Matsuura	Hibrit Proses	Ytterbiumlazer	400 W
Lens 450	Optomec	Lens	IPG Fiber lazer	400W
Lens Mr-7	Optomec	Lens	IPG Fiber lazer	500W – 2000 W
Lens 850 R	Optomec	Lens	IPG Fiber lazer	1000 W - 4000 W
Pxl	PhenixSystems	Dmls	Ytterbiumlazer	500 W
Pxm	PhenixSystems	Dmls	Ytterbiumlazer	300 W
Pxs	PhenixSystems	Dmls	Ytterbiumlazer	50 W
Slm 50	Realizer	Slm	Fiber lazer	120 W
Slm 100	Realizer	Slm	Fiber lazer	200 W
Slm 250	Realizer	Slm	Fiber lazer	400 W – 600 W
Slm 125HL	SLM Solutions	Slm	Ytterbiumlazer	100 – 200 W
Slm 280HL	SLM Solutions	Slm	Ytterbiumlazer	400 – 1000 W
Slm 500HL	SLM Solutions	Slm	Ytterbiumlazer	400 – 1000 W

3. DMLS Prosesinin Çalışma Prensipleri

DMLS prosesi imalat alanının belirli bölgelerindeki metal tozlarının termal enerji yardımıyla kaynaştıran bir işlemdir. Bu süreçte genellikle termal enerji kaynağı olarak lazer ışını veya elektron ışını kullanılmaktadır [1]. Şekil 2 'de sunulan sistem üzerindeki terimlerin açıklaması aşağıda sunulmaktadır [6]:

- **Lazer Ünitesi:** Metal tozlarını eritmek için gerekli olan enerjiyi sağlamakta kullanılmaktadır. Lazer tipine göre farklılık gösterebilmektedir. Örn: CO₂ Lazer, Nd: YAG Lazer, Ytterbium fiber lazer gibi.
- **Fiber Kablo:** Lazer ünitesinde üretilen ışını tarama kafasına iletmek için kullanılır.
- **Tarama Kafası:** Lazer ışınını parçanın kesit alanının da gezdirerek ilgili katmandaki tozların eritilmesini sağlar. Genellikle tarama kafası olarak iki eksenli hareket edebilen galvanometre aynaları kullanılır.
- **Kaplayıcı:** Bir motora bağlı olarak ileri-geri hareket eden bu kısım toz malzemeyi dağıtıcı platformdan imalat platformuna taşır. Üzerine toz malzemenin cinsine bağlı olarak farklı malzemelerden yapılmış kaplayıcı bıçak takılır.
- **Dağıtıcı platform:** İmalat aşamasının başlangıcında üretilcek parçaya bağlı olarak içerisinde yeterli miktarda toz malzeme barındırır.

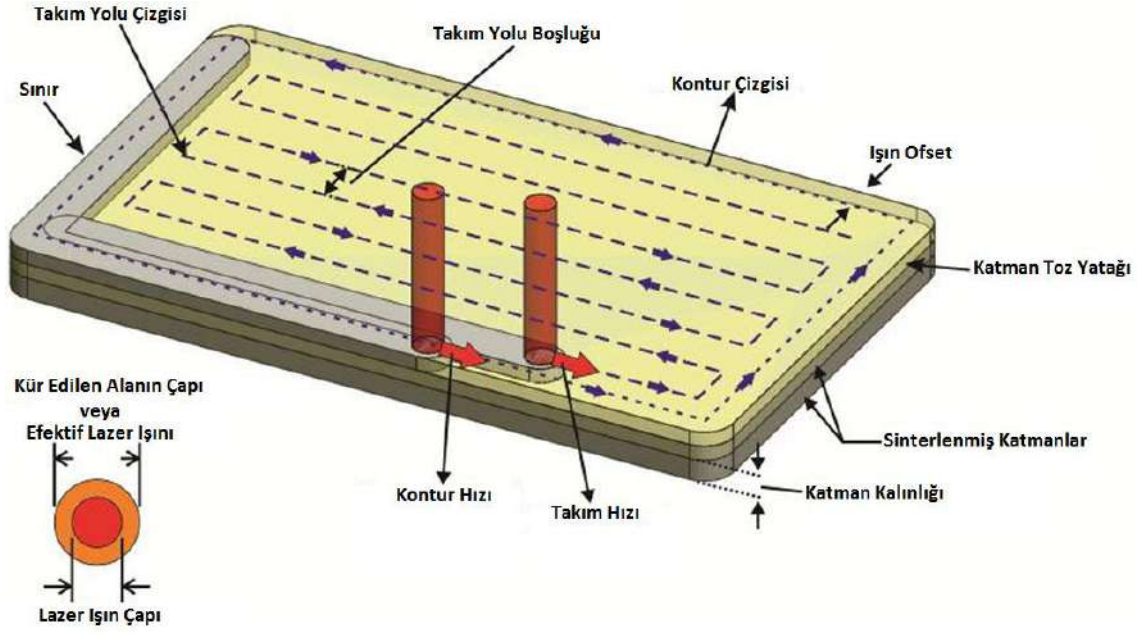
- **İmalat platformu:** Bu platformda kullanılacak toz malzeme ile aynı malzemeden yapılmış tabla bulunur. Üretilcek parça bu platformda tabla üzerinde ve tablaya yapışık olarak imal edilir. İmalat işleminden sonra tel erozyon veya başka bir işlemle üretilen parça bu tabladan ayrılır ve bu tabla tekrar tekrar kullanılabilir.
- **Toplayıcı platform:** Bu platformda toz serme işleminden artan tozlar toplanır. Bu tozlar bir elekten geçirilerek tekrar kullanılabilir.



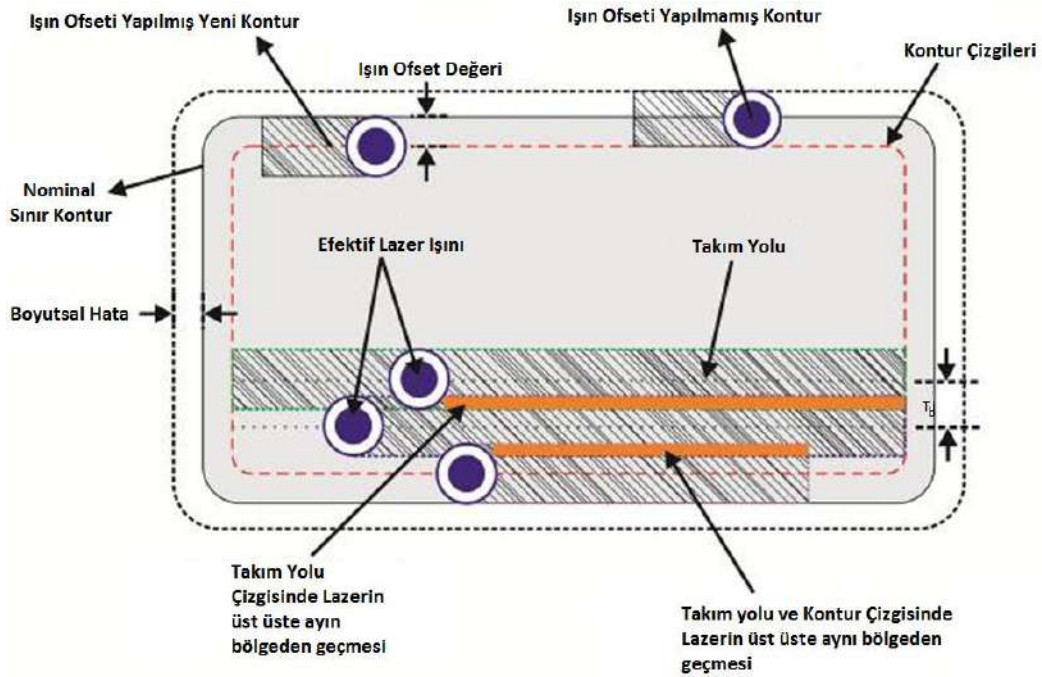
Şekil 2. DMLS prosesinin şematik gösterimi.

DMLS prosesinin ilk aşamasında kaplayıcı bıçak imalat alanının en sağ pozisyonuna gider. Dağıtıcı platform, imalat tablasına serilecek yeteri miktarda toz malzeme için bir katman kalınlığında yukarı çıkar. Daha sonra kaplayıcı bıçak imalat alanının sağından soluna doğru hareket ederek metal tozunu dağıtıcı platformdan, imalat tablasına serer ve fazla toz toplayıcı haznede toplanır. Sonraki adım da tarama kafası imal edilecek 3 boyutlu (3B) nesnenin iki boyutlu kesit alanını lazer ile tarayarak toz malzemeden ilk katı katmanı oluşturur. Tarama işlemi bittikten sonra imalat tablası ve dağıtıcı tabla, kaplayıcı bıçakla herhangi bir çarpışma olmaması için bir katman kalınlığında aşağıya iner ve aynı proses imal edilecek parça tamamlanana kadar katman katman tekrarlanır. Böylece imal edilecek parçanın şekline göre birkaç saat içerisinde 3B karmaşık parçalar üretilir. Ek olarak, imalat sonrasında üretilen parça arzu edilen mekanik özellikleri sağlaması için ısıtma işlemi veya yüzey kalitesi için taşlama gibi son işleme gerek duyabilir [6-7].

Şekil 3' de parçanın kesit alanı için ince bir toz tabakasının lazerle taranmış üst kısmı gösterilmektedir. Diğer üretim proseslerinde olduğu gibi DMLS prosesinde de imalat için bazı parametreler mevcuttur. Bunlardan birincisi imal edilecek parçanın kesit alanının lazer ile taranması için farklı tarama stratejileridir. Bu stratejiler artık gerilmeyi etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Başlangıçta, dış kısmı (kontur kısmı) lazer gücü (L_{gc}) ve kontur ilerleme hızı (K_{ih}) ile ergitilir. Lazer ışını, takım yolunu, sinterleme süreci tamamlanana kadar izler. Takım yolları arasındaki mesafe takım yolu boşluğu (T_b) olarak adlandırılır ve genellikle lazer ışınının dörtte birine ayarlanır. Ayrıca bu işlem esnasında sinterlenmiş bölgenin alanının genellikle lazer ışınının çapından daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu da düzeltilmesi gereken bir çap hatasıdır. Parçanın orijinal bilgisayar destekli tasarım (BDT) datasıyla aynı olması için lazer ışını kontur kısmından içeri doğru yarım küre genişliğinde kaydırılmalıdır. Bu pozisyon düzeltme işlemine ışın ofseti (I_o) denmektedir. Işın ofset değeri tanımlanarak sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Şayet bu değer olması gerekenden daha yüksek veya daha az ise, ısıtılmış bölgenin parçacıkları cürufu ya da aşırı sinterlenmiş olabilir.



(a)

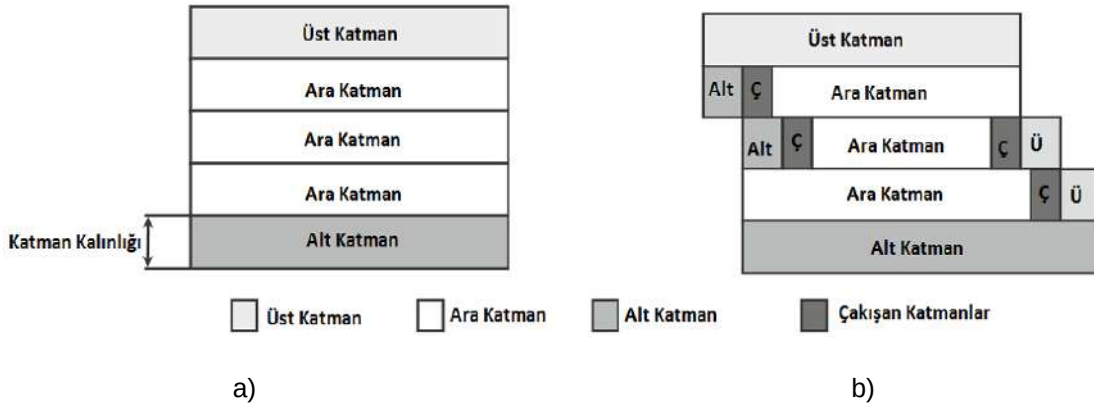


(b)

Şekil 3: DMLS prosesinde imalat parametreleri. a) Katmanın 3B görünüşü. b) Katmanın üstten görünüşü.

Bir diğer önemli parametre de parçada çarpılmaya veya prosesi durdurmaya yol açacak olan katman kalınlığıdır (Şekil 4). Bu süreçte her bir katmanın (Alt Katman, Ara Katman, Üst Katman, Çakışan Alanlar) özel imalat parametreleri ile sinterlenmesi gerekir. Alt katman üretilcek parçanın alt kısmını oluşturan ve tabla ile temas halinde olan katmandır. Bu kısım genellikle ilk 2 veya 3 katmandan oluşur. Alt katmanın farklı parametre değerleriyle sinterlenmesindeki amaç, tabla ile üretilcek parçanın birbirine sıkı bir şekilde kaynaması ve bu katmanın üst katmanların temelini oluşturmasıdır. Ara katman, alt ve üst

katman arasında kalan kısım ara katman olarak tanımlanmaktadır. Ara katmanda, lazer ışınının nüfuz etme derinliğiyle, sinterlenen katmanın kalınlığı eşit olmalıdır. Lazerin nüfuz etme derinliğinin fazla olması, bir önceki katmanın erimesine yol açarak parçanın bozulmasına sebep olacaktır. Lazer ışını katman kalınlığından az nüfuz ederse sinterleme istenen seviyede gerçekleşmeyecek, bu da katmanların birbirlerinden ayrılmasına yol açacaktır. Ara katman, üretim alanının boyutuna göre istenilen yükseklikte olabilir. Üst katman, parçanın üst kısmını oluşturan bu alan genellikle son 3 veya 4 katmandan meydana gelmektedir. Çakışan alanlar, DMLS prosesinde üretilen parçanın şekline göre tek bir katman içerisinde ara katman, alt katman ve üst katman bulunabilmektedir. Arada kalan bölgeler ise çakışan alan olarak tanımlanmakta ve farklı parametre değerleriyle sinterlenmektedir. Dolayısıyla, sinterlenen alanın çakışan alan olması durumunda, bu katmanın imalat parametre değerlerinin alt ve üst katman imalat parametre değerlerinden farklı olması gerekebilmektedir. Ayrıca katman kalınlığı çok büyük olursa, tekli katmanlar arasında uygun yapışma meydana gelmez ve alttaki katmanların ayrılmasına yol açabilir. Eğer katman kalınlığı çok küçük olursa, serici bıçak, toz sererken bir önceki katmanın sinterlenmiş kısmına çarpabilir ve alttaki katmanlarda yırtılma meydana getirebilir. Metal tozlarını tabla üzerine sermek için EOS, kendi patentli rijit kaplayıcı bıçak sistemini geliştirmiştir. Bu bıçak sisteminin esnek olmaması, serme esnasında çok yüksek kuvvetlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı DMLS prosesinde çok hassas tabakalar üretmek için iyi bir mekanik tasarıma ihtiyaç olmuştur. Bu özellik, çok ince tabakalar için önemli olmaktadır. Çünkü birkaç mikrometre tabaka kalınlığındaki bir sapma önemli bir hataya neden olmaktadır. Trumpf firması ise serici bıçak için esnek bir fırça kaplama sistemi kullanmıştır. Bir diğer yaklaşım ise her katmandaki lazer işleminden sonra ilgili katmanda son işlem yaparak hatayı düşürmektir. Fakat bu işlem yazılımı daha kompleks hale getirdiği gibi her katman oluşumunda ek prosesi gerekli kılmaktadır [6-7].



Şekil 4. Sinterleme işleminin yandan görünüşü. a) Çakışma olmadan üretim b) Ara katmanlarda çakışma meydana gelmesi.

DMLS prosesinde üretim parametreleri doğru şekilde seçildiği takdirde yoğunluğu yüksek ve mekanik özellikleri geleneksel imalat yöntemleriyle üretilen parçalara yakın özellikte üretim yapılabilir. Fakat sürecin karmaşıklaşması ve kullanılan malzemelerin farklı özelliklerinden dolayı üretilen parçanın mekanik özelliklerini ve yüzey kalitesini belirlemek için standart bir yöntem yoktur. Prosesin verimli bir şekilde çalışabilmesi için birçok parametrenin değerlendirilmesi gerekmektedir. Delgado ve ark. demir-bazlı metal tozlarıyla yapmış oldukları araştırmalarda tarama hızı, katman kalınlığı ve parça imalat yönünün mekanik özelliklere ve yüzey kalitesine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında boyutsal hata ve yüzey kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden birinin parçanın oryantasyonu olduğunu belirlenmiştir [8]. Sachdeva ve ark. yapmış oldukları deneysel çalışmada üretilen parçaların yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Lazer gücü, yatak sıcaklığı, takım yolu boşluğu ve tarama sayısı parametreleri üzerine çalışmış ve bu verilerin optimum değerlerini belirleyerek yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin lazer gücü olduğunu gözlemlemişlerdir [9]. Song yapmış olduğu çalışmada lazer gücü, spot boyu, tarama hızı, takım yolu boşluğu ve katman kalınlığı gibi parametrelerin Cu-Sn toz malzemelerde etkisini incelemiştir [10]. Ning ve arkadaşları lazer tarama hızı ve gücü, katman kalınlığı ve tarama stratejisi değerlerini dikkate alarak DMLS prosesinde üretilen parçaların mekanik özelliklerini iyileştirmek, geometrik doğruluğunu artırmak, yüzey pürüzlülüğünü ve proses zamanını azaltmak için ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli oluşturarak en uygun parametre setini belirlemişlerdir [11].

Literatürde gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda da görüldüğü gibi DMLS prosesinde istenilen yüzey kalitesini ve mekanik özellik değerlerini sağlayabilmek için kontrol edilmesi gereken birçok parametre mevcuttur. Bu parametrelerden lazer gücü, yüzey kalitesini etkileyen en önemli değişkenlerden birisidir. Tarama hızı ise sinterleme sırasında toz malzeme üzerindeki enerji girdisini belirler. Dolayısıyla parçanın

yüzey kalitesine tarama hızının da etkisi vardır. Enerji yoğunluğunun hesaplaması ve Alüminyum tozunun EOS M270 Extended modelindeki imalat parametre değerleri Çizelge 3' te gösterilmiştir. Ayrıca üretilen parçalarda katman kalınlığı ve parçaların oryantasyonu parça üzerinde kötü yüzey kalitesine sebep olarak merdiven etkisi yapabilmektedir [12].

Enerji yoğunluğu hesaplaması

$$E = \frac{L_g}{T_b v} (1)$$

$$E = \text{Enerji yoğunluğu} \quad J/mm^2$$

$$L_g = \text{Lazer gücü} \quad W$$

$$T_b = \text{Takım yolu boşluğu} \quad mm$$

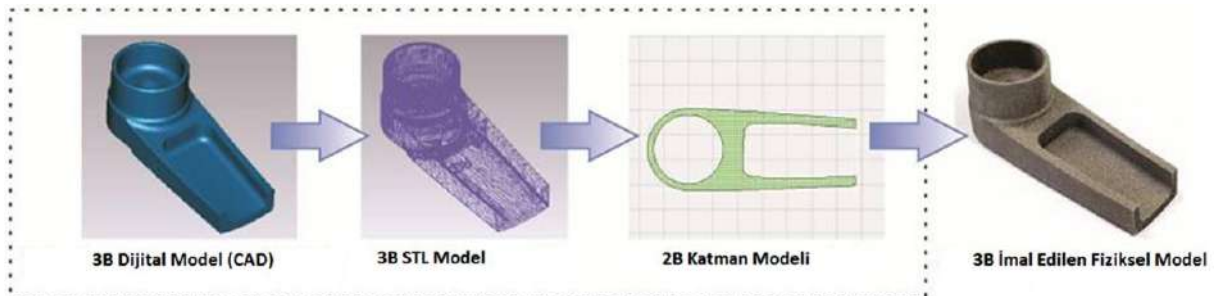
$$v = \text{İlerleme hızı} \quad mm/s$$

Çizelge 3. Alüminyum tozunun imalat parametre değerleri (EOS M270 Extended)

Parametreler	Ara Katman	Üst Katman	Alt Katman	Kontur
Tarama Hızı (v)	800mm/s	1000mm/s	900mm/s	900mm/s
Lazer Gücü (L _g)	195W	195W	190W	80W
Takım Yolu Boşluğu (T _b)	0,17mm	0,2mm	0,1mm	
Enerji Yoğunluğu	1,4338	0,9750	2,1111	

Kullanılan imalat parametreleri her bir toz malzeme için farklı olmaktadır. Ayrıca proses esnasında oksidasyonu önlemek için ortama belli bir basınçta inert gaz gönderilir ve ortamdan oksijen uzaklaştırılır. Aktivasyon enerjisi düşük olan (Ti64 gibi) reaktif metaller için genellikle havadan ağır olan argon gazı kullanılmaktadır. Kobalt-Krom, paslanmaz çelik ve kalıp çeliği gibi toz malzemeler içinse inert gaz olarak azot kullanılmaktadır.

DMLS sisteminde diğer bir önemli parametre ise BDT verisinin imalat için hazırlanmasıdır. Genel olarak, sanal bir nesneden fiziksel bir nesneye geçiş (tasarlanmış bir BDTdatasıyla) katmanlı imalat metotlarında iki aşamada gerçekleştirilir. Bunlar sırasıyla verilerin hazırlanması ve parçanın imalatprosedürü olarak tanımlanır. Veriler ilk önce dijital modelinBDT sistemi yardımıyla oluşturulmasıyla başlar (Şekil 5). Daha sonra BDTmodeli, özgün dosya formatından, STL dosya formatına dönüştürülür ve STL model birçok katmana ayrılarak parçanın imalatı için gerekli parametreleri seçilir. Son işlemde ise model ilgili DMLS makinesikullanılarak üretilir. Tüm süreç birkaç gün sürebileceği gibi birkaç saatte sürebilir [1].



Şekil 5. Katmanlı imalat metotlarında veri hazırlama safhaları.

Tasarım programları üreten firmalarda katkılı imalat yöntemlerinde kullanılmak üzere 3B dataları üretmek, oluşturmak ve modifiye etmek için özel dilimleme programları ve modülleri geliştirmişlerdir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Katmanlı imalat proseslerin de kullanılan yazılımlar.

Program İsmi	Üretici Firma	Lisans
Magics	Materialise	Ücretli
3-matic	Materialise	Ücretli
Netfab (Studio Basic)	FruthInnovativeTechnologien	Açık Kaynak kodlu (Ücretsiz)
Netfab (Studio Professional)	FruthInnovativeTechnologien	Ücretli
CADspan	LGM	Ücretli
3Data Expert	Deskartes	Ücretli
VisCAM	Materialise	Ücretli
Meshlab	Meshlab	Açık Kaynak kodlu (Ücretsiz)
Mimic	Materialise	Ücretli

Bu bölümde DMLS prosesinin çalışma prensibi kısaca anlatılmıştır. Bir sonraki bölümde ise DMLS teknolojisinin ülkemizde en çok kullanılan alanı olan dental uygulamaları hakkında bilgi verilecektir.

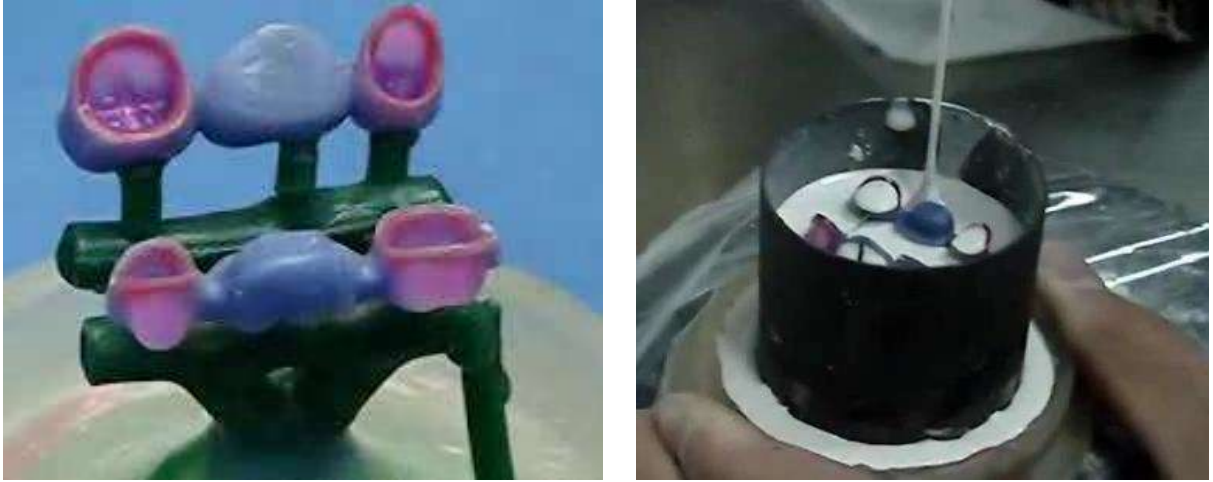
4. DMLS Teknolojisinin Dental Alanda Kullanılması

Tıbbi görüntüleme teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte medikal ve dental alanlar katmanlı imalat uygulamaları içerisinde son 15 yılda en büyük üçüncü pazarı oluşturmuştur [1].KİT' de tıbbi uygulamalar genel olarak medikal/dental ürün ve aletleri, prototipleri, biomodel ve anatomik modellerle direk olarak kişiye özel metal implant üretimini kapsamaktadır.

Ülkemizde de farklı alanlarda kullanılan DMLS teknolojisi özellikle dental sektörde kendisine belirgin şekilde yer edinmiştir. Dental uygulamalardan birisi olan dişlerin porselen ile kaplanması, dişlerin şekil ve yapısının bozuk, estetik açıdan görüntü bozukluğu bulunan veya herhangi bir sebeple hasar görmüş, kırılmış, aşınmış, dolgu yapılarak tamir edilemeyecek kadar problemli dişler için yapılan bir uygulamadır. Her insanın çene ve diş şekillerinin birbirinden farklı olduğu için dişlerin porselen ile kaplama uygulaması kişiye özel üretim gerekmektedir. Değerli ya da alternatif alaşımlar protez rehabilitasyonu için diş hekimliğinde yıllardır kullanılmaktadır. Değerli alaşımların (altın, gümüş... v.b.) maliyetlerinden dolayı diş hekimliğinde kullanımı sınırlı olup, değerli olmayan diş alaşımları tercih edilmektedir. Şu anda, en çok kullanılan değerli olmayan metal alaşımları da sertlik, esneklik katsayısı ve gerilme mukavemeti gibi özelliklerinden dolayı metal, seramik restorasyonu için uygun olan kobalt-krom (Co-Cr) ve nikel-krom (Ni-Cr)'dur. Ancak, Avrupa Birliği ve ADA (AmericanDentalAssociation – Amerika Diş Hekimleri Birliği), nikelin insanlar üzerindeki olası alerjik etkileşimlerinden dolayı nikel elementin kullanılmamasını önermektedir. Dişlerin porselenle kaplama uygulamasında porselen malzeme altına Co-Cr malzemeden hastadan alınan ölçüye göre metal altlıklar (üye, kron) üretilmektedir (Şekil 6). Co-Cr malzemeden üretilen üyeler daha sonra porselen kaplanmakta ve gerekli testlerden sonra hastanın ağızına takılmaktadır [13].

**Şekil 6.** Metal kobalt-krom altlıklı porselen dişler.

Co-Cr metal altlıklar klasik üretim yöntemi olarak mum kalıba dökülerek teknisyenler tarafından üretilmektedir. Bu üretim yönteminde her bir dişin farklı olması gerektiği için teknisyenlerin el becerisi ön plana çıkmakta ve zaman almaktadır (Şekil 7).



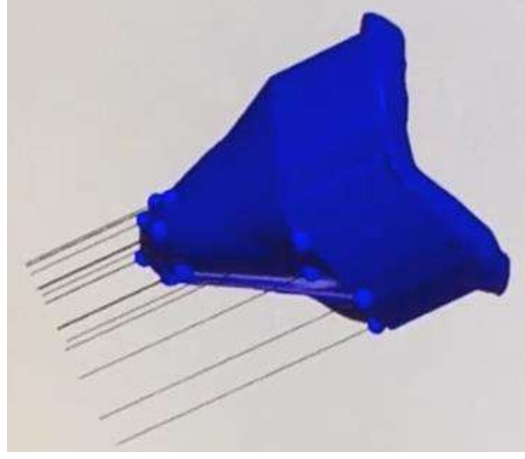
Şekil 7. Mum kalıba diş kalıbının dökümü [14].

DMLS metodu ile metal altlık üretmek ise son derece pratik hale gelmiş ve teknisyen ihtiyacını en aza indirmiştir. DMLS teknolojiyle imalat yapan diş kliniklerinde üretim işlemleri şu şekilde gerçekleşmektedir;

1. Diş hekimlerinden gelen alçılar 3B tarayıcılar ile taranmakta ve hastanın diş yapısının BDT verisi elde edilmektedir.
2. Elde edilen BDT verisi üzerinde hazır paket programlar vasıtasıyla eksik dişler yerleştirilir (Şekil 8).
3. Belirlenen eksik dişlerin metal altlıkları Eos Rp Toolsprogramına gönderilir ve program üzerinde üretilen üyeler imalat tablası üzerine otomatik olarak yerleştirilir.
4. İmalat tablasına yerleştirildikten sonra her bir üye veya köprü üyelerin destekleri teknisyen tarafından kontrol edilir gerekli görülürse tabla üzerinde üyenin konumu veya destekler üzerinde düzeltmeler yapılır ve veriler dilimlenip DMLS makinesinin arayüz programına gönderilir (Şekil 9).
5. DMLS makinesinin de imalat parametreleri belirlendikten sonra üretim gerçekleştirilir (Şekil 10).
6. Üretim bittikten sonra parça üzerinde kalan artık gerilmeleri gidermek imalat tablasıyla birlikte üyeler tavlama işlemine tabi tutulur.
7. Tavlama işleminden sonra imalat tablası ve üyeler tel erezyon veya metal bir testere ile birbirlerinden ayrılır (Şekil 11).
8. Metal üyeler porselen kaplanarak hastalarda kullanılabilecek şekilde hazır hale getirilir (Şekil 12).



Şekil 8. Hasta alçısından oluşturulan BDT verisi ve eksik dişlerin belirlenmesi.



Şekil 9. Bir üye için destek malzemelerinin düzenlenmesi.



Şekil 10. İmalat tablası üzerinde üretim sonrası metal diş altlıkları.



Şekil 11. Porselen kaplamaya hazır hale getirilen Co-Cr üyeler



Şekil 12. Porselen kaplanmış ve kullanımına hazır hale getirilmiş dişler.

5. Sonuç

DMLS makinesinin özelliklerine göre imalat alanının boyutları, kullanılan lazerin gücü, optik lensler, ... v.b. değişmektedir. Kullanılan optik lenslere göre imalat tablaları 8x8 cm' den başlayıp 40x40 cm' e kadar geniş bir aralıkta üretilmektedir. Bazı DMLS makinelerinde ise üretim hızını artırmak için çift lazer kullanılmaktadır. 20x20 cm imalat tablasına sahip 200W lazer gücüne sahip bir DMLS makinesinde aynı anda yaklaşık 400 adet üye 7-8 saat süre zarfında üretilmektedir. Diş klinikleri üye üretimi genellikle akşam saatlerinde başlatıp ertesi iş gününde porselen kaplamalar ile birlikte dişleri hazır hale getirebilmektedirler. Co-Cr üye üretiminde hastaların tarama verilerinden üretilmesi, hızlı ve çok sayıda üretim yapılabilmesi, teknisyen ihtiyacını düşürmesi, üretimi seri olarak yapması gibi DMLS teknolojisinin faydaları açıkça görülmektedir. Fakat bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Ülkemizde DMLS makinesi üreten bir firmanın bulunmamasından dolayı ilk yatırım maliyetleri çok yüksektir. Bunun yanında servis, yedek parça, bakım ve onarım maliyetleri de yine aynı sebepten çok yüksektir. Ayrıca bazı DMLS makinesi üretici firmalar sadece kendi ürettikleri toz malzemelerin kullanılmasına izin vermektedir. Buda kullanıcıları firmalara bağımlı kılmaktadır. Avantaj ve dezavantajları dikkate alındığında KİT' nin giderek artan bir kullanım alanı olduğu açıktır ve gelecekte klasik imalat yöntemlerinin yerini alacaktır.

Referanslar

1. Wohlers, T. (2012). Wohlers report 2012. Wohlers Associates, Inc.
2. Shellabear, M., & Nyhäll, O. (2004). DMLS-Development history and state of the art. Laser Assisted Netshape Engineering 4, Proceedings of the 4th LANE, 21-24.
3. Santos, E. C., Shiomi, M., Osakada, K., & Laoui, T. (2006). Rapid manufacturing of metal components by laser forming. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46(12), 1459-1468.
4. Santos, E. C., Osakada, K., Shiomi, M., Kitamura, Y., & Abe, F. (2004). Microstructure and mechanical properties of pure titanium models fabricated by selective laser melting. Proceedings of the institution of mechanical engineers, part c: journal of mechanical engineering science, 218(7), 711-719.
5. Abe, F., Santos, E. C., Kitamura, Y., Osakada, K., & Shiomi, M. (2003). Influence of forming conditions on the titanium model in rapid prototyping with the selective laser melting process. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 217(1), 119-126.
6. <http://www.eos.info/en>
7. Senthilkumaran, K., Pandey, P. M., & Rao, P. V. M. (2009). Influence of building strategies on the accuracy of parts in selective laser sintering. Materials & Design, 30(8), 2946-2954.
8. Delgado, J., Ciurana, J., & Rodríguez, C. A. (2012). Influence of process parameters on part quality and mechanical properties for DMLS and SLM with iron-based materials. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 60(5-8), 601-610.
9. Sachdeva, A., Singh, S., & Sharma, V. S. (2013). Investigating surface roughness of parts produced by SLS process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 64(9-12), 1505-1516.
10. Song, Y. A., & Koenig, W. (1997). Experimental study of the basic process mechanism for direct selective laser sintering of low-melting metallic powder. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 46(1), 127-130.
11. Ning, Y., Fuh, J. Y. H., Wong, Y. S., & Loh, H. T. (2004). An intelligent parameter selection system for the direct metal laser sintering process. International journal of production research, 42(1), 183-199.
12. Krishnan, M., Atzeni, E., Canali, R., Manfredi, D., Calignano, F., Ambrosio, E., & Iuliano, L. (2013, September). Influence of post-processing operations on mechanical properties of AlSi10Mg parts by DMLS. In High Value Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping: Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, Leiria, Portugal, 1-5 October, 2013 (p. 243). CRC Press.
13. <http://www.dissizler.com/>
14. Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavi Anabilim Dalı Ders Notları 2010-2011.

3B YAZICILARDA ENDÜSTRİYEL ÜRÜN YAZDIRMA, MEKANİK VE YÜZEY İŞLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Abdullah ALTIN¹, Derya ÇELİK² Kerim ÇETİNKAYA²

¹ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Van, TÜRKİYE

² Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, TÜRKİYE

aaltin@yyu.edu.tr, derya.celik@arti90.com, kcetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmada üç farklı 3B yazıcı kullanılarak üretilen gözlük modellerinin yüzey özellikleri karşılaştırılmıştır. Birinci model 3B yazıcı lisans öğrenci çalışmalarıdır. İkinci model 3B yazıcı tersine mühendislikle inşa edilmiştir. Üçüncü model 3B yazıcı ticari firmadan alınmıştır. Aynı ölçek ve baskı parametrelerinde 3B yazıcılar da ABS ve PLA malzeme ile yazdırılan gözlük modellerinin çekme mukavemeti, yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için "Metil Etil Keton" adlı solüsyon kullanılmış ve yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ticari makinelerden daha iyi ürünler alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, ABS-PLA, Mekanik Özellikler

PRINTING INDUSTRIAL PRODUCTS USING 3D PRINTER, COMPARISON OF SURFACE PROCESSING AND MECHANIC PROPERTIES

Abstract

In this study, the glasses models produced and surface properties. We are compare during three different 3D printer. The first model 3D printer is done undergraduate students. These cond model 3D printer was built reverse-engineering. The third model 3D printer we are taken from a commercial firm. Models have been printed at the same scale and in the print parameters with 3D printers using ABS and PLA materials, their tensile strength, surface roughness and surface hardness values were measured and compared. "Methyl Ethyl Ketone" has been used to improve the surface quality, and it has been found to decrease the surface roughness. Better products are obtained from commercial machine.

KeyWords: 3D Printer, ABS-PLA, Mechanical Properties

1. Giriş

Üç boyutlu yazdırma, dijital ortamda hazırlanan üç boyutlu dosyadan (CAD çizimleri) üç boyutlu katı nesneler üretme sürecidir. Bu işlemleri gerçekleştiren makineler üç boyutlu yazıcı olarak adlandırılır. 3 boyutlu yazıcı teknolojileri katmanları üst üste yığma tekniği ile çalışmaktadır. Fakat bu katmanları oluşturma yöntemleri farklılık gösterebilir. Bunlar plastik ergitme, lazer sinterleme, sterolitografi gibi yöntemlerdir Bu yöntemlerden en yaygın olarak bilineni plastik malzemenin ergitilerek katı nesneler oluşturan FDM (Fused Deposition Modelling) yöntemidir [1,2]. FDM yönteminde kullanılan üç boyutlu yazıcıların kartezyen yazıcı [3,4], delta yazıcı [5] ve corexy yazıcı [6,7] gibi çeşitleri bulunmaktadır. Ham maddesi metal olan üç boyutlu yazıcılar da SLS (selective laser sinterleme) yöntemi uygulanmaktadır [8,9]. Üç boyutlu yazıcılarda (PLA, ABS) benzeri plastik malzemeler ile FDM ya da birleştirme yoluyla yığma teknolojisi kullanılır [10,11]. Diğer bir yöntem ise SLS seçici lazer sinterlemedir [12,13]. ABD’de “Makergeeks” firması, Çin’de “Esun3d” firması, Hollanda’da “formfutura” firması, Polonya’da “marwiol” firması 3B yazıcılar için çok çeşitli Filament malzeme üretiminde bulunmaktadır [14-17].

Üç boyutlu yazıcılardan ürün çıkarabilmek için dijital ortamda tasarlanan ürün STL formatında kaydedilir ve üç boyutlu yazıcı kontrol programlarına aktarılır. Üç boyutlu yazıcı kontrol programlarında baskısı yapılacak olan ürünün yüzey kalitesi, doluluk oranı gibi istenilen özellikleri ayarlanır. Gereken ayarlar yapıldıktan sonra dilimleme işlemi yapılarak ürün katmanlara ayrılır ve “G kodu” dosyası oluşturulur. Oluşturulan bu dosya ya hafıza kartı aracılığıyla ya da doğrudan bilgisayar bağlantısı ile üç boyutlu yazıcılara aktarılarak ürün baskısı gerçekleşir [11]. Piyasada markalaşmış üç boyutlu yazıcıların kendine özel tasarımları olan dilimleme ve kontrol programları bulunmaktadır. Bunlardan en sık rastlananları Ultimaker’in kullanıcıları için ücretsiz olarak sunduğu Cura adındaki dilimleme programıdır.

Bir diğer kontrol programı ise Makerbot'un tasarlayıp kullanıcılarına ücretsiz olarak sunduğu Makerware üç boyutlu nesne dilimleme programıdır. Bu çalışmada internet den indirilip kullanılan "Repetier" üç boyutlu yazıcı kontrol ve dilimleme programıdır [1,11]. Gelecek de çocuklar internetten indirdiği üç boyutlu bir oyuncak verisi ile kendi oyuncaklarını yapabilecek, evde kullanılan cihazların herhangi bir parçası bozulduğu zaman bu parçayı direkt fabrikadan getirmek yerine yalnızca gerekli olan geometri ve malzeme bilgisi için ödeme yapmak yeterli olacaktır [18]. Hammaddesi seramik olan protez imalatı gerçekleştirilebilecektir. İnsanların ihtiyaç duyduğu organların üç boyutlu yazıcılarla üretilmesi beklenmektedir [10]. Yakın gelecekte metal hammadde kullanan üç boyutlu yazıcıların sayısı ve üretim hassasiyeti hızla artacaktır [11,19]. Aynı zamanda birden fazla malzeme kullanılarak (metal, plastik, seramik vb.) karmaşık malzeme özelliklerine sahip parçalarla mekanik ya da elektromekanik parça gruplarını imal edebilen cihazlar artacaktır. Bu konuya verilebilecek en iyi örnek Almanya'daki MicroTEC firmasının bir enjektör iğnesinin içine girebilecek küçüklükte motor ve mekanizmalar üretmiş olmasıdır [2,20,21].

Üç boyutlu baskı imalat zorluğu değil, mükemmel ürün tasarımı yapabilme konusu olacaktır [11,22]. Dünya üzerinde hızlı prototipleme alanında birim satışlar, diş hekimliğinde kullanımı, deney sistemleri tasarımı, ortez-protez çalışmaları, elektronik sistemler, ultrasondan gelen görüntüleri üç boyutlu fiziksel hale getirme çalışması yapılmıştır [23]. Hızlı prototipleme ile üretimin dünyadaki geleceği hakkında değerlendirmeler sıklıkla yapılmaktadır [24-27]. Hızlı prototipleme yöntemlerinin sınıflandırılması ve uygulamaları alanında çalışmalar geniş olarak [11,27-38] de bulunabilir. Kulaklık tasarımı [39], 3D yazıcı ve nanokompozit biriktirme sisteminin farklı proses parametreleri [40,41], yazdırma teknikleri, kafatasında tersine mühendislik uygulamaları [42,43], tıbbi materyallerin performansları değerlendirilmesi [44], üç boyutlu cam baskı alanındaki gelişmeler [45], çeşitli ve farklı teknik uygulamaları [46-50], bilim kurgu, tıp, inşaat ve havacılık da uygulamalar verilmiştir [51-54].

2. Materyal-Metot

2.1. Amatör 3 Boyutlu Yazıcılarda Yazdırılan Örnek Uygulamalar Ve Çekme Testleri

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümünde, lisans öğrencilerince tasarlanıp inşa edilen 8 prototip 3B yazıcı ile gözlük modeli çalışmaları yapılmıştır. Yazdırılan modellerin farklı yazıcılardaki çalışma sıcaklıkları, doluluk oranları gibi yazdırma parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu parametreler her bir model için eşit tutularak mekanik testler sonucu aradaki farklılıklar gözlemlenmiştir. Burada sadece prusa tipi tabla ısıtmasız üç boyutlu yazıcıda yazdırılan gözlük modelin çekme testleri sonucu kopma bölgeleri Şekil 1'de görülmektedir. 1.75 mm çapında ABS filament kullanılmıştır. Yazdırma işlemi 100 dakika sürmüştür [11].



Şekil 1. Gözlük kolu ve çerçevesi

Çizelge 1. 3 Boyutlu yazıcıların karşılaştırılması

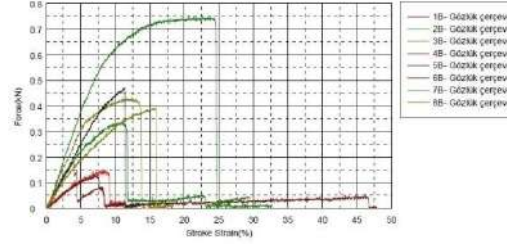
Nr	İsim	Tip	Boyut (XYZ)	G. Boyut (XYZ)	Y.Boyut (XYZ)	Tablet ^a C	Nozul ^b C	Filament	L(mm) G(g)	Dış Yüzey Pürüzlülük Değerleri Solusyon öncesi/sonrası (µm)	İç Yüzey Pürüzlülük Değerleri Solusyon öncesi/sonrası (µm)	Yüzey Sertlik Değeri (H)	Maliyet TL	Zaman	Program	Tabla	Talrak
1)	Mehmet Mustafa Murzaffer	Prusa Tipi i3	X 400 Y 400 Z 400	X 400 Y 400 Z 400	X 210 Y 210 Z 210	105/12	230 240 256	1.75 ABS	656mm	2,527/1,484	-10,780	32	1300	41.9	Repetier Slic 3R	CAM	XY Keyiş, Z M5 vida çift
2)	Taner Neşet Emre	Prusa Tipi i3	X 585 Y 565 Z 560	X 585 Y 565 Z 560	X 200 Y 200 Z 250	65/5	190	1.75 PLA	612mm	4,937/3,451	8,697/4,329	66,83	1650	95 dk	Repetier Slic 3R	CAM	XY Keyiş, Z M5 vida çift
3)	Mervide Nerzha Shet Fahih	Prusa Tipi i3	X 450 Y 470 Z 480	X 450 Y 470 Z 480	X 200 Y 200 Z 110	100/12	240	1.75 ABS	518mm 50mm/s	7,679/6,591	-/-	47,5	1600	47.55	Repetier Cura	Sıcak Tabla	XY Keyiş, Z M5 vida çift
4)	Adem Feriullah Zeynep	Prusa Tipi i3	X 400 Y 400 Z 450	X 400 Y 400 Z 450	X 200 Y 200 Z 160	105/10	238 240 252	1.75 ABS	700mm 50 mm/s	24,473/8,081	6,957/3,219	69,5	2000	60 dk	Cura	CAM	XY Keyiş, Z M5 vida çift
5)	Serkan Ebru	Prusa Tipi i3	X 450 Y 450 Z 530	X 450 Y 450 Z 530	X 210 Y 210 Z 220	-----	180 185 187	1.75 PLA	676mm 30 mm/s	17,927/12,413	14,813/9,917	62,66	1400	100dk	Repetier Slic 3R	Alışıp	XY Keyiş, Z M5 vida çift
6)	Tuğrul Fırat Kemal	Prusa Tipi i3	X 320 Y 430 Z 500	X 320 Y 430 Z 500	X 200 Y 200 Z 280	-----	200	1.75 PLA	8038mm	6,805/6,168	9,702/7,604	66,83	2000	61 dk	Repetier Slic 3R	Alışıp	XY Keyiş, Z M5 vida çift
7)	Ergah Yavuz Şerif	Karezyen	X 500 Y 500 Z 500	X 500 Y 500 Z 500	X 200 Y 200 Z 275	130/15	250	1.75 ABS	4570%50 Kapatma işleme hızı	1,494/1,193	21,743/-	55,33	1930	75 dk	Repetier Slic 3R	CAM	XY Keyiş, Z M8 vida çift
8)	Kadir Buğra	Delta	X 320 Y 320 Z 600	X 320 Y 320 Z 600	X 160 Y 160 Z 230	-----	235	1.75 PLA	851	12,510/3,193	-/-	48,16	1930	99 dk	Repetier Slic 3R	CAM	XYZ Keyiş
9)	Butez çalışması için üretilmiş 3B Yazıcı	Prusa Tipi i3	X 400 Y 400 Z 400	X 400 Y 400 Z 400	X 200 Y 200 Z 210	110	230 240 250	1.75 ABS PLA	700mm 60 mm/s	0.350/0.132 12.627/9.620 5.418/2.271	1.033/0.141 12.783/6.749 4.828/1.607	ABS 72.12 PLA 64.83	2000	3aa 38dk 3aa 35dk 6aa 3dk	Repetier Slic 3R	CAM	XY Keyiş, Z M5 vida çift
0.3 mm Katman Kalınlığı %40 Boş katıyüz program hızı ve alışı Slic 3R																	

Amatör yazıcılarda yazdırılan gözlüklerin ölçüm değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

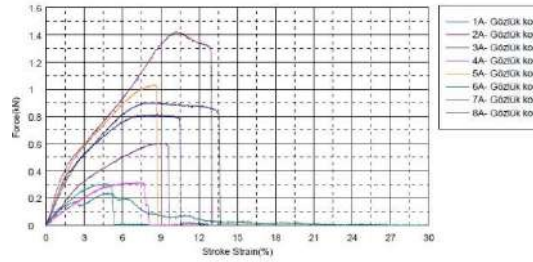
Çizelge 2. Yazdırılan gözlüklerin ölçüm değerleri

Units	Thickness	Width	Gauge Length
mm	mm	mm	mm
1A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
1B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
2A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
2B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
3A- Gözlük kolu	3.3600	12.0000	35.0000
3B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
4A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
4B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
5A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
5B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
6A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
6B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
7A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
7B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
8A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
8B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000

ABS ve PLA gözlük çerçeve ve kolları %40 doluluk oranı ile yazdırılmıştır. ABS malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve ve kol numuneleri 2A-B,5A-B,7A-B,8A-B'dir. PLA malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve ve kol numuneleri 1A-B, 3A-B, 4A-B, 6A-B'dir. Çekme deney sonuçlarında % 40 doluluk oranında ABS malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama 12,16573 N/mm² ve gözlük kol numunelerinin ortalama 24,15492 N/mm²lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. % 40 doluluk oranında ABS malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama % 12,84107 ve gözlük kol numunelerinin ortalama % 9,0478 maksimum uzama miktarına sahip olduğu görülmüştür. % 40 doluluk oranında PLA malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama 5,5872 N/mm² ve gözlük kol numunelerinin ortalama 11,8353 N/mm²lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. %40 doluluk oranında PLA malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama % 7,9028 ve gözlük kol numunelerinin ortalama % 15,0596 maksimum uzama miktarına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 2 ve Şekil 3).



Şekil 2. Yazdırılan gözlük çerçevelerinin çekme testi grafiği



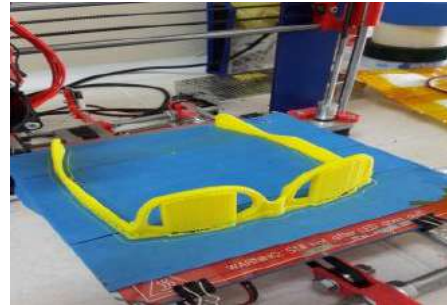
Şekil 3. Yazdırılan gözlük kollarının çekme testi grafiği

2.2. Tersine Mühendislik Uygulaması 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Örnek Uygulamalar

Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümünde YL öğrenci çalışmasından (tersine mühendislik uygulaması) çalışması ile tasarlanıp inşa edilen bir prototip 3B yazıcı ile gözlük modeli yazdırmaları yapılmıştır. Uygulamada tasarım ve yazdırma parametreleri aynı olan 2 adet gözlük modeli destekli ve desteksiz yazdırılmıştır. Gözlük sapı ve çerçevesi ayrı ayrı yazdırılan siyah gözlük Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 5'de görülen gözlük çerçevesi iç boşluklarına destek atılarak üretilmiştir [11].



Şekil 4. Siyah PLA'dan üretilmiş gözlük çerçevesi



Şekil 5. Sarı PLA'dan gözlük çerçevesi yazdırma işlemi

2.3. Ticari Makinede Destekli Gözlük Yazdırma İşlemi

Profesyonel makinede beyaz ABS'den yazdırılan gözlük modelinin destek ve ana malzemesi birbirlerinden farklıdır (Şekil 6). Destek malzemesi çerçeve malzemesinden farklı olduğunda kırma yada sıcak suda ertirme ile ayrılan çerçeve desteği modele zarar vermemektedir. Şekil 5'de destek malzemesi çerçeve malzemesi ile aynı olduğundan uygulamada destek parçasını kırma sırasında modelde parçalanmalar muhtemeldir [11].

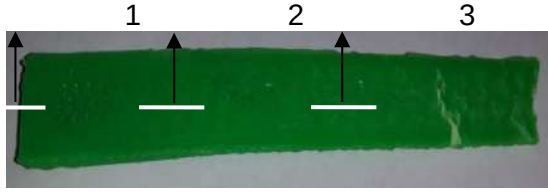


Şekil 6. Ticari 3B makinede yazdırılan gözlük çerçevesi

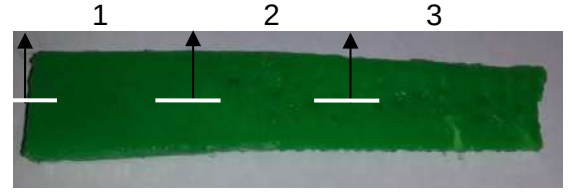
3. Yüzey Pürüzlülükleri

3.1. Amatör Makinelerde Yazdırılan Gözlük Numunelerinin Yüzey Pürüzlülükleri

3B yazıcının tablası cam olduğundan gözlük kolunun cama yapışan iç yüzeylerinden herhangi bir ölçüm değeri alınamamıştır. Gözlük kollarının dış yani yazdırma üst yüzeyleri ise yüzey pürüzlülük ölçümleri solüsyona batırılmadan önce ve sonra olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Gözlük kolları metil etil keton isimli solüsyonun içinde bekletmeden, yalnızca solüsyon içine daldırılıp çıkarma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sadece 1A gözlük kolu dış yüzeyinin bu çalışmada solüsyon öncesi ve sonrası ölçüm yerleri Şekil 7. ve Şekil 8.'de gösterilmiştir.

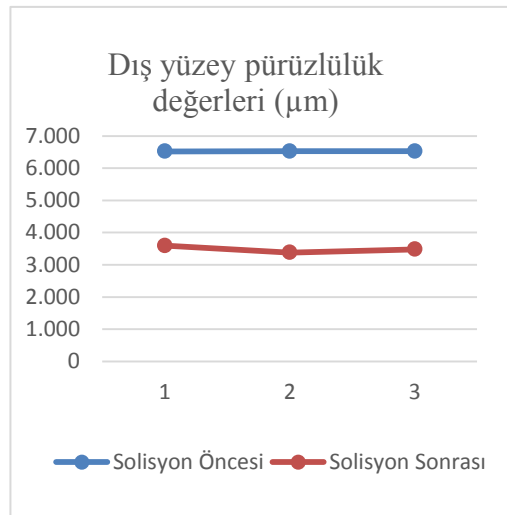


Şekil 7. Solüsyon öncesi gözlük kolu dış yüzeyi



Şekil 8. Solüsyon sonrası gözlük kolu dış yüzeyi

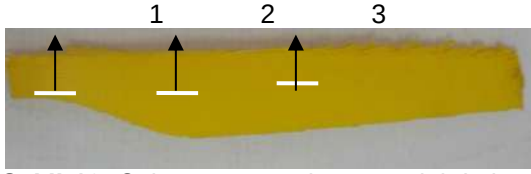
Solüsyona batırılmadan önce gözlük kolunun dış yüzeyinden alınan ölçümlerin ortalama değeri $6,527 \mu\text{m}$ iken solüsyona batırma işleminden sonra gerçekleşen ölçümlerin ortalama değeri $3,484 \mu\text{m}$ olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 9'da solüsyon öncesi ve sonrası gözlük kolu dış yüzeyinden alınan ölçüm değerleri karşılaştırılarak oluşturulan grafik görülmektedir [11].



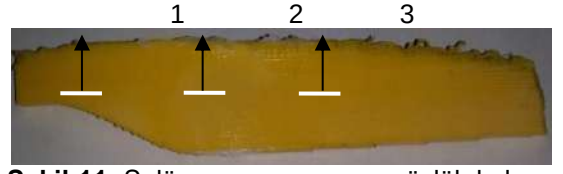
Şekil 9. Gözlük kolu dış yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırması

3.2. Tersine Mühendislik Uygulaması 3B Yazıcıda Yazdırılan Gözlük Numunelerinin Yüzey Pürüzlülük İşlemleri

Şekil 5' te verilen destekli sarı gözlük kolu dış yüzeyinin solüsyon öncesi ve sonrası ölçüm yerleri Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

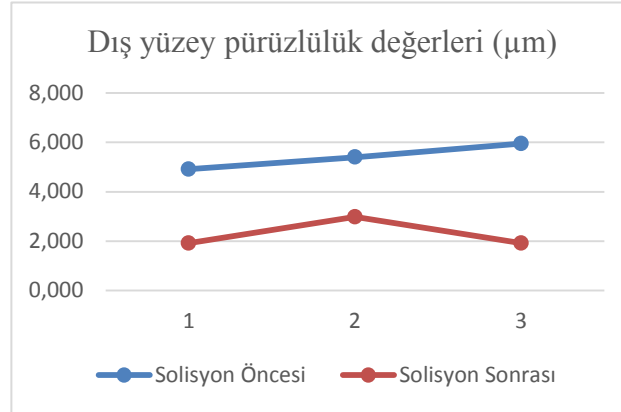


Şekil 10. Solüsyon öncesi sarı gözlük kolu dış yüzeyi



Şekil 11. Solüsyon sonrası sarı gözlük kolu dış yüzeyi

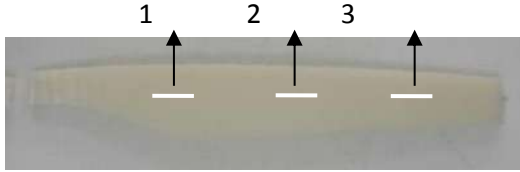
Solüsyona batırılmadan önce gözlük kolunun dış yüzeyinden alınan ölçümlerin ortalama değeri 5,418 μm iken solüsyona batırma işleminden sonra gerçekleşen ölçümlerin ortalama değeri 2,271 μm olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 12'de solüsyon öncesi ve sonrası sarı gözlük kol numunesinin dış yüzeyinden alınan ölçüm değerleri karşılaştırılarak oluşturulan grafik görülmektedir [11].



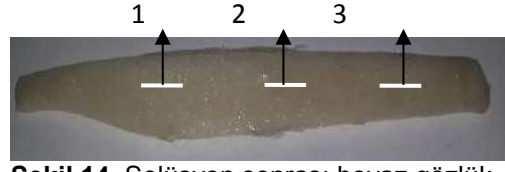
Şekil 12. Sarı gözlük kolunun dış yüzey pürüzlülük değerlerini karşılaştırma

3.3. Ticari Makinede Yazdırılan Beyaz Gözlük Kolu Numunesinin Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Ticari profesyonel makinede yazdırılan beyaz gözlük kolu dış yüzeyinin solüsyon öncesi ve sonrası ölçüm yerleri Şekil 13 ve Şekil 14'de gösterilmiştir.

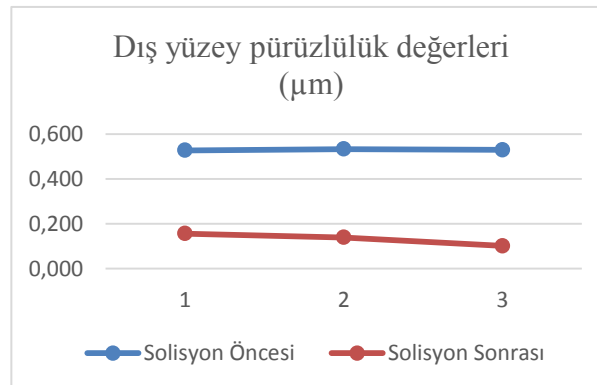


Şekil 13. Solüsyon öncesi beyaz gözlük kolu



Şekil 14. Solüsyon sonrası beyaz gözlük kolu

Çalışmada aynı solüsyon kullanıldığından orijinal renklerde değişim olmuştur. Solüsyona batırılmadan önce gözlük kolunun dış yüzeyinden alınan ölçümlerin ortalama değeri 0,530 μm iken solüsyona batırma işleminden sonra gerçekleşen ölçümlerin ortalama değeri 0,132 μm olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 15'de solüsyon öncesi ve sonrası gözlük kolu dış yüzeyinden alınan ölçüm değerleri karşılaştırılarak oluşturulan grafik görülmektedir.



Şekil 15. Beyaz gözlük kolunun dış yüzey pürüzlülük değerlerini karşılaştırma

4. Yüzey Sertlikleri

4.1. Amatör 3B Yazıcılarda Yazdırılan Gözlük Numunelerinin Yüzey Sertlik Değerleri

Gözlük numunelerinin üç yerinden alınan yüzey sertlik değerleri Çizelge 3'te Shore sertlik değeri cinsinden verilmiştir. ABS malzemesinden yazdırılan gözlük numunelerinin yüzey sertlik değerlerinin ortalaması 58,245 SD iken, bu değer PLA malzemesinden yazdırılan gözlük numuneleri için ortalama 56,375 SD olduğu görülmüştür.

4.2. Tersine Mühendislik Uygulaması 3B Yazıcıda ve Ticari Makinede Yazdırılan Gözlük Numunelerinin Yüzey Sertlik Değerleri

Yazdırılan gözlük numunelerinin Brinell sertlik değeri 72,16 SD ile en sert yüzeye sahip gözlük numunesi ticari üç boyutlu makinede yazdırılan gözlük numunesidir. Bu değer Çizelge 3'te verilen ABS malzemesi sertlik değeri ortalamalarının üstündedir. Tersine mühendislik uygulaması ile üretilen 3B yazıcıda PLA ile yazdırılmış olan gözlük numunelerin yüzey sertlik ortalaması ise 64,83 SD'dir. Bu değer de Çizelge 3'te verilen ortalama PLA değerlerinin üstündedir.

Çizelge 3. Yüzey sertlik değerleri

A	Sertlik değerleri (SD)	Ortalama Sertlik Değeri (SD)
1 A-B Gözlük numunesi (PLA)	43	52
	58	
	55	
2 A-B Gözlük numunesi (ABS)	60,5	66,83
	67,5	
	72,5	
3 A-B Gözlük numunesi (PLA)	43	47,5
	56	
	43,5	
4 A-B Gözlük numunesi (PLA)	69	63,5
	60	
	61,5	
5 A-B Gözlük numunesi (ABS)	62	62,66
	66,5	
	59,5	
6 A-B Gözlük numunesi (PLA)	60,5	62,5
	62,5	
	64,5	
7 A-B Gözlük numunesi (ABS)	54,5	55,33
	56	
	55,5	
8 A-B Gözlük numunesi (ABS)	44,5	48,16
	51	
	49	

5. Abs ve Pla'dan Yazdırılan Gözlük Numunelerinin Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4'te ABS malzemeden yazdırılan gözlük numunelerinden alınan solüsyon öncesi ve sonrası ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. ABS Yüzey sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Yüzeyler	Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri	
	Solüsyon Öncesi (µm)	Solüsyon Sonrası (µm)
Dış Yüzey	4.397	3.454
5A Dış Yüzey	17.927	12.413
7A Dış Yüzey	1.494	1.193
8A Dış Yüzey	12.510	3.193
Beyaz Gözlük Dış Yüzey	0.530	0.132

Solüsyona batırıp çıkarma işleminden sonra ABS'den yazdırılmış olan gözlük kollarının dış yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Solüsyon öncesinde ve sonrasında en düşük yüzey pürüzlülük değeri profesyonel makineden yazdırılan beyaz gözlük numunesinden alınmıştır. Bunun sebebi ise, profesyonel makinenin oldukça hassas baskı çıkarabilecek kadar mali değere sahip olmasıdır.

Çizelge 5'te PLA malzemeden yazdırılan gözlük numunelerinden alınan solüsyon öncesi ve sonrası ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 5. PLA Yüzey sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Yüzeyler	Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri	
	Solüsyon Öncesi (µm)	Solüsyon Sonrası (µm)
1A Dış Yüzey	6.527	3.484
3A Dış Yüzey	7.679	6.591
4A Dış Yüzey	24.473	8.081
6A Dış Yüzey	6.805	6.168
Siyah Gözlük Dış Yüzey	12.627	9.620
Sarı Gözlük Dış Yüzey	5.418	2.271

Solüsyona batırılıp çıkarma işleminden sonra PLA'dan yazdırılmış olan gözlük kollarının dış yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri, tersine mühendislikle üretilmiş üç boyutlu yazıcıda, solüsyon öncesi ve sonrasında üretilen gözlük kollarının dış yüzeylerinde görülmüştür.

6. Abs ve Pla'dan Yazdırılan Gözlük Numunelerinin Yüzey Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması

ABS malzemesinden yazdırılmış gözlük numunelerinden alınan Shore D sertlik değerlerinin ortalaması Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. ABS'den yazdırılan gözlüklerin yüzey sertlik değerleri

Ölçüm alınan gözlük isimleri	ABSGözlüklerinShore D sertlik değerleri(SD)
2A	66,83
5A	62,66
7A	55,33
8A	48,16
Beyaz Gözlük	72,12

Çizelge değerlerine göre amatör olarak yazdırılan gözlük numunelerinden alınan yüzey sertlik değerlerinin ortalaması 58,245 SD iken, ticari makineden yazdırılmış gözlük numunesi için 72,12 SD'dir. PLA malzemesinden yazdırılmış gözlük numunelerinden alınan yüzey sertlik değerlerinin ortalaması Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge7. PLA'dan yazdırılan gözlüklerin yüzey sertlik değerleri

Ölçüm alınan gözlük isimleri	PLA'dan Yazdırılan Gözlüklerin Yüzey Shore D sertlik değerleri (SD)
1 A-B Gözlük	52
3 A-B Gözlük	47,5
4 A-B Gözlük	63,5
6 A-B Gözlük	62,5
Siyah Gözlük	65,16
Sarı Gözlük	64,5

PLA'dan amatör olarak yazdırılan gözlük numunelerinin ortama yüzey sertlik değeri 56,375 SD iken, profesyonel olarak yazdırılan gözlük numunelerinin ortalama yüzey sertlik değeri 64,83 SD'dir. Tersine mühendislikle üretilmiş üç boyutlu makinede yazdırılan gözlük numunelerinden alınan yüzey sertlik değerleri amatör olarak yazdırılan gözlük numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır.

7. Sonuçlar

Çalışmada lisans ve lisansüstü uygulamalarında prototipi yapılan 3B baskı yazıcıları ile ticari makineden ABS ve PLA filamentlerinden endüstriyel bir ürün olan gözlük çerçeveleri ve kolları yazdırılmıştır. Üretilen modellerin doğrudan çekme testleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Gözlük çerçevelerinin desteksiz ve

destekli üretimi yapılmıştır. FDM yöntemi ile 3B yazıcı ürünlerinde yüzeylerin pürüzlülüğü fazla görülmüştür. Yüzey iyileştirilmesi için "Metil Etil Keton" adlı solüsyon kullanılmıştır. Solüsyon sonrası yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ticari makinelerden daha iyi ürünler alınmıştır. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri, tersine mühendislikle üretilmiş üç boyutlu yazıcıda, solüsyon öncesi ve sonrasında üretilen gözlük kollarının dış yüzeylerinde görülmüştür. Tersine mühendislikle üretilmiş üç boyutlu makinede yazdırılan gözlük numunelerinden alınan yüzey sertlik değerleri amatör olarak yazdırılan gözlük numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır.

Referanslar

1. J.-P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa, "Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping", *Keynote Papers*, 47(2), 525-540 (1998).
2. Azari, S. Nikzad, "The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review", *Rapid Prototyping Journal*, 216 – 225 (2009).
3. K. Hermanna, C. Gärtner, D. Güllmar, M. Krämer, J. R. Reichenbach, "3D printing of MRI compatible components: Why every MRI research group should have a low-budget 3D printer", *Medical Engineering & Physics*, 1373-1380 (2014).
4. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "Kendini Kopyalayan Üç Boyutlu Yazıcı", www.3byazici.com (2014).
5. "3D Printers and Components", <https://iwanta3dprinter.wordpress.com/3d-print/> (2014).
6. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "3D Printers", www.ultimaker.com (2014).
7. D.A. Roberson, D. Espalin, R.B. Wicker, "3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model", *Virtual and Physical Prototyping*, 201-212 (2013).
8. M. Chhabra, Rupinder Singh, "Rapid casting solutions: a review", *Rapid Prototyping Journal*, 328 -350 (2011).
9. İnternet: Üç Boyutlu Metal Yazıcılar, "Metal 3D Printers", www.donanimhaber.com (2014).
10. T. Billiet, M. Vandenhoute, J. Schelfhout, S. V. Vierberghe, P. Dubruel, "A review of trends and limitations in hydrogel-rapid prototyping for tissue Engineering", *Biomaterials* 33, 6020-6041 (2012).
11. D. Çelik, Tersine Mühendislikle Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı Ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üni., Fen Bil. Enstitüsü, Mayıs 2015.
12. E. Kroll, D. Artzi, "Enhancing aerospace engineering students learning with 3D printing wind-tunnel models", *Rapid Prototyping Journal*, 393 – 402 (2011).
13. B. N. Turner, R. Strong, S. A. Gold, "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling", *Rapid Prototyping Journal*, 192-204 (2014).
14. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, "3D Filament", www.makergeeks.com (2014).
15. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, "3D Filament", www.esun3d.net (2014).
16. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, "3D Filament", www.formfutura.com (2014).
17. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, "3D Filament", www.marwiol.pl (2014).
18. M. Ruffo, C. Tuck, R. Hague, "Make or buy analysis for rapid manufacturing", *Rapid Prototyping Journal*, 23 – 29 (2007).
19. T. Altan, B. Lillg, Y.C. Yen, "Manufacturing of Dies and Molds", *Engineering Research*, (2001).
20. D. Palousek, J. Rosicky, D. Koutny, "Pilot study of the wrist orthosis design process", *Rapid Prototyping Journal*, 27-32 (2014).
21. S. Singare, Q. Lian, W. Ping Wang, J. Wang, Y. Liu, D. Li, B. Lu, "Stereolithography model; (b and c) custom made implant and stereolithography skull model used in preoperative planning", *Rapid Prototyping Journal*, 19-23 (2009).
22. J. Lopes, E. MacDonald, R. B. Wicker, "Integrating stereolithography and direct print technologies for 3D structural electronics fabrication", *Rapid Prototyping Journal*, 129 – 143 (2012).
23. J. Chimento, M. J. Highsmith, N. Crane, "Improving the process of making rapid prototyping models from medical ultrasound images", *Rapid Prototyping Journal*, 387-392 (2011).
24. T. Wohlers, "Future potential of rapid prototyping and manufacturing around the World", *Rapid Prototyping Journal*, 4-10 (1995).
25. D. Kochan, C. Chee Kai, D. Zhao, "Rapid prototyping issues in the 21st century", *Computers in Industry*, 3-10 (1999).
26. C. Hull, M. Feygin, Y. Baron, R. Sanders, E. Sachs, A. Lightman, T. Wohlers, "Rapid prototyping: current technology and future potential", *Rapid Prototyping Journal*, 11-19 (1995).
27. D.T. Pham, R.S. Gault, "A comparison of rapid prototyping Technologies", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1257–1287 (1997).

28. X. Yan , P. Gu, "A review of rapid prototyping 22echnologies and systems", *Review of rapid prototyping 28echnologies and systems*, 307-318 (1996).
29. Q. Sun , G.M. Rizvi , C.T. Bellehumeur, P. Gu, "Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments", *Rapid Prototyping Journal*, 72 – 80 (2008).
30. G. N. Levy, R.Schindel, J.P. Kruth, "Rapidmanufacturingandrapidtoolingwithlayermanufacturing (lm) technologies", State of the art andfutureperspectives, (1996).
31. N.P. Karapatis, J.-P.S. van, G. Glardon, R. Glardon, "Direct rapidtooling: areview of currentresearch", *RapidPrototyping Journal*, 77-89(1998).
32. D.Qiu, N.A. Langrana, S.C. Danforth, A. Safari, M. Fafari, "Intelligenttoolpathforextrusion-based LM process", *RapidPrototyping Journal*, 18-24(2001).
33. H. WahWai , "RP in art andconceptualdesign", *RapidPrototypingJournal*, 217-219 (2001).
34. G.Ryder, B.Ion, G.Green, D.Harrison, B.Wood, "Rapiddesignandmanufacturetools in architecture", *Automation in Construction* 11, 279-290 (2002).
35. Mark A. Evans, R. IanCampbell, "A comparativeevaluation of industrial design models produced using rapidprototypingandworkshop-basedfabricationtechniques", *RapidPrototypingJournal*, 344 – 351 (2003).
36. W.Guangchun, L.Huiping, G.Yanjin, Z.Guoqun, "A rapid design and manufacturing system for product development applications", *Rapid Prototyping Journal*, 200 – 206 (2004).
37. Pahole, I. Drstvensek, M. Ficko, J. Balic, "Rapidprototypingprocessesgivenewpossibilitiestonumericalcopyingtechniques", *Journal of Materials Processing Technology*, 1416-1422 (2005).
38. D.M.C. Santos, A.E.M. Pertence, H.B. Campos, P.R. Cetlin , "Thedevelopment of 3D modelsthroughrapidprototypingconcepts", *Journal of MaterialsProcessing Technology*, 1–4 (2005).
39. J. Dutson, K. L. Wood "Using rapidprototypesforfunctionalevaluation of evolutionaryproductdesigns", *RapidPrototypingJournal*, 125 – 131 (2005).
40. C.S. Lee, S.G. Kim, H.J. Kim , S.H. Ahn, "Measurement of anisotropiccompressivestrength of rapidprototypingparts", *Journal of MaterialsProcessingTechnology*, 627–630 (2007).
41. P. Calvert, "Freeforming of polymers", *Polymers*, 585-588 (1998).
42. M. Fantini, F. D. Crescenzo, F. Persiani, S.Benazzi, G. Gruppioni, "3D restitution, restorationandprototyping of a medievaldamagedskull", *RapidPrototypingJournal*, 318 – 324 (2008).
43. Bernard, A. Fischer, "New Trends in Rapid Product Development", *IndustrialEngineeringResearch*, (2012).
44. J. Chimento, M. Jason, H. Nathan Crane , "3D printedtoolingforthermoforming of medicaldevices", *RapidPrototypingJournal*, 387 – 392 (2011).
45. G.Marchelli, R.Prabhakar, D.Storti, M.Ganter, "Theguardetoglass 3D printing: developments, methods, diagnosticsandresults", *RapidPrototypingJournal*, 187- 194 (2011).
46. I.Campbell, D. Bourell, I.Gibson, "Additivemanufacturing: rapidprototypingcomes of age", *RapidPrototypingJournal*, 255-258 (2012).
47. J. Piattoni, G.P. Candini, G. Pezzi, F. Santoni, F. Piergentili, A. Astronautica, "PlasticCubesat: An innovativeandlow-costwaytoperformappliedspaceresearchandhands-on education", *ActaAstronautica*, 419-429 (2012).
48. L. Kashdan, C. C. Seepersad, M. Haberman, P. S. Wilson "Design, fabrication, andevaluation of negativestiffnesselementsusing SLS", *RapidPrototypingJournal*, 194-200 (2012).
49. M. Vaezi, S. Chianrabutra, B. Mellor, S. Yang , "Multiplematerialadditivemanufacturing – Part 1: A Review", *Virtual andPhysicalPrototyping*, 19-50 (2013).
50. D. Qiu, N. A. Langrana , "Voideliminatingtoolpathforextrusionbasedmulti-materiallayeredmanufacturing", *RapidPrototypingJournal*, 38–45 (2002).
51. T.Birchneil, J.Urry , "3D, SF andthefuture", *Futures* 50, 25-34 (2013).
52. C. Polzin, S. Spath, H. Seitz , "Characterizationandevaluation of a PMMA-based 3D printingprocess", *Department of MechanicalEngineering*, 37-43 (2013).
53. DalePrince, "3D Printing: An IndustrialRevolution", *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 39-45 (2014).
54. M. Paulic, T. Irgolic, J. Balic, F. Cus, A. Cupar, T.Brajlilh, I.Drstvensek, "ReverseEngineering of Partswith Optical ScanningandAdditiveManufacturing", *ProcediaEngineering* 69, 795-803 (2014).

ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNİĞİ İLE NESNELERİN ÜRETİMİ

Gizem ACAR YAVUZ^a, Zeki KIRAL^b

*a, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir/Türkiye,
b, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye*

Özet

Güncel imalat teknolojileri eklemeli, eksiltmeli ve şekil değiştirmeli olarak üç kategoriye ayrılabilir. Eklemeli üretim bir iş parçasını oluşturmak için ham malzemeyi art arda ergiterek ve ekleyerek parçayı oluşturur; metal tozlarını lazer ile sinterleme, elektron ışınıyla ergitme ve üç boyutlu yazdırma örneklerini içerir. Bu çalışma kapsamında, genel amaçlı bir üç boyutlu yazdırma makinesi tasarlanmış ve üretilmiştir. Basit mikro kontrolcü karta dayanan açık kaynaklı bir fiziksel hesaplama platformu olan Arduino, üç boyutlu yazdırma makinasının ana kontrolcüsü olarak kullanılmıştır. Tasarım ve üretim aşamalarının sonunda üç boyutlu bir yazıcı başarıyla elde edilmiş ve örnek parçalar kabul edilebilir bir boyutsal hassasiyette çıktı olarak alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu yazıcı, Arduino, eklemeli üretim.

THE PRODUCTION OF OBJECTS WITH THREE DIMENSIONAL PRINTING TECHNIQUE

Abstract

Current manufacturing techniques can be divided into three categories: Additive, subtractive, and deformation. Additive manufacturing builds the part by successively adding and fusing raw material to form a workpiece; examples include laser sintering of metal powder, electron beam melting, and 3D printing. In the scope of this study, a general-purpose three dimensional printing machine has been designed and produced. Arduino which is an open-source physical computing platform based on a simple microcontroller board, has been used as a main controller of the three dimensional printing machine. At the end of the design and manufacturing stages, a 3D printer has been obtained successfully and sample parts have been printed out with an acceptable dimensional accuracy.

Keywords: 3D printer, Arduino, additive manufacturing.

1. Giriş

Üç boyutlu baskı teknolojisi, herhangi bir şekle sahip katı bir nesnenin, dijital bilgisayar modelinden üretilmesi işlemidir. Üç boyutlu baskı teknikleri ile nesnelerin üretimi teknolojisine eklemeli üretim denir. Üç boyutlu bir şeklin üretimi, 3D baskı malzemesinin birbirini izleyen katmanlar halinde ergitilerek istenilen şeklin verilmesiyle oluşur. Bu üretim yöntemi, geleneksel kesme veya delme gibi malzeme işleme tekniklerinden farklıdır.

Bu üretim yöntemi tam ölçekli prototip ürünler hızlı bir şekilde elde edebilme imkânı sunar. Yaşam döngümüz içerisinde bu teknoloji gıda, takı, ayakkabı, endüstriyel tasarım, mimarlık, mühendislik, otomotiv, havacılık ve diğer birçok profesyonel uygulamalar ile dental ve medikal sanayi, eğitim, coğrafi bilgi sistemleri, inşaat mühendisliği gibi birçok yeni alanda da yaratıcılığımızı geliştirmemize olanak sunar. Üç boyutlu baskı alma üretim teknolojileri 1970'lerin sonunda mükemmel püskürtme yöntemi ile başlamış ve günümüze kadar gelmiştir [1].

Eklemeli üretim teknolojisi, üç boyutlu bir şekli oluştururken kullanılan malzemenin özelliklerine ve bu şekli katman katman üretme yöntemlerine göre kategorilere ayrılır. Bazı üretim yöntemleri malzemeleri eriterek, bazıları ise toz halindeki malzemenin birleştirilmesiyle ürünü oluşturur. Örneğin, seçici lazer eritme (Selective Laser Melting, SLM), doğrudan metal lazer sinterleme (Direct Metal Laser Sintering, DMLS), seçici lazer sinterleme (Selective Laser Sintering, SLS), erimiş birikim modelleme teknolojisi (Fused Deposition Modeling, FDM) kullanılır. Bazı farklı alışımlardaki malzemelerle baskı almak için Stereolithography (SLA) gibi gelişmiş teknolojiler kullanılır. Lamine nesne imalatı (Laminated Object Manufacturing, LOM) ile şekil ince tabakalar halinde üretilir ve sonra birleştirilir (örneğin: kağıt, polimer ve metal). Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır.

3D yazıcıların dezavantajlarından biri çıktı ürünün boyutsal hassasiyet toleransını iyi olmamasıdır. C. Cajal, 3D yazıcılar için hacimsel hata telafisi tekniğini kullanmıştır [2]. Brent Stephens, piyasadaki mevcut masaüstü 3D yazıcıların ultra ince parçacık (UFP) emisyonlarının farkında olan, bilinen ilk ölçümlerin

bazılarını sunmuştur [3]. Birçok masaüstü 3D yazıcının endüstriyel ortamlarda önemli aerosol (10 mikrondan daha küçük çaplı sıvı veya katı parçacıklardan oluşan çok fazlı sistem) emisyonuna sahip olduğu gösterilmiştir.

B.M. Tymrak, gerçekçi çevre koşulları altında açık kaynak kodlu 3D yazıcılar ile üretilmiş ürünlerin mekanik özelliklerini sunmuştur[4]. 3D yazıcılar için yüksek sıcaklık dereceleri olarak kabul edilen ancak termoplastik malzemelerin ekstrüzyonu için düşük sıcaklıklar olarak bilinen akrilonitril butadien stiren (ABS) ve polilaktik asit (PLA) malzemeleri son dönemlerde popüler olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

Bu çalışmada üç boyutlu baskı tekniği ile nesne üretimi için geliştirilen mekanik model detayları, yazdırma sürecinde kullanılan programlar ve elektronik donanım bilgileri verilmiştir. Çalışma kapsamında üretimi yapılan yazıcıda kullanılacak olan termoplastik malzemelerden bahsedilmiş ve yazıcı kullanılarak örnek bazı modeller üretilmiştir.

2. Mekanik

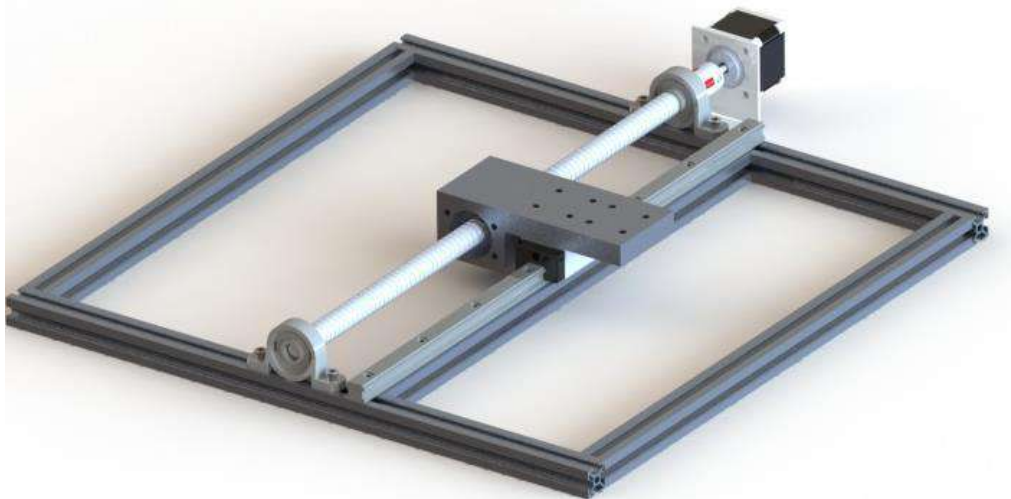
2.1. Mekanik Model

3D yazıcılar birçok farklı tasarımda üretilmişlerdir. Bazı mekanik yapılar ataleti azaltabilmek için; üretim platformu hareketli, motorlar sabit olacak şekilde tasarlanmıştır. Doğrusal üç özdeş aktüatör ile kartezyen koordinatlardan farklı koordinat sistemlerine hareketi ileten Delta 3D yazıcı tasarımı, son günlerde oldukça popülerlik kazanmıştır. Robot kol yazıcı tasarımları her eksenini aynı hassasiyette çalıştırabilmek kolay olmadığı için çok yaygın kullanılan bir tasarım değildir. Temelde basit bir üç eksen kartezyen tasarım bu çalışmada esas alınmıştır. Hareket eksenleri, genel olarak kayış/kasnak, saplama, trapez ya da vidalı mil vb. yöntemlerinden biri kullanılarak tahrik edilir.

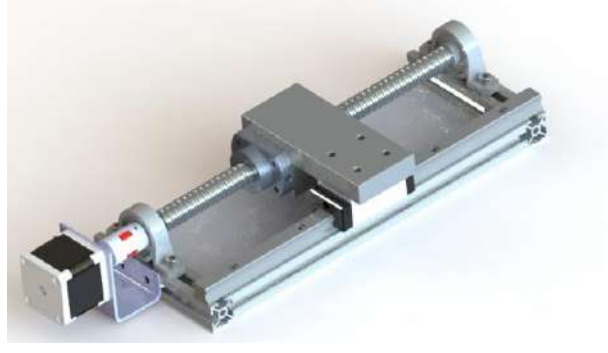
Kayış, kasnak sistemleri ivmeli hareketler için elverişlidir. Bu sebeple yeni nesil 3D yazıcı tasarımlarında tercih edilmektedir. Hassasiyetin önemli olduğu eksen hareketlerinde ise vidalı mil tahrik sistemleri daha uygundur. Çoğu yazıcıda Z eksenini hareketi için saplama, X-Y eksenini hareketi için ise kayış kasnak tahrikli hareket tercih edilmektedir. Bu çalışmada, iyi yüzey kalitesinde ürünler elde edebilmek için doğrusal ray araba ile vidalı mil tahrik sistemi seçilmiş ve yapılan hesaplamalarla uygun mekanik ekipmanlar belirlenmiştir.

2.2. Mekanik Tasarım

Bilgisayar Destekli Tasarım programı, üretimi yapılacak yazıcının 3D parçalarını tasarlamak için kullanılmıştır. Bilindiği gibi, kaliteli ürünler alabilmek için en önemli nokta rijit bir sistem tasarımının oluşturulmasıdır. Tasarımlarda SolidWorks® CAD programı kullanılmıştır. Yazıcının X, Y ve Z eksenleri sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'te gösterilmiştir. Yazıcı X ve Y eksenlerinde imalat alanı 200 mm², Z ekseninde ise 400 mm olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 1. X eksen tasarımı

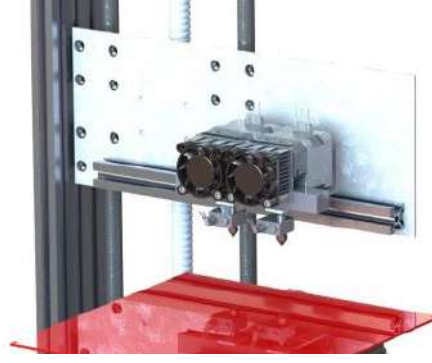


Şekil 2. Y eksen tasarımı

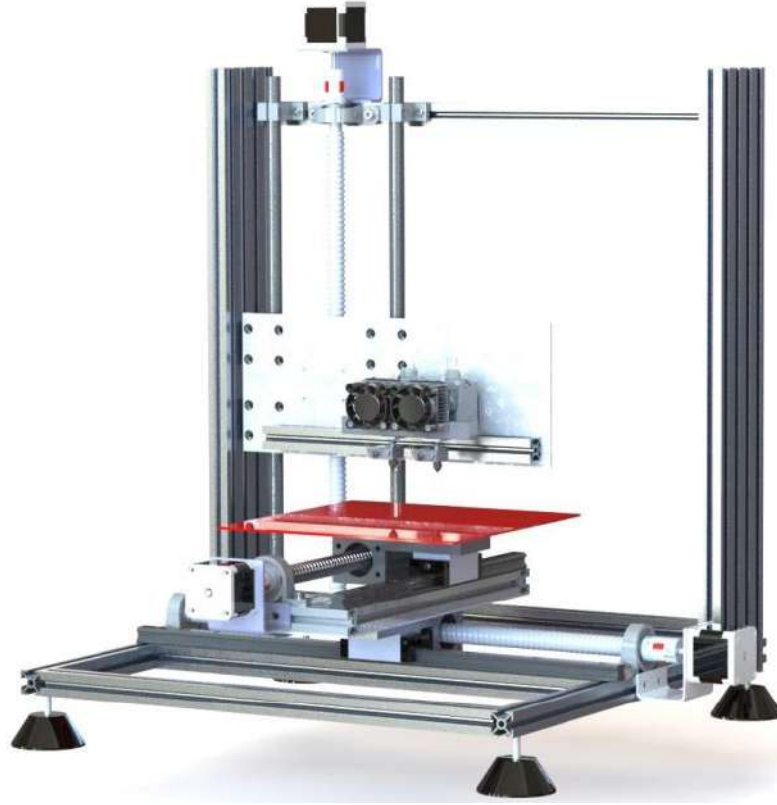


Şekil 3. Z eksen tasarımı

İkili ekstruder sistemleri farklı malzemelerin ya da üretilecek ürünün ölçüleri uygunsa aynı andaiki ürünün yazdırılabilmesine olanak sağlar. İkili ekstruder sistemlerini tasarlarken dikkat edilmesi gereken en önemli konu, üretim yapılırken tek renk ve malzeme kullanılacaksa, ekstruderin bir tanesinin park alanına çekilebilir olmasıdır. Aksi halde üretim alanı daha da daralacaktır. Şekil 4'de görüleceği gibi yataklamada kullanılan sigma profil uzun tutularak ekstruder için park alanı oluşturulmuştur. Bütün eksenler monte edilmiş bir şekilde, Şekil 5 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. İkili ekstruder



Şekil 5. Montaj tasarımı

3. Yazılım

Üç boyutlu yazıcıyı kontrol edebilmek için kullanılan yazılımlar temel olarak üç kategoriye ayrılır: ana yazılım, bilgisayar arayüzü ve tasarım yazılımı. Ana yazılım, yazıcının kontrol kartını ve sürücülerini, G ve M kodlarına göre hareket ettirerek eksenlerin çalışmasını sağlar. Bir yazıcının kontrolü, yazdırılacak şekli katmanlarına bölen ve 3D modelin doldurularak üretebilmesi için, üretim takım yollarını çizen bir bilgisayar arayüz programı sayesinde yapılır.

3.1. Bilgisayar Destekli İmalat Yazılımları

Üç boyutlu yazıcılar CAD programından gelen dosyaları, modeli doğrudan yazdırmak için kullanamazlar. CAD programlarında oluşturulan model dosyalarının işlenmesi gereklidir. Modeller üretilebilir hale

gelmeden önce dilimleme ve gönderme olarak adlandırılan iki yazılım işleminden geçer. Dilimleme: bir modeli yazdırılabilir katmanlarına bölerek, üretim takım yollarını oluşturur. Gönderme: yazıcı hareketlerinin kontrol edilebildiği arayüz programı sayesinde doluluk oranları, nozul çapı vb. diğer işlevler için bir kontrol arabirimi sağlar ve hareketleri yazıcıya gönderir.

Bilgisayar destekli imalat (Computer Aided Manufacturing, CAM), CAD dosyalarını makinamızın diline çeviren bir arabirimdir. Üç boyutlu modeli makine diline çevirebilmek için modelin STL uzantılı dosyası oluşturulur. Baskı için kullanılan makine formatı G ve M kodları olarak adlandırılır.

3.1.1. STL Dosyalarının İşlenmesi

Birçok yazılım G kod oluşturma ve gönderme özelliğini de içermektedir. STL dosyaları G kodlara çevirebilmek için açık kaynaklı yazılımlardan biri kullanılabilir. Bunlardan bazıları: MatterSlice, MeshLab, Skeinforge, Cura (G kod gönderme özelliğinin de içerir, Şekil 6'da gösterilmiştir.), Slic3r, RepSnapper, ConvertSTL, IVCON, Creation Workshop.

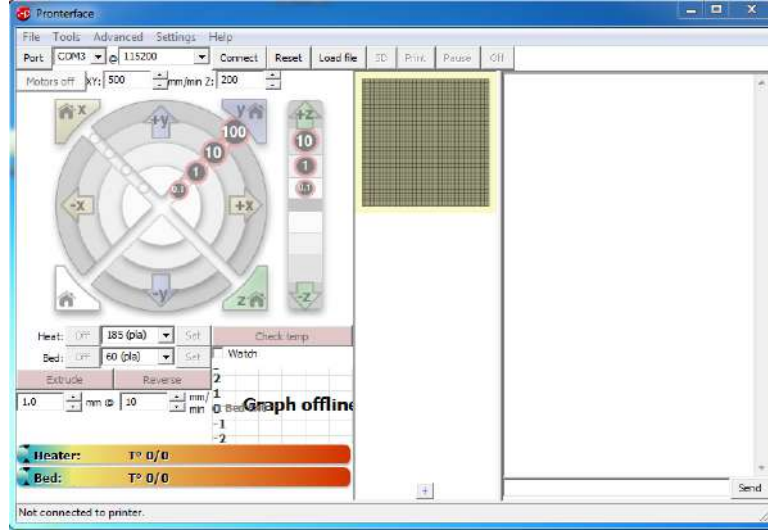


Şekil 6. Cura yazılımı arayüzü

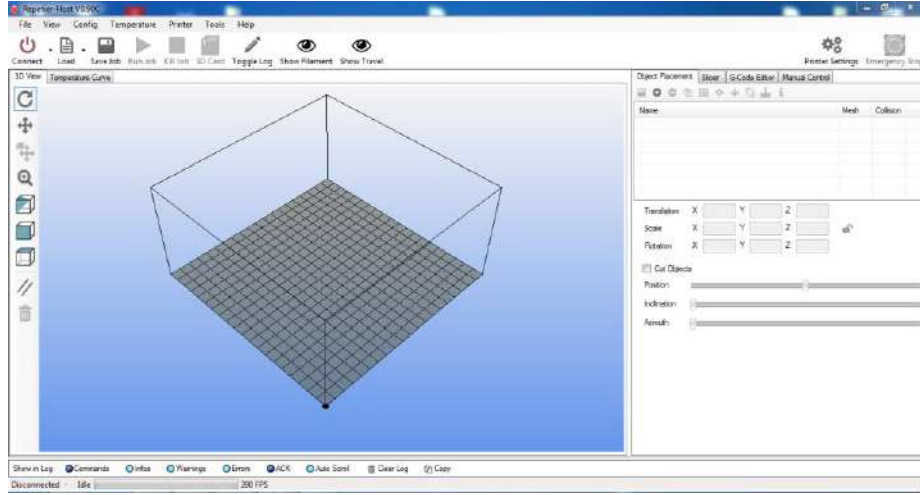
3.1.2. G kodlarını Yazıcıya Gönderme

G kod dosyasının yazıcıya gönderilebilmesi için, donanımda kart okuyucusu var ise dosya bir hafıza kartına (SD kart) yüklenebilir ya da bir seri bağlantı kablosu üzerinden (genellikle RS-232 veya TTL seviyesinden USB çevirici ile) yazıcıya iletilir. Yazıcıya doğrudan USB bağlantısı olan programlar: MatterControl®, Pronterface®, ReplicatorG®, RepSnapper®, RepRap Host Software®, Printron®, RebRep®, Repetier-Host®, X2sw, Simplify3D® olarak belirtilebilir.

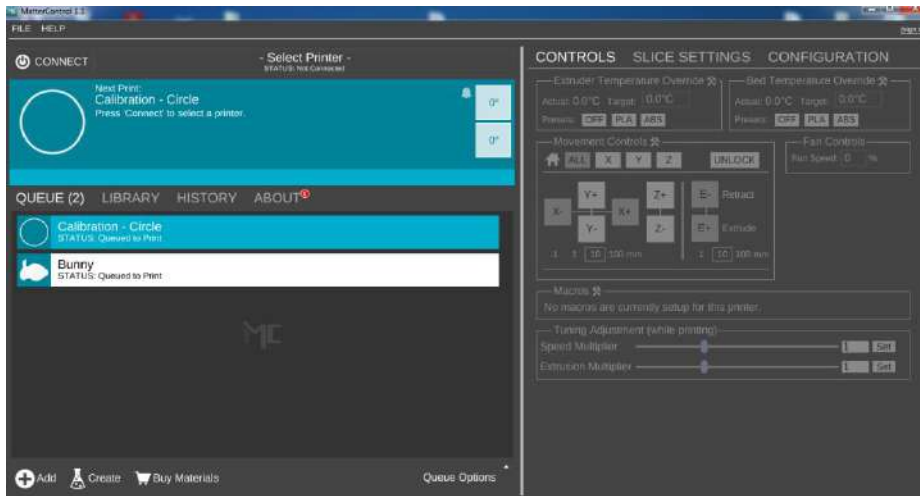
Pronterface® yazılımının kullanıcı arayüzü Şekil 7'de gösterilmiştir. 3D yazıcıların farklı arayüz programları ile çalıştırmak mümkündür. Repetier-Host® ve MatterControl® programlarının kullanıcı arayüzleri sırasıyla Şekil 8 ve 9'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Üç boyutlu yazıcının kontrolünün yapıldığı Pronterface® yazılımı arayüzü



Şekil 8. Üç boyutlu yazıcının kontrolünün yapıldığı Repetier-Host® yazılımı arayüzü



Şekil 9. Üç boyutlu yazıcının kontrolünün yapıldığı MatterControl® yazılımı arayüzü

4. Elektronik Tasarım

Bu bölümde üç boyutlu yazıcıda kullanılan elektronik donanıma ait bilgiler verilmiştir.

4.1. Elektronik Ekipmanlar

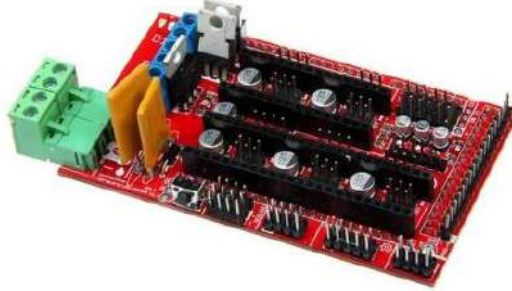
Yazıcının G kodlarıyla sürülebilmesi için uygun bir üç boyutlu yazıcı arayüz programının mevcut olması gerekmektedir. Arduino tabanlı mikrodenetleyiciler Atmel işlemcilerini kullanmaktadır. Bu çalışmada, Arduino MEGA® mikrodenetleyicisinin Atmega2560 kontrol kartı kullanılmıştır. Kullanılan Arduino MEGA Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Arduino MEGA

Bu kontrol kartının Android telefonlar ile USB üzerinden bağlantı kurabilen: MAX3421e IC tabanlı bilgisayar arayüzü programı mevcuttur. Bu kontrol kartının, 54 dijital giriş/çıkış pinleri (15 adedi PWM çıkışları olarak kullanılabilir), 16 analog girişi, 4 UARTs (donanımda seri portlar), 16 MHz kristal osilatör, USB bağlantısı, bir güç girişi, bir ICSP başlığı ve bir reset düğmesi bulunmaktadır [5].

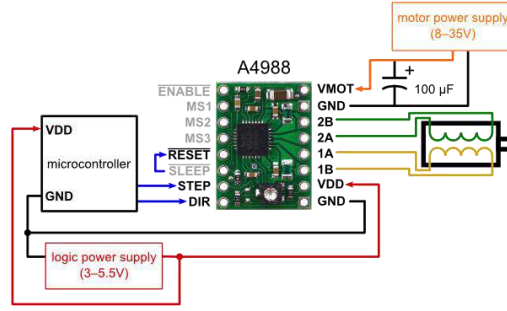
Son zamanlarda açık kaynak 3D yazıcılar çoğunlukla Arduino kontrol kartları ile kontrol edilmektedir. Fakat, yazıcının çalıştırabilmesi için sadece Arduino kontrol kartı yeterli değildir. 3D yazıcı donanımında, motor sürücülerine ve ısıtıcılara da gereksinim vardır. Bu çalışmada, kontrol kartı ile sürücüler arasında köprü görevi yapan, Şekil 11'de gösterilen bir Ramps 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) kartı kullanılmıştır.



Şekil 11. RAMPS 1.4

Her bir adım motor için A4988 adım motor sürücü kartı kullanılmıştır. A4988adım motor sürücüsü bipolar mikroadım motor sürücüsüdür ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Bu sürücüde ayarlanabilen akım limitleyicisi, aşırı akım ve sıcaklık koruması, beş farklı mikro adım çözünürlüğü bulunmaktadır. A4988adım motor sürücüsünün özellikleri aşağıdaki belirtilmiştir.

- Basit adım ve yön kontrol arayüzü bulunur,
- Tam adım, yarım adım, çeyrek adım, sekizde bir adım, ve onaltıda bir adım olmak üzere beş farklı adım çözünürlüğü vardır,
- Bir potansiyometre aracılığıyla maksimum akım çıkışı ayarının yapılabilmesi sayesinde motor üzerine gelen ani voltaj değerleri için koruma sağlar,
- Aşırı sıcaklıkta termal kapanma ve düşük voltajda devreyi kesme özelliği vardır.



Şekil 12. A4988 adım motor sürücü kartı

Adım motorların genellikle her bir adım için, adım sayısına göre açış değerleri bulunmaktadır (Örneğin; 1.8° için 200 adım devir başına). A4988 adım motor sürücü kartında farklı seviyeler vardır. Çizelge 1’de belirtilen beş farklı çözünürlük(adım sayısı)seçimi (MS1, MS2, ve MS3 ile) yapılabilir [6].

Çizelge 1. Adım Sayısı Seçim Çizelgesi

MS1	MS2	MS3	Mikro Adım Çözünürlüğü
Düşük	Düşük	Düşük	Tamadım
Yüksek	Düşük	Düşük	Yarımadım
Düşük	Yüksek	Düşük	Çeyrekadım
Yüksek	Yüksek	Düşük	1/8adım
Yüksek	Yüksek	Yüksek	1/16 adım

Tam adım modunda doğru akım değerini mekanik imalata göre belirleyebilmenin bir yolu, motorları eksen eksen çalıştırıp akım değerlerinin ölçülmesidir. Mevcut mekanik yapıya göre, ölçülen akım değerinin 0.7 katı akım sınırı olarak alınabilir. Tam adım modunda her iki bobin arasında aktif akım değeri %70 oranında sınırlandırılır. Logic voltajı değiştirerek, V_{dd} , “ref” pimini ölçtüğümüz akım sınırına sınırlamalıyız.

Doğru akım değerinin mekanik imalata göre belirleyebilmenin bir diğer yolu: “ref” pimindeki aktif voltaj değerinin ölçülerek akım sınırının hesaplanmasıdır. Sürücü kartının arkasından “ref” pin voltaj değeri ölçülebilir. Akım sınırı aşağıdaki formüldeki gibi referans gerilim ile bağlantılıdır:

$$\text{Akım Sınırı} = V_{\text{ref}} \times 2.5 \quad (1)$$

Ayrıca eksenleri sınırlamak için Şekil 13’de gösterildiği gibi kontrol kartı ile uyumlu mekanik limit butonları kullanılmıştır. Yazıcıda üç adet limit butonu kullanılarak yazılım içerisinde eksenin ilerleyebileceği en büyük mesafe sınırlanabilir veya altı adet limit butonu kullanarak başlangıç ve bitiş sınırlarına göre butonlar konumlandırılabilir. Bu çalışmada, her eksen için bir adet olmak üzere toplam üç adet limit butonu kullanılmıştır.



Şekil 13. Mekanik limit butonu

4.2. Isıtıcı Zemin

Üç boyutlu yazıcılarda malzemenin eritilerek üzerine yazdırıldığı ısıtıcı bir zemin bulunmaktadır. Isıl işleme maruz kalmış termoplastik malzemesoğumaya başladığında çarpılmaya uğrar. Parçanın

yazdırıldığı zeminin ısıtılması yüksek yüzey kalitesinde ürünler elde edilmesini kolaylaştırır. Bir ısıtıcı zemin örneği Şekil 14'de gösterilmiştir. Kullanılan ısıtıcı zemin alanı ölçüleri 200 mm x 200 mm' dir.



Şekil 14. Isıtıcı Zemin

4.3. Ekstruder

Kaliteli ürün alabilmek için ekstruder sisteminde uygun sıcaklık koşullarının kontrol edilmesi gerekir. Ekstruder içerisinde hem ısıtma hemde soğutma yapıları bulunmaktadır. Ergitilecek malzemeye uygun sıcaklık PID değerleri yazılım içerisinde ayarlanır. Ergimenin dengeli olabilmesi için ayrıca soğutma fanı kullanılır. Belirli çaplarda rulo haline getirilmiş termoplastik malzeme (filament), motor ve dişliler vasıtasıyla ekstruder içindeki ısıtılmış hazneye itilir. Burada termoplastik malzeme erimeye başlar ve haznenin ucundaki çap ölçüsünde dışarıya itilir. Bu çalışmada, birbirinden farklı malzemeleri kullanma kolaylığı sağlaması için Şekil 15'de gösterildiği gibi iki ekstruder kullanılmıştır[7].



Şekil 15. Geetechikli ekstruder

4.4. Kontrol Kartının Yazılımı

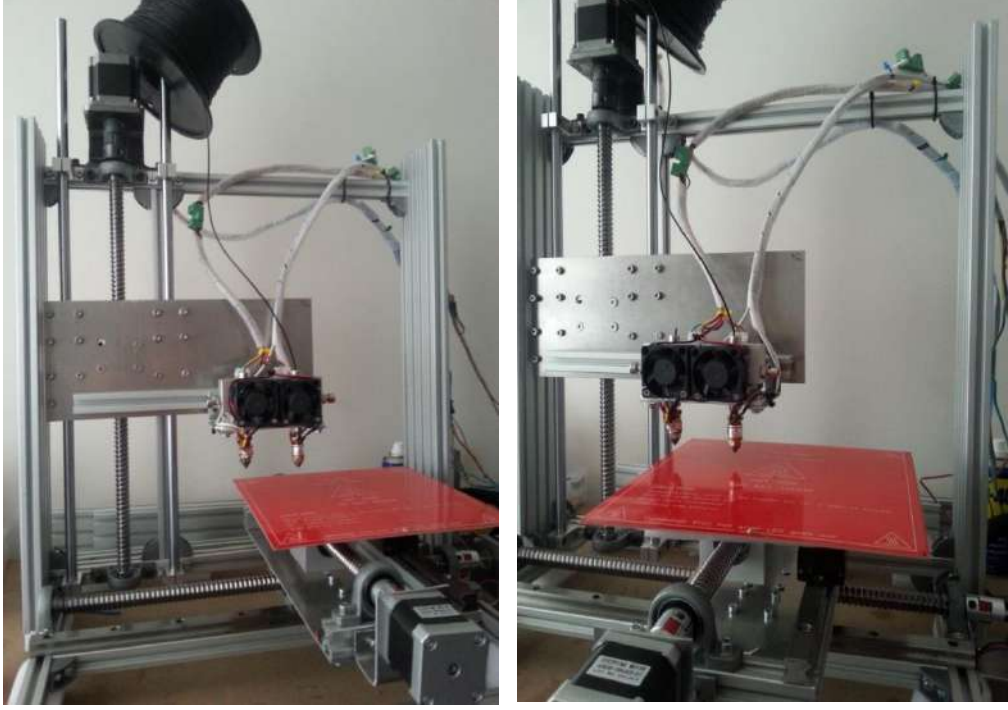
3D yazıcının kontrolü için, Arduino mikro kontrol kartının programlanması gerekmektedir. Arduino programıyla geliştirilen yazılım kontrol kartının içerisine yüklenir. 3D yazıcı uygulamaları için birçok açık kaynak yazılım mevcuttur. Bunlardan en popüler olanları Sprinter®, Marlin® ve Teacup®'dir. Bu projede Marlin® ve Sprinter® yazılımları ayrı ayrı denenmiş ve yazılımlar içerisinde mekanik tasarıma göre bazı değişiklikler yapılmıştır.

5. Test Çalışmaları

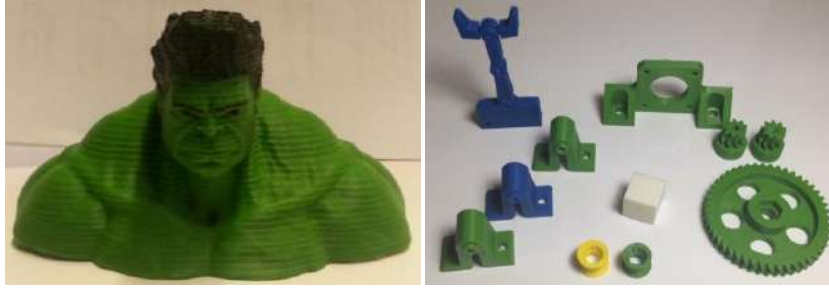
Son dönemlerde maliyeti uygun olduğu için yaygın olarak kullanılan iki farklı malzeme çeşidi vardır: akrilonitril butadien stiren (ABS) ve polilaktik asit (PLA). Üç boyutlu yazıcıların yaygın kullanımı, termoplastik malzemelerin geliştirilerek test edilmesinin, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin çok daha geniş bir yelpazede sunulmasının önünü açıcı uygulamaları geliştirilmiştir. Bu pazar, yeni malzeme çeşitliliğiyle her geçen gün hızla büyümektedir. Üç boyutlu yazıcılar için üretilmiş rulo iplik halindeki termoplastik malzemeler 1.75 mm ve 3.0 mm olmak üzere iki standart çapta üretilmektedir. Bu çalışmada 1.75mm çapında filament, 0.2 mm ve 0.4 mm nozul çaplarında da nozul uçları kullanılmıştır.

5.1. Örnek Üretimler

Bu çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen 3D yazıcının gerçek görüntüleri Şekil 16'da verilmiştir. PLA ve ABS malzemeleri kullanılarak yazıcıdan alınmış örnek ürünlerde Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir. PLA malzemesiyle 3D yazıcıda üretilmiş kalıp ürünler kullanılarak nihai ürünler elde edilmiştir. Bu örnek ürünler de Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Proje kapsamında üretilen 3D yazıcı



Şekil 17. PLA malzemesi kullanılarak 3D yazıcıda üretilmiş örnekler



Şekil 18. ABS malzemesi kullanılarak 3D yazıcıda üretilmiş örnekler



Şekil 19. PLA malzemesi kullanılarak 3D yazıcıda üretilmiş kalıp ürünler ve bu ürünlerden elde edilmiş nihai ürünler

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, üç boyutlu bir yazıcının mekanik ve elektronik tasarımı ele alınmıştır. Çoğu yazıcıda Z eksen hareketi için saplama, X-Y eksen hareketi için ise kayış kasnak tahrikli hareket tercih edilmektedir. Bu da yazdırılan ürün kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle genellikle Z eksen için iki adet adım motor kullanılmaktadır. Bu çalışmada, iyi yüzey kalitesinde ürünler elde edebilmek için doğrusal ray araba ile vidalı mil tahrik sistemi kullanılmıştır. Her bir eksen ve ikili ekstruder sistemi için toplam beş adet adım motor kullanılmıştır. Oluşturulan tasarıma göre üç boyutlu yazıcının imalatı gerçekleştirilmiş ve bu yazıcı kullanılarak, üç boyutlu örnek çıktılar başarılı bir şekilde üretilmiştir. Farklı yapısal özellikleri ve kullanılabilir malzeme çeşitliliği ile, 3D yazıcıların yakın gelecekte, hayatımızı daha da kolaylaştıracağı belgindir.

Referanslar

1. Bird, J., Exploring the 3D printing opportunity., The Financial Times. Retrieved July 01, 2014.
2. Cajal, C. ,Santolaria, J. , Velazquez, S. Aguado, S. and Albajes, J. , Volumetric Error Compensation Techniques for 3D Printers, The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2013 , Science Direct.
3. Stephens, B. , Azimi, P. , Orch, Z. and Ramos, T., Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers., Atmospheric Environment Vol. 79 p. 334-339 Science Direct.
4. Tymrak, B.M. , Kreiger, M. and Pearce, J.M., Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printes under realistic enviromental conditions, Materail&Design Vol. 58 P. 242-246, Science Direct.
5. Arduino Board Mega ADK (n.d.). Retrieved July 1, 2013, from <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK>.
6. A4988 Adimper Motor Driver Carrier (n.d.). Retrieved April 15, 2014 from www.pololu.com/product/1182.
7. MK8 Dual Extruder (n.d.). Retrieved July 11, 2013, from www.geeetech.com/mk8-dual-extruder-p-921.html.

Rep-Rap 3 BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK BİYO YAZICI UYGULAMASI

Batuhan Yıldırım^a, Berk Kemal Pank^b ve Egemen Keçeci^c, Onat Totuk^d, Ender Yıldırım^e

^aÇankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, bthn.y93@gmail.com
^bÇankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, berkkpank@gmail.com
^cÇankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, egemenkececi14@gmail.com
^dÇankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, onattotuk@cankaya.edu.tr
^eÇankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, endery@cankaya.edu.tr

Özet

3 boyutlu (3B) yazıcıların günümüzde yaygınlaşmasıyla beraber, kendi parçalarını üretmesiyle oluşturulan açık kaynaklı Rep-Rap yazıcılar kullanılarak, ucuz ve pratik bir şekilde üç boyutlu parçaların basılması mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada bir Rep-Rap 3B yazıcı, ekstrüderi modifiye edilerek biyolojik malzeme basabilen bir yazıcı haline getirilmiştir. Geliştirilen 3B biyo yazıcı, sıvı jelatin kullanılarak denenmiştir. Böylelikle düşük maliyetli, araştırma amaçlı biyo yazıcıların geliştirilmesine katkıda bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rep-Rap 3 boyutlu yazıcı, Biyo yazıcı, Jelatin

A BİOPRINTING APPLICATION BY USING A Rep-Rap 3D PRINTER

Abstract

As 3D printers become popular nowadays, cheap and practical printing of 3D parts become possible by using open source Rep-Rap printers, which are built by printing their own parts. In this study, a Rep-Rap 3D printer was converted into a printer that can print biological materials by modifying its extruder. Developed 3D bioprinter was tested by using liquid gelatin. Thus we contributed to development of low cost, research-purpose bioprinters.

Keywords: Rep-Rap 3D printer, Bioprinter, Gelatin

1. Giriş

Karmaşık parçaları oluşturabilme yeteneği, özel malzemeleri kullanabilme ve pratikliği gibi özellikleriyle eklemeli imalat teknolojisi, havacılıkta, biyomedikalde, sanatsal çalışmalarda, endüstriyel ve ticari amaçlı ürünlerde kullanılmaya başlanmıştır [1].

Eklemeli imalat teknolojisinin tıp ve biyoloji alanında kullanılmasıyla biyoyazıcı (bioprinter) terimi literatüre girmiş ve bugün geline son noktada birçok ülke [2] ve şirket [3], kalp ve böbrek gibi organları biyoyazıcı (bioprinting) ile üretmeyi hedeflemiştir.

Biyoyazıcı uygulamalarında, uygulamadan bağımsız olarak göz önünde bulundurulması gereken hususlar bulunmaktadır. Bunlar: basılabilirlik, biyouyumluluk, indirgenme özelliği, yapısal özellikler, mekanik özellikler ve biyomimikri olarak sıralanabilir [4]. Bu amaçla kullanılabilecek en yaygın biyomalzemeler hidrojellerdir ve hidrojeller, canlılar için uygun ortam yaratan yapı iskeletleri olarak kullanılırlar [5].

Biyo yazıcı uygulamalarında hücrelerin etkinlik göstereceği 'scaffold' diye tabir edilen hücre dışı matriksler oluşturulur. Matriks yapıları için tercih edilen yöntem, yaygın olarak hidrojel uygulamalarıdır. Hidrojellerin yaygın olarak tercih edilmesinin sebebi, su tutmaları ve gözenekli yapıda olmalarıdır. Hidrojellerin, su tutma özelliği ve gözenekli yapıları, hücrelerin etkinlik göstermesi için ideal ortamı yaratır [6].

Şırınga pompası kullanılarak yapılan biyo yazıcı uygulamalarında bugüne kadar jelatin, aljinat, kitosan, fibrinojen, matrijel, kollajen ve hiyalüronik asit hidrojel bileşikleri kullanılmıştır [7].

Bu çalışmada Prusa i3 tipi bir Rep-Rap yazıcı üzerindeki ekstrüder modifiye edilip, ekstrüder yerine bir şırınga pompası eklenerek bir biyo yazıcı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni biyo yazıcı, basit bir hidrojel olan sıvı jelatin kullanılarak test edilmiştir. Jelatin olarak ise sığır jelatini seçilmiştir.

Sığır jelatini kozmetik, tıp, eczacılık, gıda gibi birçok alanda kullanılan zararsız, doğal bir maddedir. Hayvan deri ve kemiklerinde bulunan kollajen proteininden elde edilir. Jelatinprotein, su ve

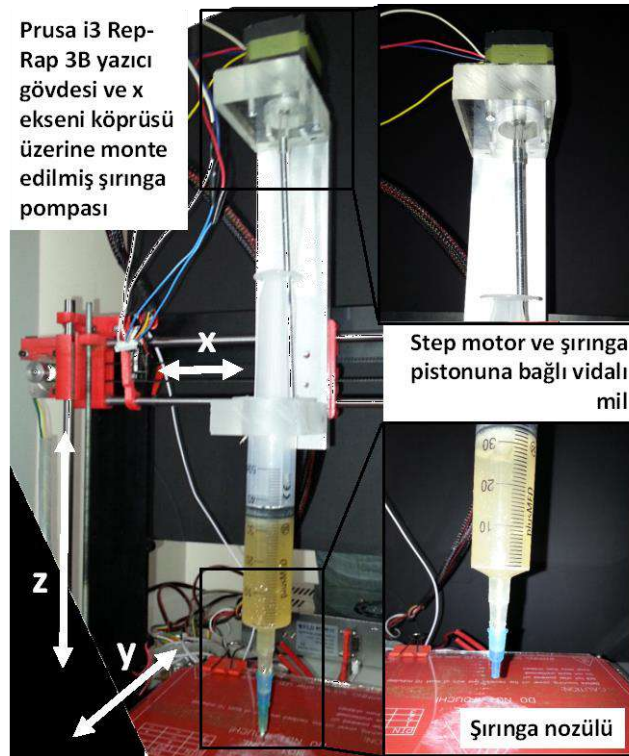
minerallerden oluşur. Genelde kıvam artırma, jelleştirme, emülsiyon oluşumu gibi özelliklerinden ötürü kullanılır. Ayrıca bu çalışmada sıgır jelatini kullanılması nedenlerinden biri de ucuz ve kolay erişilir olmasıdır.

2. Rep-Rap 3B Yazıcının Ekstrüderinin Şırınga Pompasına Dönüştürülmesi

2.1.Şırınga Pompası Tasarımı

Enjektörler, içerisine giren hammaddeyi, örnek olarak metal, seramik veya plastik gibi malzemeleri basınç veya sıcaklık yardımıyla dışarıya püskürtten haddelerdir. Kullanım amaçlarına göre tasarımlarında değişiklik gösterebilen enjektörler aynı zamanda bu püskürtme, yani diğer bir adıyla itme amacı için vida, dişli kutusu, motordan oluşabilmektedir. Prusa i3 tipi Rep-Rap 3B yazıcının enjektörü, bir ekstrüder olarak tasarlanmış olup, genellikle filament halinde temin edilen akrilonitril bütadien stiren (ABS) veya polilaktik asit (PLA) malzemelerin, ısıtılıp basınç uygulanarak, kılcal bir nozülünden iş tablasına basılması için kullanılmaktadır. Farklı ekstrüder tasarımları olmakla birlikte genel olarak, ekstrüder tasarımı içerisinde, filamenti nozüle ileten bir dişli kutusu ve dişli hareketini sağlayan bir step motor bulunmaktadır.

Mevcut ekstrüder yerine kullanılacak olan şırınga pompasının tasarımında, kullanıcının en az sayıda değişimle ekstrüderi çıkarıp şırınga pompasını takabilmesi ve şırınga pompasının açık kaynak Rep-Rap yazıcılarda yaygın kullanılan Repetier Host gibi arayüz yazılımları ile uyumlu olması ilkeleri göz önünde bulundurulmuştur. Buna uygun olarak, şırınga pompasında hareketi sağlamak için, mevcut ekstrüderin step motoru kullanılmış, içerisinde biyolojik malzeme bulunan şırınganın pistonunun hareketi için ise bir adet M5 vidalı mil kullanılmıştır. Vidalı milin şırınga pistonunu itmesi için ayrı bir itici eleman tasarlanmamış, bunun yerine şırınga pistonu üzerinde 5 mm çaplı bir kılavuz açılarak, vidalı milin bu kılavuz içerisinde hareket etmesi sağlanmıştır. Böylelikle, milin dönüş hareketi doğrudan şırınga pistonunun lineer hareketine dönüştürülebilmektedir. Şekil 1, biyo yazıcıyı ve bununla uyumlu olarak tasarlanan şırınga pompasını göstermektedir.

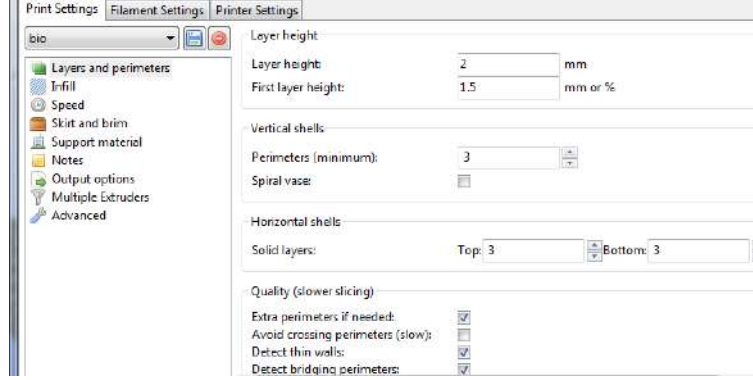


Şekil 1. Prusa i3 yazıcıdan dönüştürülmüş biyo yazıcı ve şırınga pompası.

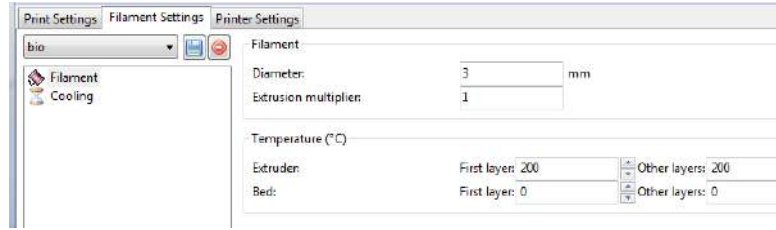
2.2.Şırınga Pompası ve Repetier Host Yazılımının Uyumu

Şırınga pompasının, Prusa i3 Rep-Rap 3B yazıcının kontrolü için kullanılan Repetier Host 1.6.0 yazılımı ile uyumlu olması hedeflenmiştir. Kullanıcının, Repetier Host 1.6.0 arayüzünde gerekli parametreleri girerek, şırınga pompasını, yazıcının orijinalindeki ekstrüder gibi kullanabilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Repetier Host 1.6.0 arayüzünde belirtilen uygun program girdileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre, şırınga nozülünün çapı ile uyumlu olarak ilk katman yüksekliği 1.5 mm ve katman yüksekliği 2 mm olarak seçilmiştir.

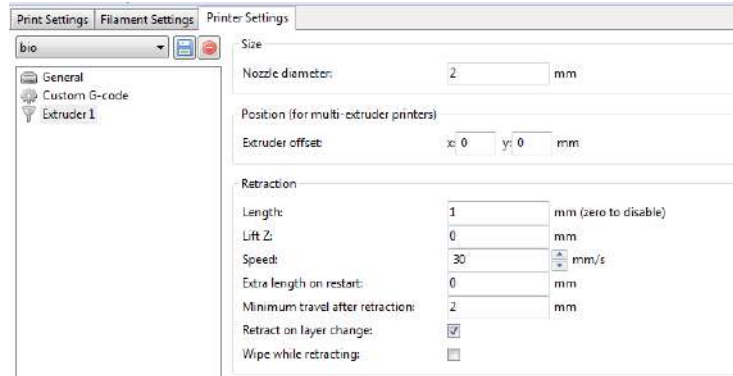
Prusa i3 Rep-Rap 3D yazıcıda ekstrüder nozülü belirli bir sıcaklığa gelmeden, ekstrüzyon işlemi başlatılamamaktadır. Bu nedenle, şırınga pompasının çalışabilmesi için orijinal ekstrüder, sadece mekanik olarak demonte edilmiş, elektrik bağlantıları korunmuş ve ekstrüder nozülünün güvenli başka bir alanda ısınmasına izin verilmiştir. Şekil 3'te gösterilen ekstrüder sıcaklığı (Extruder Temperature) ayarları yazıcının kodunun değişimiyle kullanıcının uğraşması yerine, direkt olarak yazıcının manipülasyonu için girdi olarak verilmiştir. Basım işlemi sırasında, kullanılan biyo malzemenin kürlenebilmesi için, basım yapılırken tabla ısıtıcısı kapatılmıştır. Enjektör çapı ve hız ise Şekil 4'te gösterildiği gibi Repetier Host 1.6.0 arayüzünde belirtilmiştir. Tüm yazılım girdileri Çizelge 1'de tekrar belirtilmiştir.



Şekil 2. İlk katman yüksekliği ve katman yüksekliği değerlerinin Repetier Host 1.6.0 arayüzünde belirtilmesi.



Şekil 3. Enjektör sayısı ve ekstrüder sıcaklığı değerlerinin Repetier Host 1.6.0 arayüzünde belirtilmesi



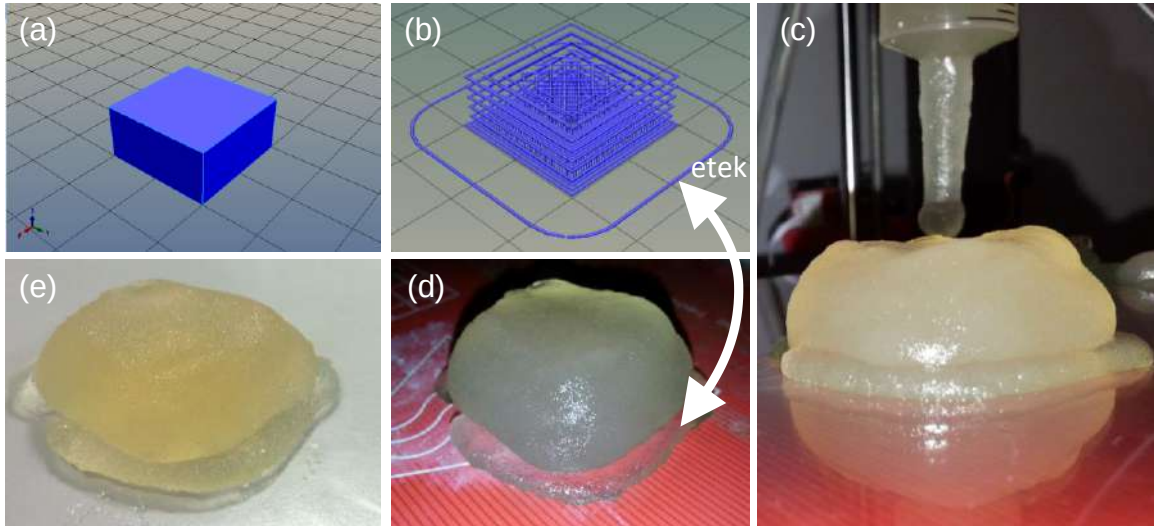
Şekil 4. Enjektör çapı ve hız bilgilerinin Repetier Host 1.6.0 arayüzünde belirtilmesi.

Çizelge2. Repetier Host 1.6.0 yazılımında, şırınga pompasının çalıştırılması için belirtilen girdi değerleri

Girdi Değerleri	Boyut
İlk katman yüksekliği	1.5 mm
Katman yüksekliği	2 mm
Filament Çapı	3 mm
Şırınga pompa sayısı	1 adet
Şırınga pompa çapı	2 mm

3. Biyo Yazıcı Uygulaması

Basım yapılabilir bir hidrojel oluşturmak için, öncelikle hangi hidrojin kullanılacağına karar vermek gerekir. Hidrojeller, polimerlerin bağlanması ve su tutması ile yapılır. Polimerlerin birleştirilmesi, kimyasal bağlarla, iyonik bağlarla ve fiziksel bağ ve ilişkiler yoluyla yapılabilir. Bu süreçte doğal ve yapay olmak üzere polimer çeşitleri vardır [8]. Bu çalışmada diğer polimerlere kıyasla daha kolay temin edilebilen jelatin kullanılmıştır. Çalışmada 20x20x10 ölçülerinde kare prizma, biyo yazıcı ile 0.16 ml/s hızla basılmıştır. Şekil 5'te, çalışmada basılan parça gösterilmiştir. Basım esnasında kullanılan hidrojel, sıvı jelatinden oluşmaktadır. Toz jelatin-su, karışım oranı 1:8 olacak şekilde hazırlanmıştır. Vorteks karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilmiştir. Basımdan sonra çıkan parça 0 °C'de kürlenmiştir.

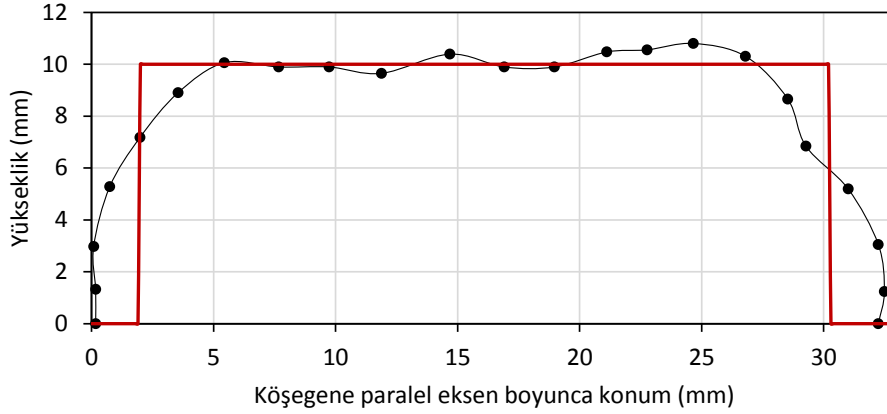


Şekil 5. (a) 20 mm x20 mm x10 mm ölçülerinde tasarlanan kare prizma, (b) katmanlara ayrılan kare prizma, (c) basım yapılırkenki görünüş, (d) basım bittikten sonraki görünüş, (e) 0 °C'de kürlenmiş parça

4. Sonuçlar

Basım işlemi sonucunda, parçanın köşegene paralel eksen boyunca yükseklik profili, ImageJ görüntü işleme yazılımı kullanılarak çıkarılmıştır. Şekil 6, yükseklik profilini tasarım ölçüleriyle kıyaslamaktadır. Buna göre, basım sırasında üstteki katmanlarda yer alan malzemelerin, alt katmanlara doğru aktığı görülmüştür. Bu nedenle, parça tabanının olması gerekenden daha geniş, parça tavanının ise olması gerekenden daha dar olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan bu akış nedeniyle, parça köşelerinin yuvarlandığı görülmektedir. Bu problemin giderilebilmesi için, basılan katmanın bir sonraki katman

basılmadan önce kürlenmesi gerekmektedir. Bunun, tabla ve baskı ortamı sıcaklığının kontrolü ile mümkün olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 6: Baskı sonrasında örnek parçanın yükseklik profilinin tasarım ölçüleri ile kıyaslanması. Tasarım ölçüleri kırmızı çizgi ile ifade edilmiştir. Ölçüm, parçanın köşegenine paralel eksen boyunca yapılmıştır.

5. Tartışma ve Öneriler

Çalışmada Prusa i3 Rep-Rap 3B yazıcıyı, biyo yazıcı olarak kullanabilmek amaçlanmıştır. Biyo yazıcı için kullanıma uygun Prusa i3 Rep-Rap 3B yazıcının enjektörü yerine, özel bir şırınga pompası tasarlanıp, gerekli kıvamda jelatin ile kare prizma geometrisi oluşturulmuştur. Bu kare prizma geometrisinin hazırlanmasında gerekli olan jelatin, en kısa sürede kare prizma geometrisi kürlenecek şekilde hazırlanmıştır.

50 ml hacimden daha küçük ve daha hassas parçaların üretilebilmesi için, daha düşük hacimli ve daha ince nozüllü şırıngalar kullanılabilir. Ancak bu durumda, jelin viskozitesi nedeniyle, nozül çıkışında göreceli olarak daha büyük geri basınçlar yaratabilir. Bu da, şırınga pompasının çalışmasını olumsuz etkileyebilir. Bu durumda, jelin daha da sıvılaştırılması gerekebilir. Bu durumda ise, jelin akıcılığı artacağı için katman oluşturmak güçleşebilir. Bu problemin çözümü için, yazıcı tablasının sıcaklığı düşürülüp, jelin, tablaya temasından kısa bir süre sonra kürlenmesi sağlanabilir. Ekibimiz şu anda basım hassasiyetinin artırılabilmesi için, tabla sıcaklığı ve jel akıcılığının optimize edilmesi üzerine çalışmaktadır.

Referanslar

1. Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012.
2. Mironov, V., Reis, N., & Derby, B. (2006). Bioprinting: A beginning. *Tissue engineering*, 12(4), 631-634.
3. Ozbolat, I. T., & Yu, Y. (2013). Bioprinting toward organ fabrication: Challenges and future trends. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60 (3), 691-699.
4. Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature biotechnology*, 32(8), 773-785.
5. Ullah, F., Othman, M. B. H., Javed, F., Ahmad, Z., & Akil, H. M. (2015). Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering C*, 57, 414-433.
6. Stanton, M., Samitier, J. and Sánchez, S. (2015). Bioprinting of 3D hydrogels. *Lab Chip*, 15(15), pp.3111-3115.
7. Starly, B. and Shirwaiker, R. (2015). 3D Bioprinting Techniques. *3D Bioprinting and Nanotechnology in Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, pp.57-77.
8. Brandt, K., Goldman, S., & Inglin, T. (1988). Hydrogel-forming polymer compositions for use in absorbent structures. USA.

STEREOTAKTİK SİSTEM TASARIMI VE İMALATI

Cem SİNANOĞLU^a, Esra AKGÜL^b, Selahattin Orhan AKANSU^c, Bülent TUCER^d, Kadir PEKER^e

a, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE, csinanoglu@erciyes.edu.tr

b, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE, akgul@erciyes.edu.tr
c, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE, akansu@erciyes.edu.tr

d, Acıbadem Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Kayseri/TÜRKİYE, tucerb@erciyes.edu.tr

e, Melikşah Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE, kpeker@meliksah.edu.tr

Özet

Beyin operasyonları çok büyük riskler taşımaktadır. Ameliyat esnasında, stereotaktik sistem, minimum hata ile hastanın kafatası içerisindeki hedefin doğru bir şekilde tespit edilip, daha güvenli bir cerrahi girişimi sağlamaktadır. Beyin cerrahi alanında uzmanlığını yapan kişilerin operasyonel başarısı, çerçevenin boyutsal hassasiyeti ile birlikte tecrübelerine de bağlıdır. Ancak, Beyin ve Sinir Cerrahisi ABD’de uzmanlığını yapan öğrencilerin doğrudan hastalara yönelik olarak kullanılan stereotaktik sistemlerini kullanabilme imkanları yoktur. Bunun en önemli nedeni bu sistemlerin sürekli kullanımda boyutsal hassasiyetlerini kaybedebilme olasılığı ve yüksek maliyetli olmalarıdır. Eğitim amacı ile geliştirilip tasarlanmış ve 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretilmiş stereotaktik çerçeve sistemleri sayesinde, intörn hekimlere pratik yapabilecekleri ve operasyon başarısının artması için ameliyat sırasında izlenecek yolların tahminlenmesine yardımcı olacağı öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Stereotaktik, 3B Yazıcı, Eğitim seti.

STEREOTACTIC SYSTEM DESIGN AND MANUFACTURING

Abstract

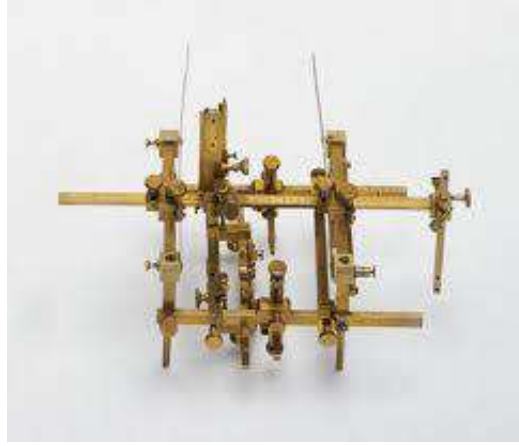
Brain operations have enormous risks. During operation, stereotactic system provides accurate detection of the target in the patient's skull with a minimal error and a safer surgical intervention. Operational success of the people who specialized in the field of neuro surgery, also depends on the experience with the dimensional accuracy of the frame. However, the students who have expertise in the Neuro surgery Department, are no facilities to use in stereotactic systems which are used for direct patient. The most important reason for it, the possibility of losing their dimensional accuracy in continuous use and their high cost. Thanks to stereotactic frame systems which are designed and developed for the educational goals and produced by 3D printer technology, it is envisaged that they will help to increase the success of operation and to practice the estimation of followed way during operation for medical students.

Keywords: Stereotactic, 3D Printer, E” ducation set

1. Giriş

Yunancada üç boyutlu anlamına gelen stereo ile dokunma anlamına gelen tactic kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşan stereotaktik, kartezyen koordinat sisteminin kullanılmasına olanak sağlayan sistemler ile beyindeki bir noktanın yerinin çok düşük hata payları ile saptanıp bu noktaya ulaşılmasıdır. Stereotaktik cerrahi, intrakranial yapıların uzaysal yerleşimini belirleyip, cerrahi aletlere rehberlik etme prensibine dayanır. Günümüzde teknolojik gelişmelerle birçok stereotaktik yöntem ve alet geliştirilmiştir.

Stereotaktik metot ilk olarak 1908 yılında iki İngiliz bilim adamı tarafından geliştirildi. Kendi isimlerini verdikleri Horsley ve Clarke geliştirdikleri cihazı hayvansal deneyler için kullandılar ve bu sistemi kartezyen koordinatlarda gerçekleştirdiler. Orjinal geliştirilmiş tasarımı 1930’lu yıllarda hayvan deney laboratuvarlarında kullanılmaya başlandı [1]. Şekil 1. Horsley-Clarke Cihazını göstermektedir [2].



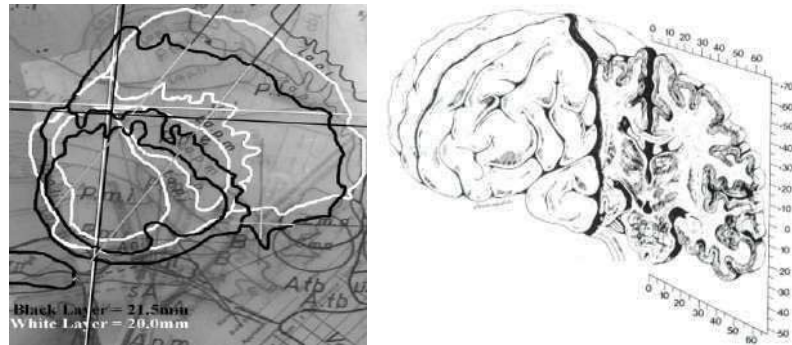
Şekil 1. Horsley-Clarke Cihazı [2]

1947-1949 yılları arasında Amerikalı ve İsveçli nöroşirurji bilim adamları insanlarda beyin cerrahisinde kullanılan ilk stereotaktik cihazı geliştirdiler. 1948 yılında Spiegel-Wycis intrakranial yapıları kullandı. Şekil 2. Spiegel-Wycis tarafından geliştirilen stereotaktik çerçeveyi göstermektedir [2,3].



Şekil 2. Spiegel-Wycis Cihazı [2]

Spiegel WycisPosteriorKomissüre paralel geçen beyin kesintilerinin fotoğraflarının milimetrik referans ölçümleri ile atlas oluşturdular (Şekil 3).

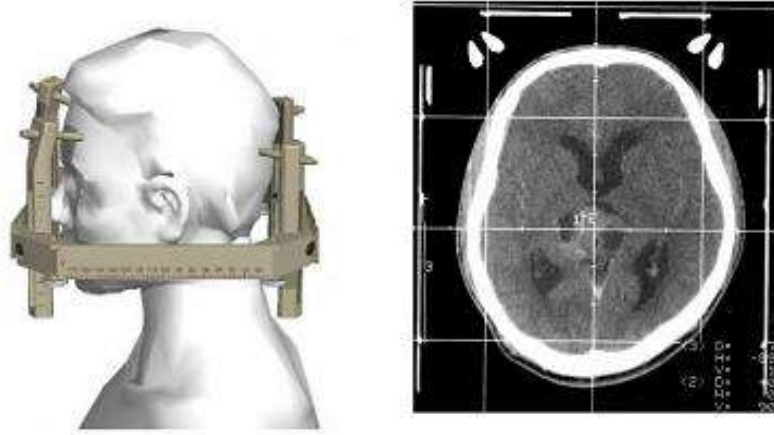


Şekil 3. Spiegel Wycis'inStereotaktik Atlası [2]

Stereotaktik tekniğin 1947'de klinik nöroşirurjinin uygulama sahasına girmesi ve 1970'li yıllarda bilgisayarlı tomografi (BT)'nin yaygın kullanımı ile birlikte intrakranial lezyonlara yönelik cerrahi girişimler serbest yöntemlerden, BT rehberliğinde stereotaktik yöntemlere doğru yönelmiştir. Bilgisayar yazılımlarının stereotaktik sistemlere entegre edilmesi ile işlemin hassasiyeti ve tanısal değeri de artmıştır [3, 4, 5,6].

1990 lı yılların ikinci yarısından sonra stereotaktik cerrahi girişimler modern nöroşirürjinin vazgeçilmez bir yöntemi haline gelmiştir. Güncel stereotaktik sistemlere, Leksell, Todd-Wells, Riechert-Mundinger, Brown-Robberts-Wells örnek olarak verilebilir [6].

Stereotaktik cerrahi, intrakranial vakalarda hastanın başını sabitleyici ve tedavi planının uygulanmasında koordinatların tam olarak tespitine yardımcı olan frame (çerçeve) takılarak yapılmasıdır (Şekil 4).



Şekil 4. a)StereotaktikÇerçve b) Stereotaktik çerçevenin BT'den görüntüsü

Günümüzde, stereotaktik cerrahinin, Morfolojik, Ablatif ve Modüler olarak uygulama alanları mevcuttur [6,7,8].

a. Morfolojik Stereotaktik Cerrahi [6,7,8]

- Biyopsi
- Kist veya apse aspirasyonu
- Sitotoksik ajan uygulamalar
- Brakiterapi
- Ventriküler sistem yaklaşımları
- Hidrosefali tedavisi
- Yabancı cisim çıkarılması
- Stereotaktikkraniotomi
- Lineer akseleratör veya gamma knife'da iyonize radyasyonu yönlendirmek
- Anevrizma kliplenmesi
- Manyetik probe ve karbonil demir kürecikleri ile anevrizma trombozisi

b. Fonksiyonel Stereotaktik Cerrahi: Ablatif İşlemler[6,7,8]

- Hareket bozukluklarının tedavisi
- Kontrol edilemeyen ağrının tedavisi
- Epilepsi tedavisi
- Psikiyatrik hastalıkların tedavisi

c. Fonksiyonel Stereotaktik Cerrahi: Modulatuar İşlemler[6,7,8,]

- Morfin infüzyonu gibi kimyasal modülasyon
- Hücre transplantasyonları
- Kronik stimülasyon teknikleri

Stereotaktik yöntem sayesinde;

- Seri örneklemelerle kesin doku tanısı için yeterli materyal alınabilmekte,
- Intrakraniyalneoplastik doku sınırları belirlenebilmekte,
- Hastalığın prognozu konusunda fikir sağlanabilmekte,

Nonneoplastik lezyonlarda malignitenin ekarte edilerek gereksiz radyasyon veya cerrahi girişim önlenabilmekte (multipl skleroz plakları, nörobehcet, radyonekroz, sarkoidoz, tüberküloz, stereotaktik biyopsi için özel bir alan oluşturmaktadır) ve kemoterapi ya da radyoterapi gerektiren hastalıklarda da (lenfoma, germinoma) tanısal açıdan gerekli bir sistemdir.

Stereotaktik cihazının avantajları[1]

- Cerrahi için endikasyonların ve kontrendikasyonların tasarlanması ve cerrahi stratejisinin planlanması

- Enfeksiyon veya multipleskleroz'da olduğu gibi özellikli medikal tedavinin hazırlanması
- Kemoterapi veya radyoterapi gibi ek tedaviler için girişimlerin başlatılması
- Nonneoplastik lezyonları bulunan hastalar için gereksiz radyasyon veya cerrahi girişimin önlenmesi ve malignitenin ekarte edilmesi ile psikolojik yarar sağlanması
- Hastaya hiçbir tedavi seçeneğinin gözden kaçmadığı güvenini telkin edebilme ve özel tedavi modalitelerinin mümkün olmadığı vakalarda prognozu belirleyebilme
- Genetik danışmanlık girişiminin başlatılması ve iletilme olasılığından korunma,
- Diğer navigasyon sistemlerine göre daha az karışık olması
- Kullanımı kolay ve ucuz olması
- Minimal invaziv cerrahiye olanak sağlaması
- Hastanın hastanede kalış süresini azaltması



Şekil 5. LarsLeksell'in ark-kadran prensibine dayanan stereotaksi cihazı

Günümüzde kullanılan stereotaktik çerçeve ve yazılım sistemi hem pahalı hem de sadece ameliyat sırasında hasta üzerinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada, amaca uygun olarak ulusal ve uluslararası alanda rekabet edebilir kullanımı kolay eğitim sistemi geliştirmek için titanyum alaşımına alternatif olarak polimer esaslı malzemeler kullanılarak imal edilmiştir. Buradaki temel sebep geliştirilecek sistemin birim maliyetinin düşürülmesidir. Ayrıca, beyin cerrahı adaylarına ameliyat öncesi daha fazla pratik yapabilmesi sağlayacak eğitim modülleri oluşturulmuş olacaktır.

2. Stereotaktik Çerçeve Sisteminin Geliştirilmesi

3 boyutlu yazıcılar sağlık sektörünün vazgeçilmezi haline gelmeye başlamıştır. 3 boyutlu modeller sadece tıbbi eğitim için değil, aynı zamanda tanı tedavi ve cerrahi işlemde cerrahlara rehberlik içinde kullanılmaktadır. Bazı prosedürleryalnızca bir cerrah adayı için değil uzman bir cerrah için bile için tamamen yeni olabilir. Çok zor olan beyin cerrahi operasyonları için 3 boyutlu model olarak geliştirilen eğitim setleri o ameliyata ilişkin sürecin planlanmasında izlenecek yolların belirlenmesinde ve pratik yapılarak olası risklerin en aza indirilmesine yardımcı olur.

Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir cerrahi bölümünde halihazırda insanlar üzerinde kullanılmakta olan tek bir Stereotaktik Çerçeve ve yazılım ünitesi mevcuttur. Bu stereotaktik çerçeve mekanik aksamı insan sağlığına zarar vermeyen Ti alaşımından üretilmiştir. Ti alaşımından üretilmiş olması ayrıca mekanik sistemin hafifliği dolayısıyla kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca sistem yeterli mukavemete ve boyutsal hassasiyete sahiptir.



Şekil 6. Erciyes Üniversitesi'nde mevcut olan stereotaktik cihaz parçaları

Stereotaktik sistem için geliştirilecek yazılım sistemi ile MRI ve BT görüntülerinden elde edilen veriler eşliğinde lezyonların bulunduğu bölgenin geometrik koordinatları belirlenecek ve bununla ilgili verilerin stereotaktik çerçevede uygulanabilecek şekilde çıktısı alınacaktır. Ayrıca belirlenen hedefin boyutları ve hacimsel ölçümleriyle ilgili veri sağlanacaktır. Ön taslak çalışma ile geliştirilen mekanik çerçeve sistemi ve yazılım arayüzüne ilişkin resimler Şekil 7 ve 8'de görülmektedir. Ön taslak çalışma kapsamında geliştirilen yazılım, 3D Slicer programına ilave bir makro yazılarak geliştirilmiştir.

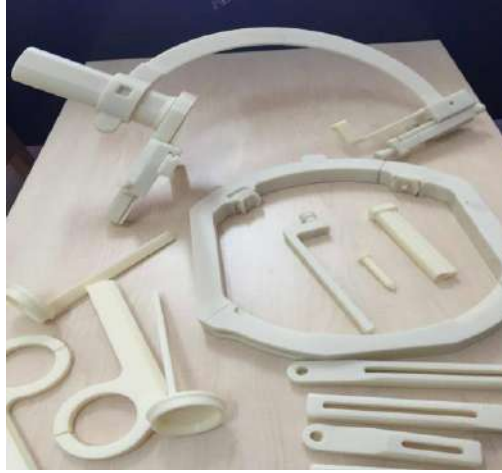


Şekil 7. Ön taslak yazılım arayüz görüntüsü



Şekil 8. Taslak olarak geliştirilmiş mekanik çerçeve render görüntüsü

Erciyes Üniversitesi Beyin ve Sinir cerrahi bölümündeki Stereotaktik çerçeve mekanik sistemi referans alınarak yeni bir sistem ön tasarımı ve 3 boyutlu yazıcı ile imalatı yapılmıştır. FDM teknolojisi kullanılarak üretilen, eğitim amaçlı stereotaktik çerçeve setinin parçaları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Üç boyutlu yazıcı ile imalatı yapılmış stereotaktik çerçeve parçaları

3. Sonuç

Modern tıp eğitiminde öğrencilerinin klinik yetkinliklerini geliştirmede önemli unsurlardan biri uygulamaların zenginliğine dayanmaktadır. Uygulamaların artırılması için, kaynakların ulaşılabilirliği maddi açıdan önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ancak, son yıllarda modern teknolojinin sunduğu 3 boyutlu yazıcılar, uygulama ve eğitim alanında kaynakların geliştirilmesinde çözüm sağlamaktadır.

Dünyada ve ülkemizde stereotaktik sistemin eğitim seti olarak kullanılması mevcut değildir. Uzmanlığını yapan öğrenciler operasyonları veya operasyonlara ait videoları izlemek suretiyle gözlemleyerek bu sistemin kullanımını öğrenmektedir. Geliştirilmiş bu sistem ile günümüzde beyin cerrahide uzmanlığını yapan öğrencilerin bu alandaki eğitimlerinde önemli bir eksiklik giderilecektir. Eğitim seti öğrencilerin vaka çalışmalarına yönelik farklı alternatif senaryoları da içerecektir. Ayrıca, öğrencilerin farklı durumlar ile karşılaşmaları halinde operasyon öncesi planlama kabiliyetleri ve operasyon kabiliyetlerinin gelişmesine katkıda bulunacaktır.

Aynı zamanda, stereotaktik sistem eğitim setinin, 3 boyutlu yazıcılar sayesinde ticari hale getirilmesi durumunda, teknolojik yönü olan katma değeri yüksek bir ürün kazanılmış olacaktır.

Referanslar

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Stereotactic_surgery
2. Leksell L. A stereotaxic apparatus for intracerebral surgery. Acta Chir Scand. 1949;99:229-233.
3. Tekin S, Yılmaz K, İnancır İ, Peker S: Stereotaktik cerrahi girişimlerde hemşirenin rolü. 6. Nöroşirürji Hemşireliği Kongresi, Antalya, 2010.
4. Barlas O., Kulaksızoğlu I., Gürvit H., Göker B., Berkol T., Solmaz B., Batmaz S., "Surgical Treatment in Intractable Obsessive-Compulsive Disorder: Anterior Capsulotomy". Sinir Sistemi Cerrahisi Dergisi, 2008; 1(2): 86-92.
5. Çalışaneller T., Özdemir Ö., Özger Ö., Özen Ö., Kıyıcı H., Caner H., Altınörs N., "Diagnostic Yield of CT Guided Stereotactic Biopsy in Brain Lesions", Turkish Neurosurgery 2008, Vol: 18, No: 1, 17-22.
6. Bakırcı A., "Stereotaktik Biyopsinin İntrakranyal Lezyonlarda Kesin Tanı ve Tedavi Yöntemi Üzerindeki Rolü", Uzmanlık Tezi, Haydarpaşa Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi Nöroşirürji Kliniği, 2005, İstanbul.
7. Kelly P.J. Stereotactic surgery: what is past is prologue. Neurosurgery. 46 (1):16-27, 2000.
8. Tasker R.R. Stereotactic surgery: principles and techniques. Wilkins R.H., Rengachary S.S. (ed). Neurosurgery, 2nd ed. McGraw-Hill; 1996:4069-89.

ERGONOMİK KABZA TASARIMI VE UYGULAMASI

Esra AKGÜL^a, Emel KIZILKAYA AYDOĞAN^b, Diyar AKAY^c, Cem SİNANOĞLU^d

a, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE, akgul@erciyes.edu.tr

b, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE, ekaydogan@erciyes.edu.tr

c, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, diyar@gazi.edu.tr

d, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE, csinanoğlu@erciyes.edu.tr

Özet

Ergonomik bir ürün tasarımı yapılırken öncelikle dikkate alınması gereken konulardan biri, ürünü kullanacak olan toplumun antropometrik yapısının bilinmesidir. Atıcılık sporu çalışmalarında önem taşıyan el antropometrik ölçüleri belirlenmiş ve Türk insanından elde edilen antropometrik veriler ile havalı silahlar için ergonomik kabza tasarlanmıştır. Ayrıca, elde edilen veriler doğrultusunda, tasarlanan ergonomik kabzanın 3D yazıcı kullanılarak prototipi üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, Antropometri, Atıcılık, 3B Yazıcı

ERGONOMIC GRIP DESIGN AND APPLICATION

Abstract

One of issues which have to be considered firstly is to be known anthropometric characteristics of people who will use the product while designing ergonomic products. Hand anthropometric measurements which are important in shooting sport studies were determined and ergonomics grip for air guns was designed with anthropometric data obtained from Turkish people. Furthermore, in accordance with the data obtained, prototype of designed ergonomic grip was produced using the 3D printer.

Keywords: Ergonomics, Anthropometric, Shooting, 3D printer.

1. Giriş

Tasarımda ergonomik yaklaşım, kullanıcı merkezli tasarımın ilkesi olarak özetlenebilir: "Bir nesne, bir sistem veya bir çevre, insan kullanımı üzere tasarlanmışsa, bu tasarım kullanıcılarının fiziksel ve zihinsel özelliklerine dayalı olmalıdır" [1-2]. Ergonomik bir ürün tasarımı yapılırken öncelikle dikkate alınması gereken konulardan biri, ürünü kullanacak olan toplumun antropometrik yapısının bilinmesidir. Antropometri, rahat ve etkili kullanıma yönelik ürünlerin en uygun boyutunu belirlemek için vücut ölçülerinin kullanılmasıdır.

Günümüzde mimarlar, tasarımcılar, iç mimarlar, işbilmciler, ergonomistler, endüstri mühendisleri, üreticiler, vb. uygulamalarında antropometrik verilere gereksinim duymaktadırlar. Çünkü verimli ve sağlıklı olabilmenin koşullarından biri de, insanın yaşadığı her mekânın ve kullandığı her aygıtın, aletin onun boyutsal ölçülerine ve biyomekanik özelliklerine uygun olmasıdır [3].

Antropometrik veriler insan mühendisliğinde, diğer adıyla ergonomide, başta iş alanları olmak üzere tüm araç gereç, mobilya ve giysilerin fiziksel ölçülerini belirlemede kullanılır. Böylece alet veya ürünün ölçüleri ile onu kullanan insanın ölçüleri birbirine uyumlu hale getirilerek "görev insana uygun hale getirilir" [4]. Topluma özgü antropometrik değerlerin bilinmesi ise sağlık, ergonomi, spor, mühendislik, mimarlık ve endüstriyel tasarım gibi alanlarda hedef kitleye yönelik her türlü çalışma ve tasarımda maksimum fayda sağlamaktadır.

2. Atıcılık

Uluslararası Atıcılık Spor Federasyonu'na (ISSF) göre atıcılık; farklı yarışma dallarındaki (tabanca, tüfek, ok) sporcuların, puanlarına göre sıralanan hedeflere silahlarını ateşlediği bir "spor" dur. [8].

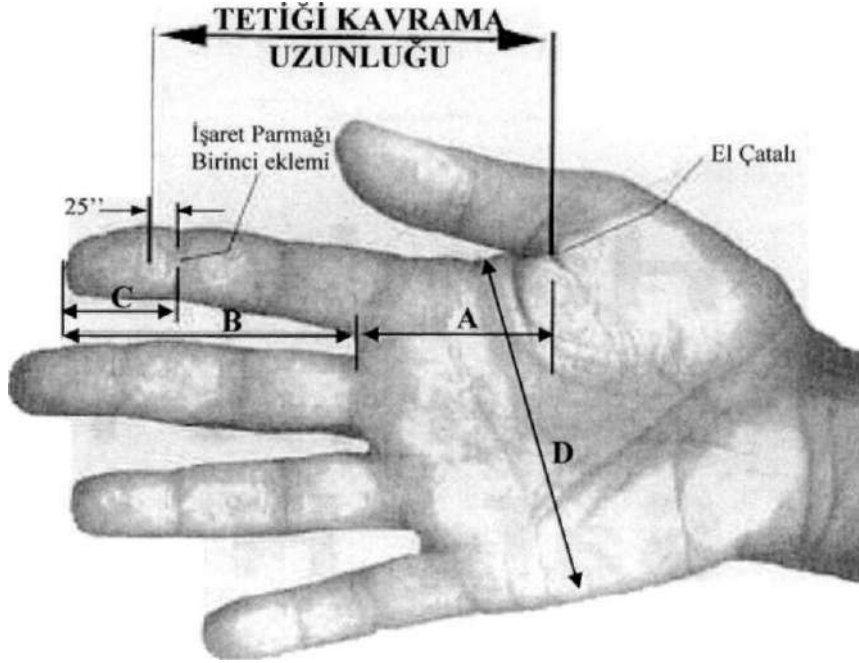
2.1. Atıcılık performansını etkileyen önemli faktörler

Güvenli ve hassas bir atış yapabilmek, doğru silah seçiminden geçmektedir. Silah seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar arasında da ağırlık dağılımı, mekanizmanın basit kurulabilirliği, ayarlanabilir gez ekipmanları ve silah kabzasının el ile uyumu gibi konular yer almaktadır. Bu konuda geçmiş yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında en çok dikkat çeken isim Atkins'tir. Atkins çalışmalarında beş konuyla

ilişkili olarak ergonominin önemini incelemiştir. Bu konular silah seçim metotları, üst vücut kuvveti, geri tepme enerjisi, kalibre eksen ve el boyutudur [5]. Ele alınan tüm bu konular önemli olmasına rağmen, Atkins özellikle bir konu üzerinde daha fazla inceleme yapmıştır: bu konu da bireysel tercih ya da çabayla değiştirilemeyen "el boyutu"dur [6].

Atkins el boyutu konusunu iki ölçü tanımlayarak değerlendirmiştir. Belirlediği bu iki ölçüden biri silah üzerinde ölçülen "tetige uzanma mesafesi", diğeri ise kullanıcı elinde ölçülen "kabza kavramauzunluğu"dur. Atkins yaptığı çalışmalar sonucunda kadın ve erkeklerin kabza kavrama uzunluklarının birbirinden çok farklı olduğunu ve silah modellerindeki tetige uzanma mesafelerinin de önemli ölçüde değişiklik gösterdiğini saptamıştır. Bu iki ölçünün uyuşmamasına bağlı olarak da, bir kullanıcının ergonomik açıdan eline uygun silah seçmesinde tetige uzanma mesafesi ile kabza kavrama uzunluğunun yetersiz olduğunu belirtmiştir [6].

Güvenli bir silah kullanımı için, silah ele yerleştirildiğinde el çatalı kabzanın sırt ortasına tam olarak yerleşmeli, işaret parmağı tetigin etrafını sardığında merkezden uzak parmak kemiği tetigin orta çizgisine dayanmalı ve işaret parmağının birinci ve ikinci eklemleri bükülmelidir. Bu bükülme işaret parmağının geçerli uzunluğunu düşürmekte ve bitişik et kıvrılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla kıvrılma ve bükülme yüzünden el çatalı ile işaret parmağının ilk eklemi arasında ek bir uzaklık oluşmaktadır. Bu uzaklık ortalama olarak 0,25 inç (6,4 mm) olmakla birlikte, bu değer katılarak hesaplanan el çatalı ile işaret parmağının ilk eklemi arasındaki mesafe "tetige kavrama uzunluğu" olarak ifade edilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi tetige kavrama uzunluğu, el çatalı uzunluğu (A) ile işaret parmağı uzunluğu (B) toplamından işaret parmağının merkezden uzak parmak kemiği uzunluğunun (C) çıkarılarak 0,25 inçlik değerin eklenmesiyle hesaplanır [6].



Şekil 1. Tabanca tutacak bir el için tanımlanan el ölçüleri [7].

İyi bir atış performansı için kabzanın her bakımdan elimize göre ayarlanmış olması gerekmektedir. Kabzayı ayarlarken dikkat edilmesi gereken hususları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kabza alt tablası elin alt yüzeyine her taraftan temas etmeli, ön tarafta veya arka tarafta boşluk kalmamalıdır.
- Kabza eli fazla sıkı olmamalı fakat gevşekte olmamalıdır.
- Kabza avuç içi bölgesine her noktadan temas etmelidir. Şekil 2'de iyi kavranmış bir kabzanın el içerisinde temas etmesi gereken noktalar gösterilmiştir.



Şekil 2.Kabza Kavrama Noktaları [11].

- Baş ve işaret parmaklarının arasında kalan bölge ile kabza arasında bir boşluk kalmamalı bu bölge de kabzaya belirli bir baskı ile temas etmelidir[9].

3. Bayanlar İçin Örnek Ergonomik Havalı Tabanca Kabzası Tasarımı

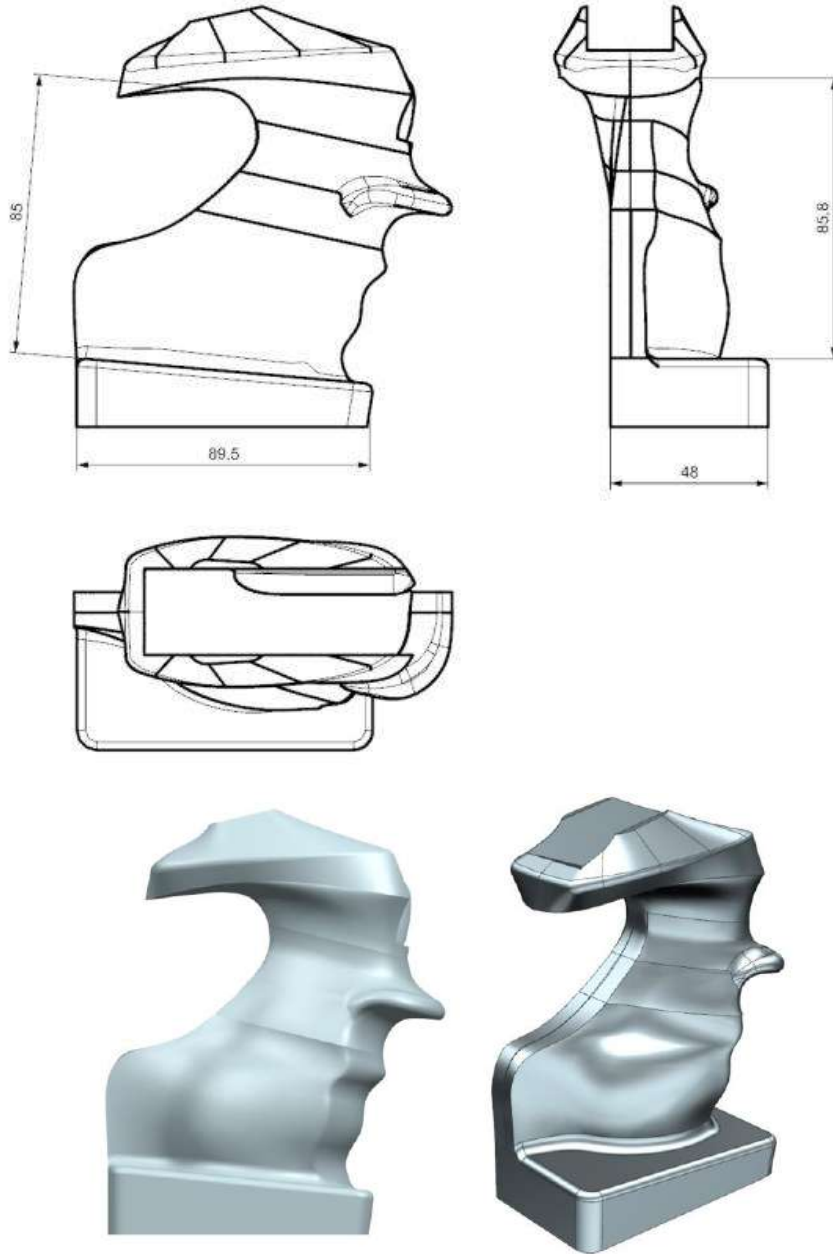
Türk toplumuna ait el antropometrik değerlerin saptanması amacıyla Erciyes Üniversitesinde antropometrik bir saha araştırması gerçekleştirilmiştir. 18-30 yaş aralığındaki 1041 bireyin (600 erkek ve 441 kadın) antropometrik verileri değerlendirilerek, antropometrik ölçümler sonucu bulunan %5 yüzde dağılım değerleri aralığındaki bayan kullanıcı kitlesine uygun havalı silah kabzası tasarlanmış ve uPrint üç boyutlu yazıcı (3B) kullanılarak prototipi üretilmiştir. Antropometrik çalışma sonucunda, kadınlara ait ölçüm sonuçlarının ortalama, standart sapma ve persentil değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kadın antropometrik ölçülerinin ortalama, standart sapma ve persentil değerleri

El boyutları	Türk kadını (n=441)		Persentiller	
	Ortalama	Standart sapma	%5	%95
El uzunluğu	17,3313	1,29619	15,1000	19,3000
Avuç içi uzunluğu	9,4005	1,06956	7,8300	11,2000
Avuç içi genişliği	7,8909	0,77431	6,6000	9,0600
İşaret parmak uzunluğu	7,3107	0,93857	6,1000	9,2000
Başparmak uzunluğu	6,3973	0,71839	5,2000	7,6000
Orta parmak uzunluğu	7,9757	0,80296	7,1000	10,0600
Yüzük parmak uzunluğu	7,3465	0,70896	6,3000	9,1000
Serçe parmak uzunluğu	6,0662	0,59120	5,2000	7,2000

Tasarım çalışmalarının en önemli amacı kullanıcı kitlesinin tamamına yakın bir kısmına uyum sağlayabilecek tasarım standartlarının geliştirilmesidir. Antropometrik verilerin tasarım amaçlarına uygun olarak kullanılmasında uyulması gereken bazı ilkeler vardır. Bu ilkeler; uç değerler için, ayarlanabilir aralıklar ve ortalama değer için tasarım yapmadır. Tasarım çalışmalarında, uç değerler ve ayarlanabilir aralıklar tercih edilmesi gerektiğinde %5-%95 yüzde dağılım değerleri arasında yer alan kitle hedef alınır [10].

Örnek teşkil edecek olan ergonomik havalı silah kabzası tasarımı bayan antropometrik ölçüm sonuçları dikkate alınarak iki boyutlu ve üç boyutlu olarak görselleştirilmeye çalışılmıştır. Modellemeler ve teknik resim yapılırken, kullanılması öngörülen ergonomik veriler ve antropometrik ölçülere sadık kalınarak form üzerinde çeşitli oransal değişiklikler yapılmıştır (Şekil 3).



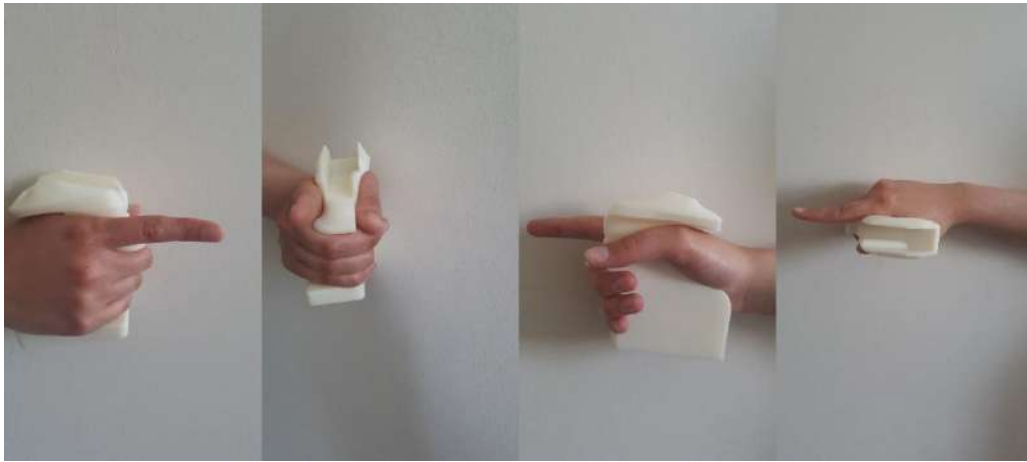
Şekil 3. Örnek ergonomik havalı tabanca kabzasının teknik resmi ve 3 Boyutlu Modellemesi

Bir ürünün tasarım sürecinde devreye giren disiplinler arası faktörler belirli bir yaklaşımla ele alınmış ve amaca uygun olarak seçilen antropometrik verilerden faydalanılarak ürünün üç boyutlu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Antropometrik ölçülere uygun olarak bayanlara yönelik tasarlanan ergonomik kabzanın, uPrint üç boyutlu yazıcı ile prototipi oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Bayanlar için örnek olarak tasarlanmış ergonomik havalı tabanca kabzasının 3B yazıcı kullanılarak üretilen prototipi

Tasarlanan ergonomik kabzanın, elin kavrayışı ile tam uyumlu olduğu, yani elin kabza kavrama noktalarına tam olarak temas ettiği, üç boyutlu yazıcı ile üretilen kabza prototipi ile denenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Bayanlar için tasarlanan ergonomik havalı tabanca kabza prototipinde elin kabzaı kavraması

4. Sonuç

Poligon/havali silah kabzası tasarımında kullanılması amaçlanarak elde edilen verilerin incelenmesi ve değerlendirilmesi sonucu bu verileri başta havali silah ve tüfekler olmak üzere, mutfak aletleri tasarımından askeri mühimmat tasarımlarına kadar, el antropometrik verilerine ihtiyaç duyulan her alanda kullanmak mümkündür.

Elde edilen değerlerin her birey için uyumlu olması mümkün olmasa da, büyük çoğunluk için kullanılabilir, en azından fikir oluşturabilecek olması hedeflendiğinden bu değerlerin belirlenmesinde azami özen ve bilimsel değerlendirmeler titizlikle uygulanmıştır.

Tasarım ve mühendislik süreçlerindeki her değişiklik, üretim maliyetlerini etkilemektedir. Üç boyutlu yazıcılar ise, değişikliğin daha az maliyetli olduğu erken tasarım aşamalarında, birçok tasarımı gözden geçirmemize yardımcı olmaktadır. Kavramsal model aşamasında yapılacak küçük bir değişiklik, üretim aşamasında fazla maliyet ve fazla zaman kaybı getirecektir. Antropometrik veriler doğrultusunda tasarlanan bayanlar için uygun kabza modelinin, kabza kavrayış ve ergonomik açıdan verilerin uygunluğunu değerlendirmek, aynı zamanda tasarım sürecini daha hızlı ve daha verimli hale getirmek için üç boyutlu yazıcı ile ürüne dönüştürülmüştür.

Referanslar

1. http://tr.wikipedia.org/wiki/Milli_Prod ktivite_Merkezi, (Erişim tarihi 25 Mart 2016).
2. İçeri, A., Determining The Anthropometric Characteristics Of Turkish Population, Fatih Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 89 syf., 2007.
3. Kayış, B. ve  zok F.. Türk Erkek Toplumunun Antropometrik  l  lerinin Belirlenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Rapor No: a 71., 1989.

4. Sabancı, A.,Ergonomi, Baki Kitapevi, Adana, 592 syf.,1999.
5. Atkins, V. J.,Theimportance of ergonomics in semiautomaticweaponsselection. ThePoliceChief, pp. 21-27,1992.
6. Hebert, O.,Hand Size Counts in SafeHandgunUse, Ergonomics in Design, Volume 8:(4), 29-33,2000.
7. Radwin, R. G.,& Oh, S., Handleandtrigger size effects on powertooloperation. InProceedings of the Human FactorsSociety 35th Annual Meeting. Santa Monica, CA: Human FactorsandErgonomicsSociety, pp. 843-847, 1991.
8. Uluslararası Atıcılık Spor Federasyonu internet sitesi: www.issf-shooting.org (Erişim tarihi 20.04.2015)
9. Aksu, K., Kabza Kavrama, <http://www.kemalaksu.com.tr>, (Erişim tarihi 29.03.2016),2014.
10. Pheasant, S. andHaslegrave, C.M.,Bodyspace: Anthropometry, Ergonomicsandthe Design of Work, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, 337 p., 2006.
11. Lozhan, A.,PistolShooting, <http://www.pistol-shooting.com/attaining-grip.php> (Erişim tarihi 29.03.2016)

PRODUCTION OF A HUMAN BRAIN VIA FUSED DEPOSITION MODELING USING MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI) SCAN DATA

Y. GÜR* E.OKUCU**

*Balıkesir University, Mechanical Engineering Department, Balıkesir, Turkey

**Balıkesir University, Mechanical Engineering Department, Balıkesir, Turkey

Abstract:

Rapid prototyping techniques have been developing since 1980's. These techniques allow users to realize geometries once thought impossible to produce. By using these techniques it became possible to model human brain as a tangible object. In this work, a low cost fused deposition modeling (FDM) desktop printer is used, software used for prototyping is explained and at the end a physical model is obtained. It is shown that FDM method is a cheap method which is capable of producing human brain as a tangible object.

1. Introduction

Rapid prototyping encompasses the techniques which eliminate the need for traditional methods. While most of the traditional manufacturing processes are subtractive, rapid prototyping is additive. Parts are produced in layers which are added after each other until the part is over [1,2]. Rapid prototyping became possible by the contribution of many scientists and engineers. However, it is impossible to benefit additive manufacturing without solid modeling in digital environment. Mathematical fundamentals of solid modeling were constituted by Herbert Voelcker in 1960's. Following Voelcker's work, in 1987 Carl Deckard was awarded by National Science Foundation for his idea named "selective laser sintering". Deckard's and Voelcker's works are basis of the rapid prototyping industry [3]. Most common rapid prototyping techniques are stereolithography (SLA), selective laser sintering (SLS), direct metal laser sintering (DMLS), selective laser melting (SLM), electron beam melting (EBM), fused deposition modeling (FDM), ink jet printing (IJP), laminated object manufacturing (LOM), 3D printing (3DP), multi jet modeling (MJM) [4,5].

In this work FDM technique is used. FDM is first invented by Stratasys Company in 1990. This method utilizes a heating head in which filament material is fed. Material is melted in the heating head and extruded onto the build platform to build layers. Printing head moves in x and y directions while the platform moves in z direction. After each layer is complete the platform moves one layer thickness in z direction and printer starts the next layer. This process is done repeatedly until the part is over. While producing with FDM technology, support structures maybe used which are responsible for preventing leakage of build material. After the production, support structures can be removed [6,7]. Thermoplastic materials are used in this technology. For instance PC-ISO (polycarbonate-ISO) is a biocompatible material which makes it suitable for medical applications [8,9].

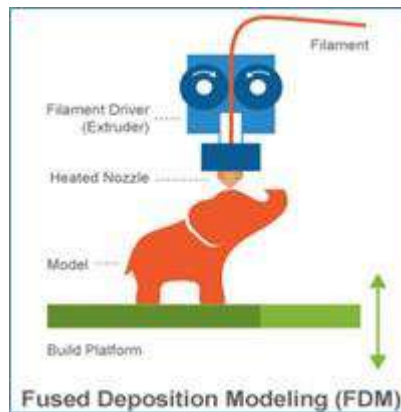


Figure 1: FDM Method [10]

Gür [4,11] fabricated tangible anatomical models using FDM desktop printer. He used Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) plastic as prototyping material. In his works CT scan data was used as model source. He concluded that FDM is a suitable, cheap and fast technique to produce tangible anatomical models. He also mentioned that these models can be used to enhance awareness of the patient. Kelley et al.[12] prototyped human brain and human skull models using SLA technique. They mentioned that 3D models obtained have given better visual information than 2D images. On the other hand, high cost and long time to build models were mentioned as negative sides. Jardini et al. [5] used 3DP for prototyping surgical planning models and used DMLS to fabricate patient specific cranial implant. They reported that obtained 3D models can be used for surgical planning and simulation, creating medical implants.

2. Magnetic Resonance Imaging and DICOM Data Format

Magnetic resonance imaging (MRI) scan uses magnetic fields and radio waves to obtain internal images of the human body. Hydrogen atoms inside human body are excited and signals emitted by them are collected [13,14]. It is a technology to image soft tissues and its ability to expose brain and spinal cord (which are covered by bone tissue) makes it unique [15]. In this work MRI scan data is used to obtain 3D model of human brain. 3D model is first created in digital environment then prototyped as tangible object.

DICOM stands for Digital Imaging and Communications in Medicine. As medical imaging technology started developing and computers are involved in medicine more than past, need for a standard was born. DICOM standard fulfills this need by defining data transfer protocols between computers. By doing that, it makes different machines understand each other's language and makes digital imaging possible [16,17].

Modelling Stages

In this work manufacturability of a human brain from MRI data is investigated. To do that 2D DICOM images are converted to 3D STL data. Then a desktop FDM printer is used to fabricate the 3D model in STL data format. Using traditional manufacturing techniques it is impossible to produce tangible human brain model since it has very complex geometry. However, rapid prototyping techniques allow users to fabricate geometries once thought impossible.

For rapid prototyping of human brain via FDM technique process explained below is conducted. This process includes;

- Obtaining MRI data of human brain
- Creating the 3D model using MRI scan data and exporting 3D model in STL format
- Cleaning STL model and checking mesh structure
- Slicing STL model into layers, generating G-codes
- Rapid prototyping and cleaning of the model

3.1. MRI data acquisition

MRI data can be obtained from hospitals via MRI scanners. In this work an anonymous person's brain MRI data is used [18]. MRI data has 192 DICOM files.

3.2. Creating the 3D digital model

3D digital model was created using InVesalius 3.0 program which is free and open-source [19]. Users can construct 3D models of organs, tissues etc. by arranging threshold values. There are two threshold values which could be defined when using InVesalius. In this work lower threshold value is 152 and upper threshold value is 758. However this combination also selects skull. In order to separate brain from skull "Erase" tool under the "Advanced editing tools" section is used. Skull is erased in every slice which left only brain. After these steps 3D model is generated and exported in STL (stereolithography) format. Different slices of brain is given in Figure 2 and 3D brain model with 2D slices after erasing can be seen in Figure 3.

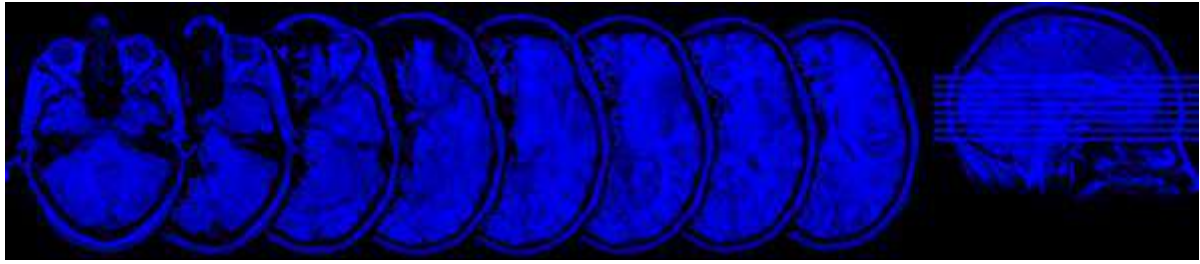


Figure 2: Multi slice view of brain MRI data (created in MRlcron software [20])

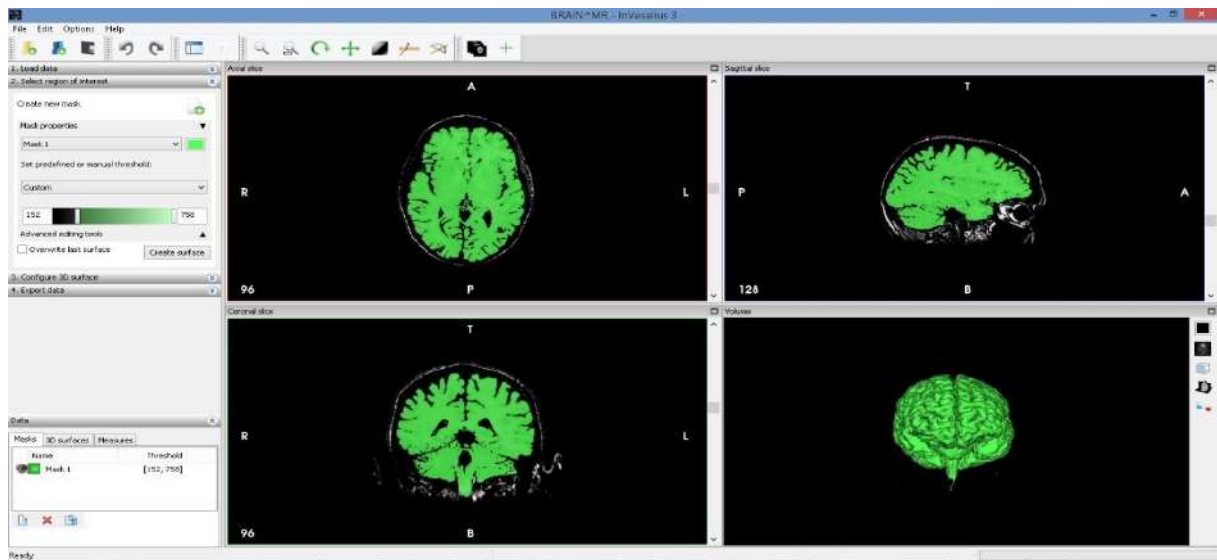


Figure 3: 2D slices and 3D brain model in InVesalius

After creation of STL model, it is loaded into MeshLab. MeshLab is an open source program for editing and perocessing 3D unstructured mesh [21]. In MeshLab, small particles which are not connected to brain mesh are deleted and mesh structure is checked for errors (See Fig. 4 and Fig. 5).

Subsequent to cleaning and checking the mesh, digital model is sectioned in Netfabb Basic. At the end, right back of the brain is obtained. These steps can be seen in Figure 6 and Figure 7.

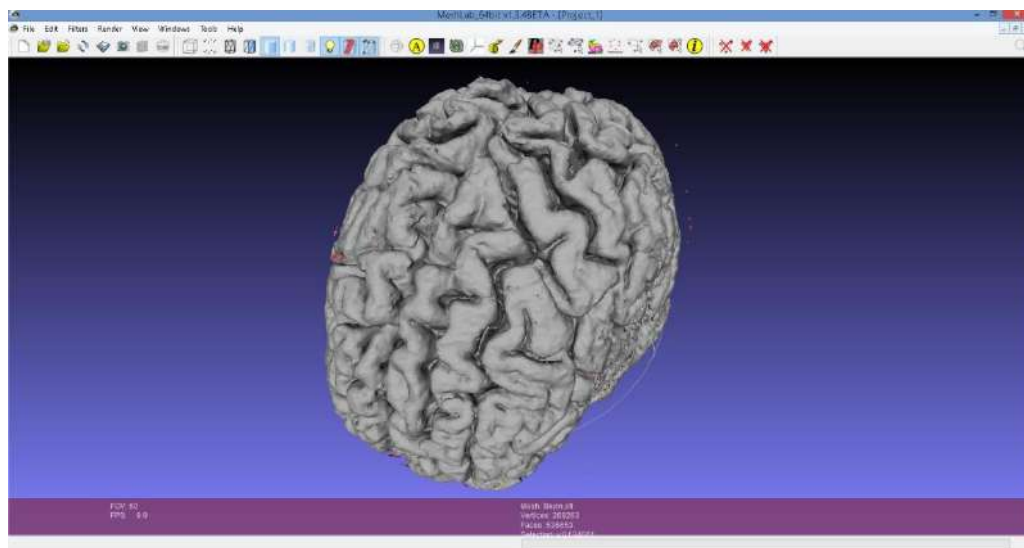


Figure 4: 3D brain model in MeshLab

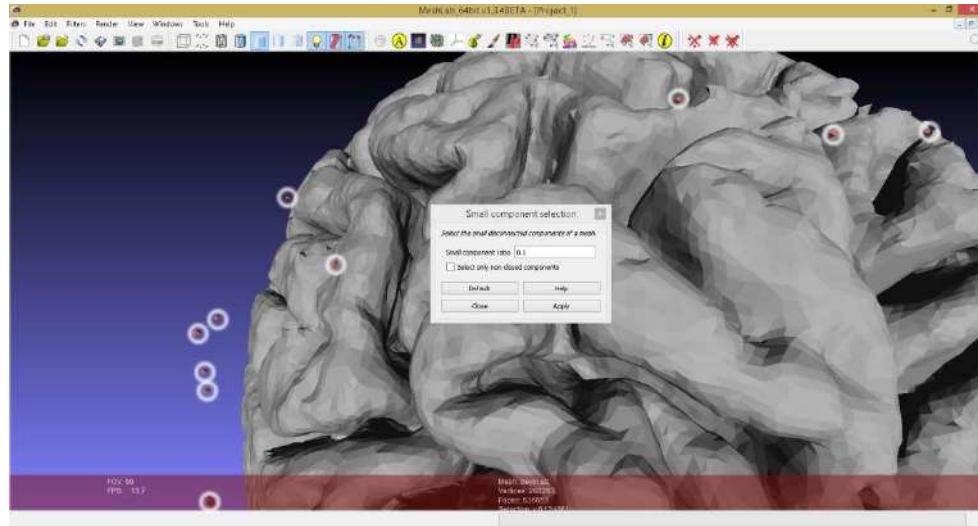


Figure 5: Floatig components are selected for cleaning (floating parts are circled in white)

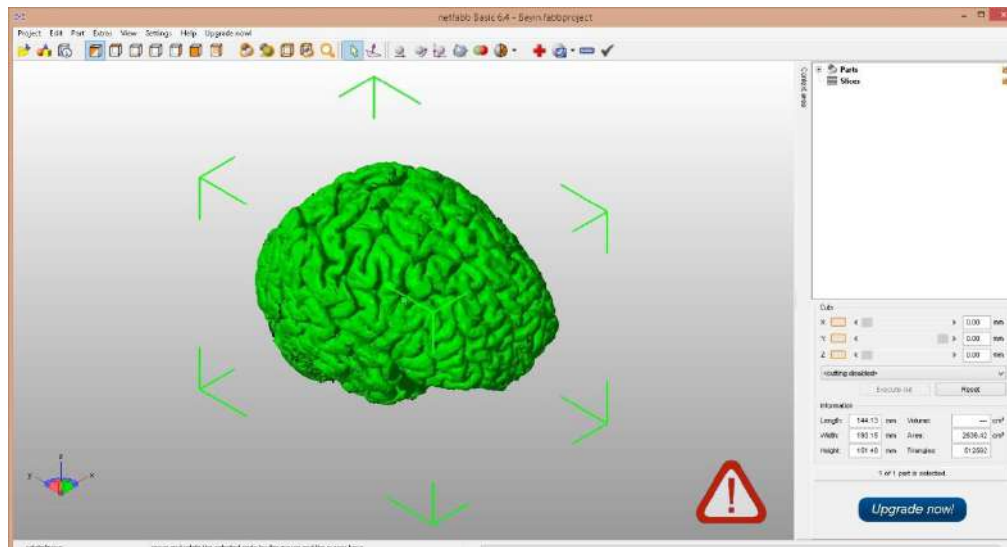


Figure 6: Brain model is loaded into Netfabb Basic

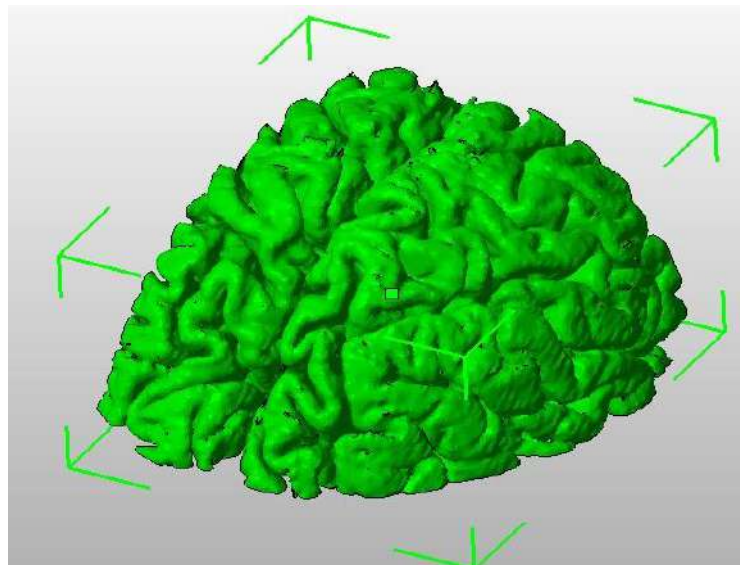


Figure 7: Top right back part of the brain

3.3. Rapid prototyping of the digital model

After steps explained before, it is time to slice 3D model. Slicing is done by MakerBot Desktop software [22]. After sectioning in Netfabb Basic, dimensions of the model are 115.48 mm x 128.61 mm x 82.61 mm (see Fig. 8a), in order to fit the model on the build platform of the FDM machine 1:2 scale is used (see Fig. 8b).

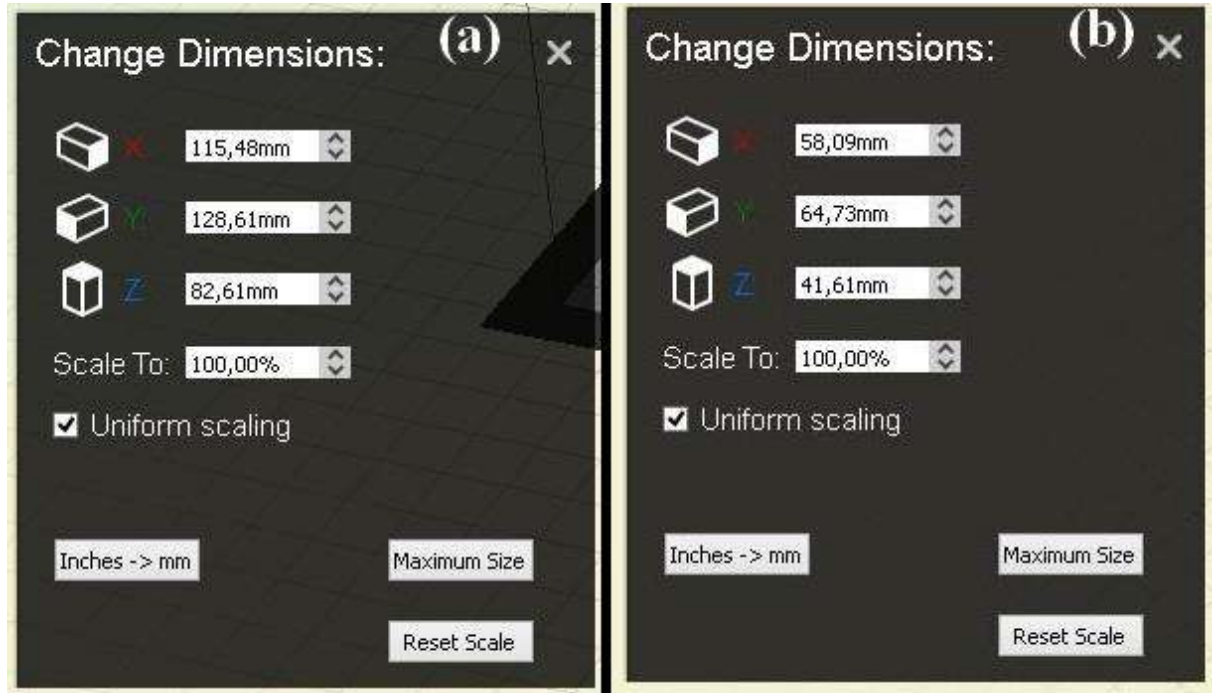


Figure 8 : Original dimensions (a) and 1:2 scaled dimensions (b)

Following scaling of the model, slicing is completed and G-codes are generated. G-codes determine travel movements of extrusion head. As building material Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) plastic filament is used. Time of production is 13 hours 51 minutes and mass of the prototype is 56.74 grams. Thickness of one slice is 0.15 millimeter. Placement of scaled model on build platform is given in Figure 9 and preview of production is given in Figure 10.

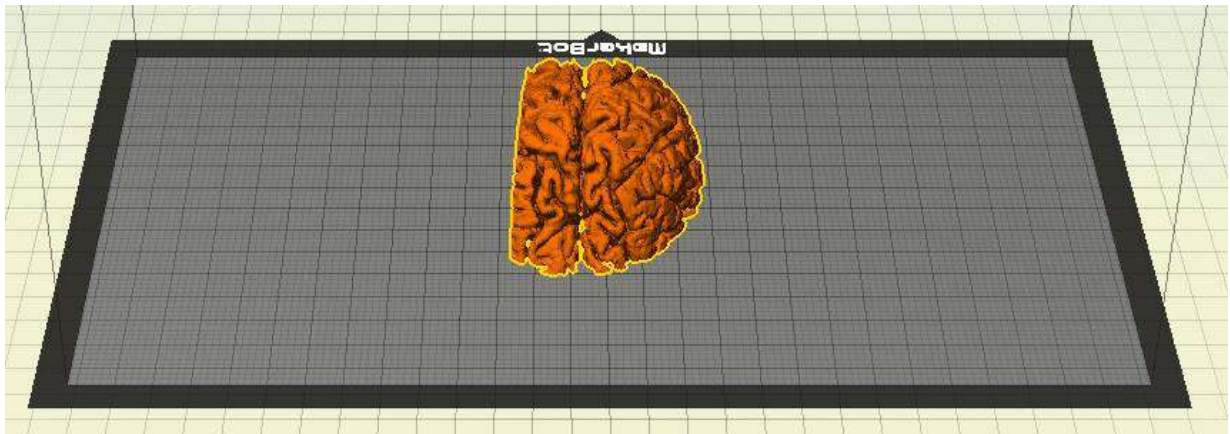


Figure 9: Placement of scaled model on the build platform

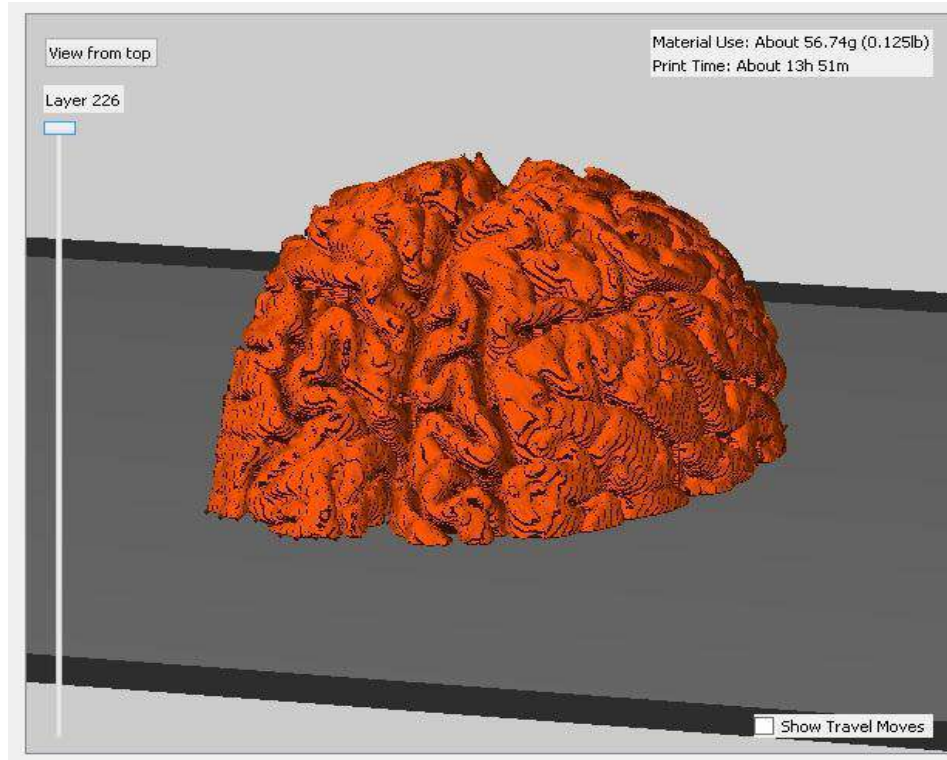


Figure 10: Production preview

For production of the sliced model, a Flashforge Creator dual extruder FDM printer is used [23]. Printer dimensions are 467 x 320 x 381 mm and building volume is 225 x 145 x 150 mm [4]. Tangible model can be seen in Figure 11, Figure 12 and Figure 13.



Figure 11: Tangible 3D brain model, top view



Figure 12: Rear view of brain model



Figure 13: Cross view of brain model

4. Conclusion

In this work, it is shown that rapid prototyping of human brain via FDM technique is possible. This is done by using MRI scan data. First, 3D digital brain model is created by converting 2D DICOM files into 3D model. By using this 3D digital model, real tangible 3D brain model is created. Different rapid prototyping methods can also be used. However using FDM technique costs less to the user. Moreover, biodegradable and biocompatible materials are also available for FDM technology which makes it suitable for medical applications [9,24]. Final model can be used for teaching purposes and informing patients.

In a nutshell, rapid prototyping is still developing and has a promising future. Geometries once thought to be impossible to produce have become a reality. Patient specific implants, surgical planning, surgical simulation, education and training, medical device development are main topics of rapid prototyping in medical field.

References

1. Upcraft, S. and Fletcher, R., "The Rapid prototyping technologies", *Assembly Automation*, 23(4), 318-330, (2003).
2. Nannan, G. and Leu, M. C., "Additive manufacturing: technology, applications and research needs" *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3), 215-243, (2013).
3. National Science Foundation, "Manufacturing: The Form of Things Unknown, Rapid Prototyping [online]", (15 March 2016), <http://nsf.gov/about/history/nsf0050/manufacturing/rapid.htm>
4. Y. GÜR, "Additive Manufacturing of Anatomical Models from Computed Tomography Scan Data", *Molecular and Cellular Biomechanics*, MCB, vol.11, no.4, pp.249-258, 2014, ISSN : 1556-5297 / E_ISSN: 1556-5300 (Science Citation Index Expanded)
5. Jardini, A. L., Larosa, M. A., Filho, R. M., Zavaglia, C. A. de C., Bernardes, L. F., Lambert, C. S., Calderoni, D. R. and Kharmandayan, P., "Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing", *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 42, 1877-1884, (2014).
6. Gebhardt, A., *Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*, Germany: Carl Hanser Verlag, (2011).
7. Groover, M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc., (2010).
8. MatWeb, "RedEye On Demand PC-ISO for Parts that can be Sterilized [online]", (15 March 2016), <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=4b5146de3ae6422f8c107930b20c5745>
9. Stratasys, "PC-ISO [online]", (15 March 2016), <http://www.stratasys.com/materials/fdm/pc-iso>
10. "3D Printing Processes [online]", (15 March 2016), <https://www.printspace3d.com/what-is-3d-printing/3d-printing-processes/>
11. Gür, Y., "Manufacturing of a Hand Bone Structure From CT Scan Data by Using 3D FDM Desktop Printer", *European Journal of Science and Technology*, 3(6), 3-5, (2015).
12. Kelley, D. J., Farhoud, M., Meyerand, M. E., Nelson, D. L., Ramirez, L. F., Dempsey, R. J., ... and Davidson, R. J., "Creating physical 3D stereolithograph models of brain and skull", *PLoS One*, 2(10), e1119, (2007).
13. "MRI (Magnetic Resonance Imaging) [online]", (15 March 2016), <http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/MedicalImaging/MRI/default.htm>
14. "Tests and Procedures, MRI [online]", (15 March 2016), <http://www.mayoclinic.org/tests-procedures/mri/basics/definition/PRC-20012903?p=1>
15. "MRI technical information [online]", (15 March 2016), http://www.stricklandscanner.org.uk/pro_mri.html
16. Bidgood, W. D. Jr., Horii, S. C., Prior, F. W. and Van Syckle, D. E., "Understanding and using DICOM, the data interchange standard for biomedical imaging", *Journal of the American Medical Informatics Association*, 4(3), 199-212, (1997).
17. DICOM PS3.1 2015c - Introduction and Overview
18. (15 March 2016), <http://idoimaging.com/wiki/tiki-index.php?page=Patient+1010%3A+Brain+MR>
19. (15 March 2016), <http://svn.softwarepublico.gov.br/trac/invesalius>
20. (15 March 2016), <http://www.mccauslandcenter.sc.edu/micro/micron/install.html>
21. (15 March 2016), <http://meshlab.sourceforge.net/>
22. (15 March 2016), <http://www.makerbot.com/desktop>
23. (15 March 2016), <http://www.flashforge-usa.com/shop/3d-printers/creator-dual-extruder.html>
24. (15 March 2016), <http://www.makerbot.com/what-is-pla>

FDM TEKNOLOJİ İLE ÜRETİLEN PROTOTİP PARÇALARININ HATALARI VE HATALARIN ÖNLENMESİ

Hakan MADEN^a, Ömer Şaban KAMBER^b, Erkan DİPCİN^c, Haydar UĞUR^d, Bilal ÖZSARIKAYA^e ve Alim İĞNECİ^f

a,b,c,d,e,f, İhlas Ev Aletleri, İstanbul/ TÜRKİYE, E-posta: hakanmaden74@gmail.com; okamber@gmail.com; edipcin@iea.com.tr; hugur@iea.com.tr; bozsarikaya@iea.com.tr; aigneci@iea.com.tr

Özet

Plastik parçaların tasarım işleminden sonra kalıplama işlemine geçilmeden önce parçanın prototipi yapılması gerekmektedir. Prototip cihazlarının kesif yapılmadan önce prototiplerle yapılmakta ve uzun zamanlar almaktaydı. Prototip makinası bilgisayarda çizimi yapılmış her türlü ürünün birebir modelini saatler içerisinde elde etme imkânı doğmuştur. Teknolojinin gelişmesiyle birden fazla farklı yöntemlerle prototip imalatı yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden biriside Eriyik Yığma Modelleme - FusedDepositionModelling (EYM – FDM) yöntemidir. Makalede, FDM yöntemle prototipparça üretimi yapılırken parçada gerek makinanın çalışma prensibinden kaynaklı, gerek parça tasarımından kaynaklı ve parçanın üretim konumundan kaynaklı hatalar ele alınmıştır. Bunlar parçada yüzeyinde kademeler, destek malzemenin çıkartılması sırasında deformeler ve kırılmalar kolay olmaktadır. Bu nedenle parça üretim konumunun değiştirilmesi, parça tasarımında değişiklik veya üretim sonra parça yüzeyine kimyasal uygulanarak hataların giderilmesi incelemektir. Sonuç olarak parçanın tablaya yerleşim konumu parçanın yüzey kalitesine ve destek malzemenin çıkartılmasında etkisi çok fazla olmaktadır. Prototiple üretilen parçalarında genellikle mukavemet az olduğu kısımlar federlerdir. Bu federlerin tasarımda feder kalınlıkları artırılarak mukavemet artırılması sağlanmıştır. Parçaların karmaşıkformlarından dolayı tablaya en uygun konumda yerleştirilse bile parça yüzeyde kademeler oluşmaktadır. Bukademelerin giderilmesi için yüzeye Metil Etil Keton kimyasal sıvı ile yüzeylerin kademelerin giderilmesi yapılmıştır. Parçanın konumutabandan elli dereceden büyük açılara destek malzeme örülmemektedir. Bu sayede destek malzemede ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Hızlı prototip, FDM teknoloji, Prototip

THE FAULTS OF PROTOTYPE PARTS PRODUCED WITH FDM TECHNOLOGY AND PREVENTION OF THESE FAULTS

Abstract

It is needed to make the prototype of designed plastic parts before molding process. Before the invention of prototype machines, prototypes were made manually and it took a long time. After the invention of prototype machines, we have opportunities to make the prototypes of products designed with drawing programs within hours. Prototypes can be made with several different methods with the development of the technology. One of these methods is Fused Deposition Modelling (FDM). In this method, when the prototype of part is made, stages occur on the part surface. Also breakages and deformations of part are easy when we remove the support material. For this reason, changes of the prototype production position and design of the part, improvement of the prototype surface with applying chemical are studied in this study. It is found that the prototype position affects the surface quality and removing of support material too much. The parts that the strength are low on prototypes are usually ribs. So strength is increased with the increasing of the rib thickness in the design. Even if the prototypes are located in the most suitable position, stages occur on the prototype surface because of the complex form of the part. The surface of the prototype is improved with application of Methyl Ethyl Ketone to prototype surface to overcome the stages on the surface. Support material is not build up when the prototype is positioned to greater than fifty degrees angle from the bottom. For this reason we save time and support material.

Keywords: Rapid Prototype, FDM Technology, Prototype

1. Giriş

Ürün tasarımcıları, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarından yararlanarak 3 boyutlu (3D) tasarımlar yapmaktadırlar. Genelde çok karmaşık olmayan modellerin tasarım sürecinde, tasarım esnasında tasarım hataları görülebilir ve gerekli düzenlemeler yapılarak tasarım tamamlanır. Fakat karmaşık yapıya sahip 3D modellerin veya çok parçalı montaj gruplarında, montajın yapılabilirliği ve sistemin

çalışabilirliği açısından 3D modellerin prototiplerini yapmak gerekir [1]. Geleneksel teknikleri kullanarak prototip üretmek ve test etmek, genellikle pahalı ve zaman alıcıdır [2]. Wohlers şirketine baş danışmanı ve başkanı Terry Wohlers; "Eğer talaşlı imalat yapıyorsanız kullandığınız malzemenizin %80- 90'ını kırıntı – döküntü olarak ıskartaya çıkarmanız kadar olağan bir şey yoktur" demiş ve mukayeseyi somutlaştırmıştır [3]. İmalat sanayiinde prototipleme ayrı bir yere sahiptir. Prototipsiz üretimlerde hatalar çıkması sebebi ile firmalar maddi kayıplara uğrarlar. Ürün kaybı yanında kalıp gibi donanım giderleri de artar ve üründe devamlılık sağlanamaz. Bu sorun hızlı prototiplemede yoktur. İş dünyası, 3D baskı ile prototip veya son ürün üretimini (metal dahil) 3. Endüstri devrimi olarak nitelemeye başlamıştır [4].

Prototip üretiminin amacı imalat öncesi, tasarımın doğruluğunun, estetikliğinin ve işlevsel yönden yeterliliğinin değerlendirilmesi, tasarlanan modelin üretilebilirliği, montaj edilebilme ve sökülebilme olanaklarının değerlendirilebilmesidir [5]. Bu cihazlar alışılmış imalat yöntemlerinde olduğu gibi dolu malzemeden talaş kaldırarak değil, sıfırdan katman oluşturarak ve katmanları üst üste ekleyerek prototip üretirler [1]. Hızlı prototipleme, 3DCAD verisinden, plastik veya metal malzemeden modeller üreten cihazların teknolojisine verilen genel bir isimdir. Topoğrafya alanında 1890'larda kullanılmaya başlanan bu teknoloji [6], endüstriyel alanda 1951'de Munz'un önerdiği stereolitografi teknolojisiyle başlar [7]. Yine bu alanda 1968'de Swainson iki lazer ışınının kesişme bölgesinde elde edilen polimerizasyon yöntemini önerdi [8]. Ciraud, 1971'de modern eklemeli imalat teknolojisinin bütün özelliklerine sahip bir toz birleştirme yöntemi geliştirdi [9]. 1979'da R.F. Housholder, lazer ile toz sinterlemenin ilk tanımlamasını yaptı ve düzlemsel tabakaların sırayla biriktirilmesini ve her tabakanın katılmasını inceledi [10].

Türkiye'de ilk medikal kafatası yüz implant tasarımı, imalatı ve cerrahisi uygulaması, 2003 yılında Cadem AŞ ve Amerikan Hastanesi'nden Opr. Dr. Sacit Karademir işbirliği ile yapıldı [11]. Kafatasına ait CT verileri kullanılarak dokusal duyu 3D modelleme sistemi ile implant tasarımı yapıldı ve 3D yazıcı kullanılarak model elde edildi. Metal lazer sinterleme işleminden sonra implant, Dr. Karademir tarafından yerleştirildi. Slovenya'daki Maribor Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü ve Üniversite Klinik merkezi ile Ljubljana Üniversitesi Tıp Fakültesi öğretim üyeleri işbirliği ile kemik yapılarında kullanılabilecek implantların tasarımı ve hızlı prototipleme teknolojileriyle üretimi konusunda araştırma ve uygulama çalışmaları yapılmıştır [12].

Teksas Üniversitesinde 3 Boyutlu (3D) Araştırma Merkezi kurulmuş ve Oak Ridge firması ile ortak 3 boyutlu yazıcı tasarımları yapılmaktadır [13]. Önümüzdeki 10 yılda 3D yazıcılardan çıkmış elektronik sistemler ve farklı malzemelerin birleştirildiği ürünlerin (yazma-basma-üretme teknolojileri) görüleceği söylenmektedir. 3D baskı üretim tekniği, 2030'a kadar kalıplama, dövme ve talaşlı imalat gibi geleneksel üretim yöntemlerinin yerini alabilir. Hava-uzay şirketleri bu eğilimde en öndeki yerlerini almış durumdadır. ASTM (Amerikan Malzeme ve Test Cemiyeti), her ne kadar yolun başında da olsa, 3D baskı üretim tekniğine bir standart getirmeye çalışmaktadır [4].

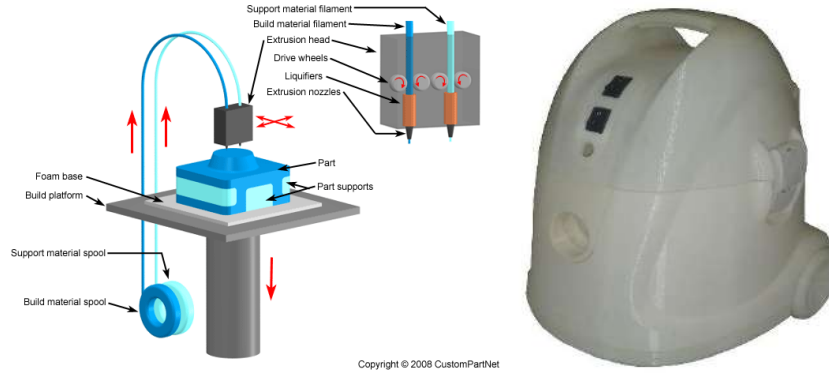
Hızlı prototipleme yöntemleri 1980'li yıllardan sonra hız kazanmış ve birçok farklı yöntemle prototip imalatı yapılmaktadır. Piyasada en fazla kullanılan yöntem ergiyik biriktirme modelleme tekniği (FDM-Fused Deposition Modeling)dir. Bunun dışında,

- Katı tabaka kurutma teknolojisi (SGC, Solid Ground Curing)
- Tarayarak ışıqla kütleme tekniği, stereolitografi cihazı (SLA, Stereo Lithography Apparatus)
- Polyjet teknolojisi
- Tabakalı yapıştırılmalı parça imalatı (LOM, Laminated Object Manufacturing)
- Çok jetli modelleme (MJM, Multi-Jet Modelling)
- Şekil biriktirme imalatı (SDM, Shape Deposition Manufacturing)
- Seçici lazer sinterleme (SLS, Selective Laser Sintering)
- Üç boyutlu yazıcı teknolojisi (3D Printing)
- Elektron ışınli eritme (EBM, Electron Beam Melting) yöntemleridir.

Bu çalışmada en çok kullanılan hızla prototip üretim yöntemi olan FDM teknolojisi parça kalitesi üzerine olan etkileri araştırılacaktır. Bu etkilerin en aza indirmek için kullanılabilecek yöntemler araştırılacaktır.

2. Ergiyik Biriktirme Modelleme Tekniği (FDM, Fused Deposition Modeling)

Bu proseste bir plastik veya mum malzeme parçanın kesit geometrisini izleyen bir meme içinden ekstrüzyon edilir. Model malzemesi ince plastik tel (filament) şeklindedir. Bazen filament yerine hazneden beslenen plastik granül de kullanılmaktadır. Meme, termoplastiği ergime noktasının hemen üzerindeki bir sıcaklık tutmaya yarayan bir ısıtıcı eleman içerir ve böylece plastik kolayca meme üzerinden akar ve bir katman oluşur. Plastik memeden aktıktan sonra aniden sertleşir ve aşağıdaki katmana yapışır. Bir katmanın yapımı tamamlandıktan sonra platform aşağıya iner ve ekstrüzyon meme diğer katmanı inşa eder. Katman kalınlığı ve düşey boyut hassasiyeti ekstrüzyon meme çapına bağlıdır. Bu çap 0.178 mm ile 0.356 mm arasında değişir. XY düzleminde 0.025 mm çözünürlüğe ulaşılabilir. [14]



Şekil 1. FDM Sisteminin çalışma prensibi ve bu yöntemle üretilen Livac ürününün prototip görünümü [18,21]

Bu teknik ile çok parçalı, hareketli mekanizmaların ve karmaşık parçaların imalatı mümkündür. ABS, poliamid, polikarbonat, polietilen, polipropilen ve hassas döküm mumu model malzemesi olarak kullanılabilir. Bu yöntemde model üretilirken destek malzemesi kullanılır ve farklı bir destek malzemesi kullanabilmek amacıyla sisteme ikinci bir meme ilave edilmiştir. Üretilen parçaların esnemeye, bükülmeye, kırılmaya ve zamana karşı yüksek dayanımı, suya ve neme karşı yüksek dirençleri, uygun maliyeti en belirgin özellikleridir. Fonksiyonel parçaların üretimi için uygundur.

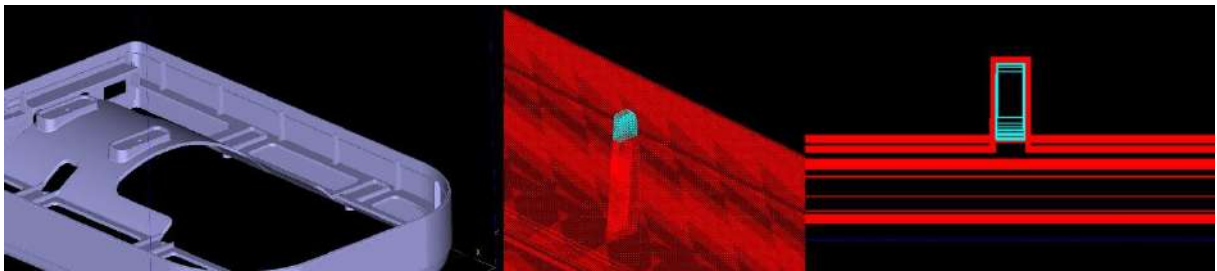
3. FDM Yöntemle Üretilen Prototiplerdeki Hatalar

CAD programlarıyla tasarlanan parçalar FDM yöntemle üretim yapan prototip makinesinde parçanın üretimi yapılmaktadır. Prototip üretimi ve üretim sonra bir takım sorunlarla karşılaşmaktadır. Bunlar;

- Kalınlıkları düşük olan kısımların mukavemeti az olduğunda kolay kırılmalar olmaktadır
- Parça yüzeyinde merdiven gibi kademelerin oluşması
- Karmaşık parçaların prototipleri üretildikten sonra destek malzemesinin çıkartılması çok zor olmaktadır. Destek malzemesinin çıkartılması sırasında parçanın yüzeyine zarar vermektedir.

3.1. Kalınlıkların Düşük Olmasından Dolayı Mukavemetin Azalması

Kalınlıkların düşük olan kısımlarda parçanın mukavemeti az olmaktadır. Ergiyen malzemenin aktığı meme çapına göre parçanın mukavemetine etki etmektedir. Parça tasarımının parçanın mukavemetini artırmak için ve başka parçalarının montajı için desteklemek amacıyla yapılan federler genelde kırılmalar kolay olmaktadır. Federler genelde ilk montaj aşamasında veya destek malzemenin çıkartılmasında kırılmaktadır. Şekil 2'de parça üzerindeki federin prototip makinasına atılmadan yapılan takım yolu gösterilmektedir. 1,4 mm kalınlığındaki feder prototip makinasına üretim takım yolu Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. 1,4 mm kalınlığında parçanın prototip üretim takım yolu

Bu parçanın üretimi yapıldıktan sonra federler ilk montajda kırılmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4'de parçanın feder kırılmış hali gösterilmektedir.



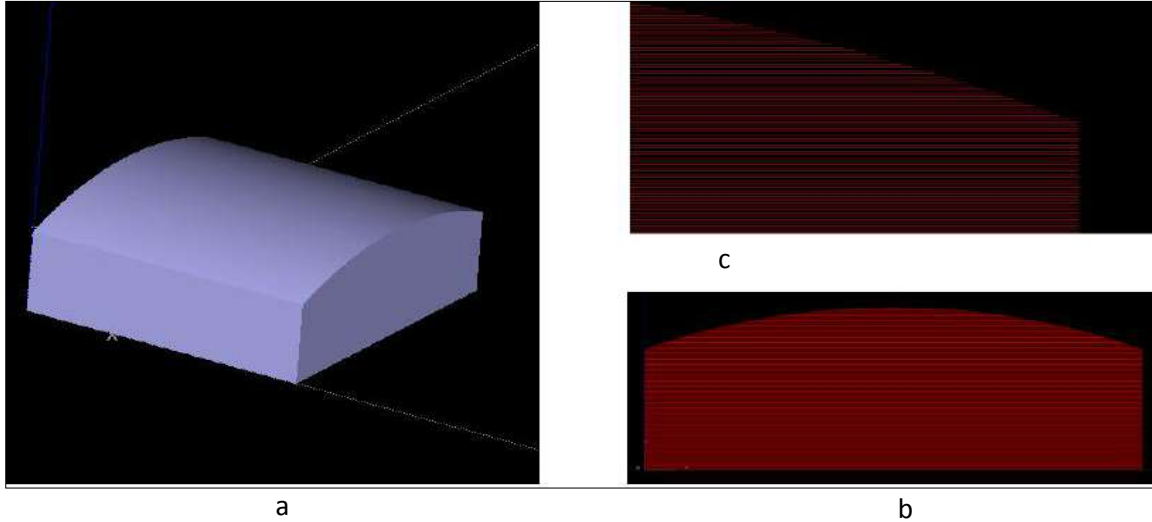
Şekil 3. (a) Feder bütün hali (b) Feder kırılmış hali



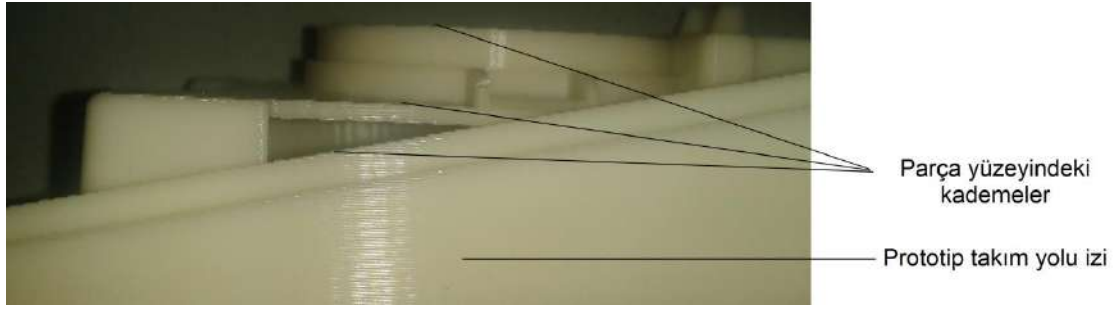
Şekil 4. (a) Feder bütün hali (b) Parçanın ilk montaj hali (c) Feder kırılmış hali

3.2. Parça Yüzeyinde Merdiven Gibi Kademeler Oluşması

Prototip parçanın üretimi sırasında parçanın parabolik yüzeylerde ergiyen malzemenin aktığı meme çapına göre yüzeyde kademeler oluşmaktadır. Bu kademeler bir biri ile montaj edilen parçalarda sıkıntılar olmaktadır. Bu kademeler bilgisayarda prototip makinası yazılımında görülmektedir. Şekil 5'de prototip makinası yazılım ekranındaki kademeler görülmektedir. Şekil 6'de üretim yapılan bir parçanın yüzeyinde meydana gelen kademeler gösterilmiştir.



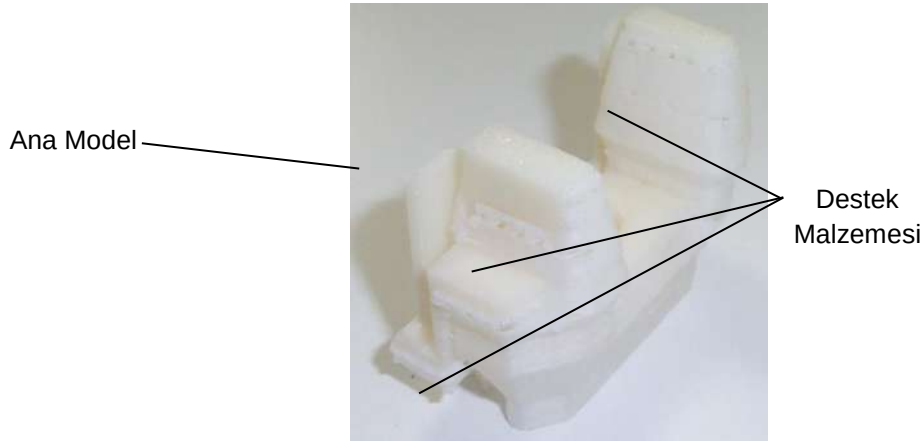
Şekil 5. (a) Parçanın görünümü (b) Parçanın takım yolu (c) Parçanın kademe yüzeyleri



Şekil 6. Prototip imalatından sonra parçada oluşan kademeler

3.3. Karmaşık Yapıdaki Tasarımlarda Destek Malzemelerin Çıkarılmasında Oluşan Deformeler

Parça tasarımları genellikle düz yapılı, serbest yüzeyleri az veya hiç olmayan parçalardır. Fakat bazen karmaşık yapıdaki parçaların prototip üretilmesi gerekmektedir. Bu parçaların prototipi üretimi sırasında parçanın her yerinde destek malzemeleri kaplamaktadır. Şekil 7'de bir parçanın destek malzeme ile sarılmış şekli görülmektedir.



Şekil 7. Karmaşık yapıdaki parçanın prototip imalatından sonra destek malzemeli hali

Destek malzemelerin ana parçadan sökülmesi sıranda parça yüzeyinde deformeler oluşturmaktadır. Bunlar genellikle federli kısımlarda federlerin kırılmasına neden olmaktadır. Bunun dışında destek malzemenin çıkartılması sırasında kullanılan aletlerin yüzeyde oluşturduğu çiziklerdir. Destek malzemesi çıkartılmasında feder kırılmasına örnek olarak Şekil 3-b'de Şekil 4-c'deki parçaları federler kırılmakta ve federin tabanı yüzeyle sıfır olduğu görülmektedir. Şekil 8'de destek malzemesi çıkartılması kullanılan aletlerin parça yüzeyinde yapmış olduğu deformasyon gösterilmiştir.



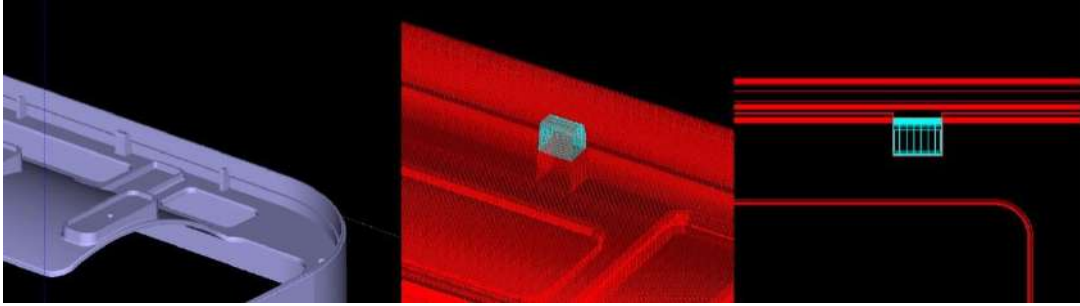
Şekil 8. Prototip imalatından sonra destek malzemenin çıkartılmasında oluşan deformeler

4. FDM Yöntemle Üretilen Prototiplerdeki Hataların Azaltılması

Hızlı prototip cihazlarında üretilen prototip parçasının oluşan hatalar genellikle bilgisayar üzerinden prototip makinasının yazılımında önlenabilmektedir. Diğer oluşan hatalar ise parçanın geometrik yapısından, prototip makinasının kalibrasyonunda veya makinanın diğer mekanizmalarından kaynaklanmaktadır. Prototip parçalarında üretimden sonra görülen hataların giderilmesi için aşağıda çözümler önerileri verilmiştir.

4.1. Kalınlıkların Düşük Olmasından Dolayı Mukavemetini Artırmak

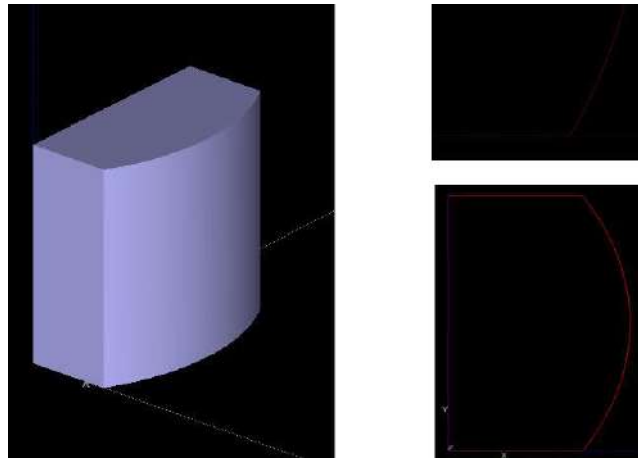
Cad ortamında parça tasarımı mukavemeti artırmak veya başka parçanın montajını kolaylık sağlamak için federler yapılmaktadır. Fakat bu federlerin kalınlıkları genel et kalınlıklarından 1/3-1/2 oranında kalınlıkta yapılması gerekmektedir [15]. Bu sayede parça enjeksiyon makinasında üretimin feder bölgesinde çöküntünün engellenmesini sağlamaktadır. Hızlı prototip makinasında parçalarda herhangi bir çöküntü olmayacağından dolayı federlerin kalınlıkların az olması gerekmemektedir. Feder olan parçalarının kalınlıkları en az 4 mm olması gerekmektedir. Bu sayede federlerin mukavemeti artırılması sağlanmıştır. Federlerin kalınlıklarının artırılması harcanan malzemenin artırılmasını sağlamaktadır. Şekil 9'de feder kalınlığı artırılmış şekilde takım yolları gösterilmektedir. Açık mavi renkte gösterilen kısımlarda feder iç kısımlarında takım yollarının geldiği görülmektedir.



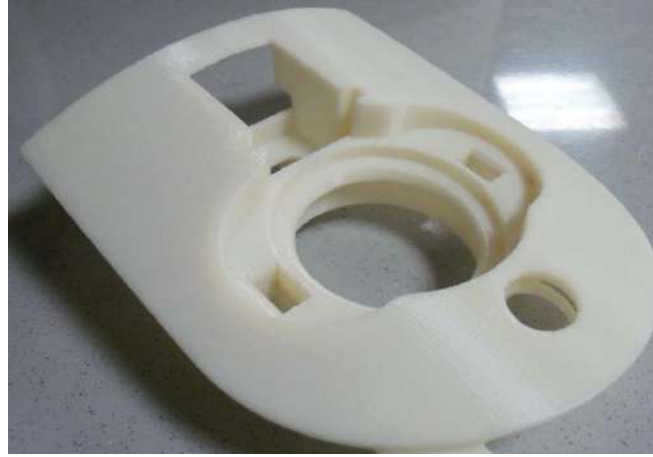
Şekil 9. Feder kalınlığı artırılmış parçanın takım yolları

4.2. Parça Yüzeyinde Merdiven Gibi Oluşan Kademeleri Giderilmesi

Parça yüzeyinde oluşan merdiven gibi oluşan kademeler genellikle bilgisayar üzerinden prototip makinasının yazılımında önlenabilmektedir. Bunu parçanın prototip tablasında konumunu değiştirerek yapılmaktadır. Şekil 10'da parçanın konumu değiştirilerek yüzeyde oluşabilecek kademelerin giderilmesi sağlanmıştır. Şekil 11'deki parçada yüzeyde kademeler oluşmaması dik konumda üretilerek yüzeyin düzgün çıkmış bir örnek parça gösterilmektedir.



Şekil 10. Parça konumu değiştirilerek kademelerin giderilmesi



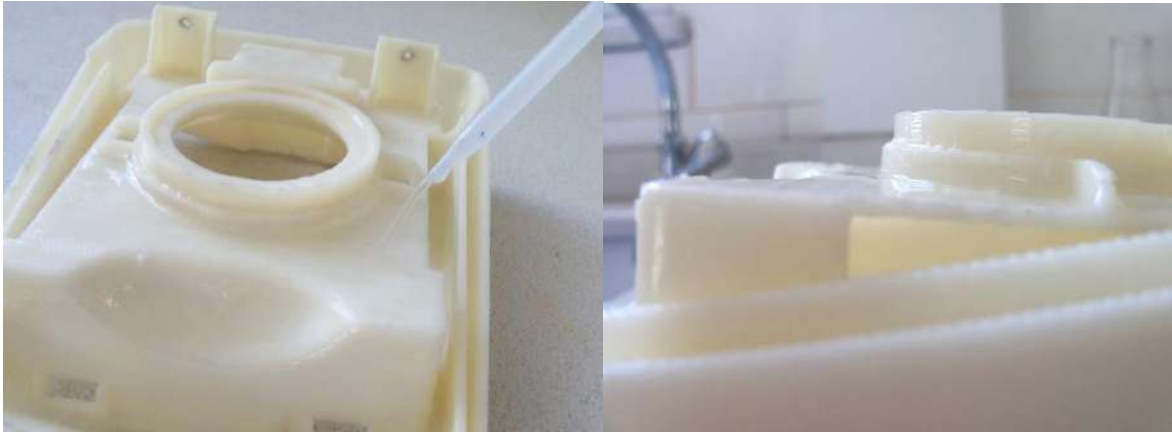
Şekil 11. Parça konumu değiştirilerek kademelerin giderilmesi örneği

Bazen parça tasarımına göre prototip makinasının tablasına en uygun konumda yerleştirmenize rağmen parça yüzeylerinde kademeler oluşabilmektedir. Bu durumda prototip imalatında sonra parça yüzeyine uygulanacak kimyasal (Metil Etil Keton) bir işlem ile kademeler azaltılabilir. Çizelge 1’de kademelerin giderilmesinde kullanılan kimyasal maddenin özellikler gösterilmektedir.

Çizelge 1. Metil Etil Keton Özellikleri [16]

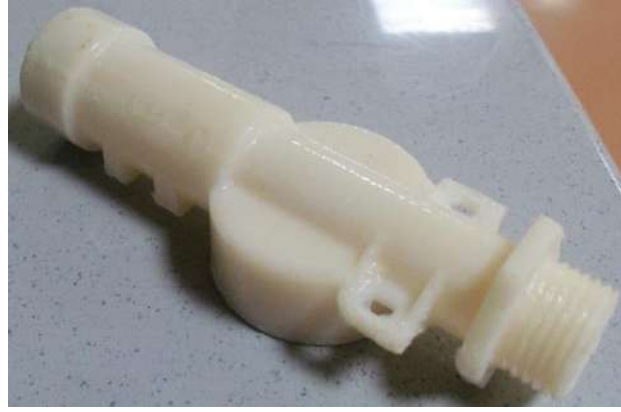
Temel Özellikler	Birim	Değer
Görünüm	-	Berrak Sıvı
Renk	-	Renksiz
Aktif oksijen içeriği	%	9,9
Peroksit içeriği	%	35
Plastikleştirici içeriği	%	>55
Kaynama noktası/aralık	°C	100°C Bozunmalar
Relatif yoğunluk UNI EN ISO 12185-00	d 20/20	1.050
Viskozite 20 °C’ de ISO UNI EN 3104	mPa.s	19

Metil Etil Keton kimyasal prototip parça üzerine uygulandığında parça yüzeyinde plastiği eritmektedir. Yüzeyde eriyen plastik parça yüzeydeki kademeleri doldurarak kademeleri azaltılmaktadır. Bu eritme işlemi sadece yüzeyde olmakta parçada yapısal değişiklik yapmamaktadır. Şekil 6’da gösterile prototip parçaya uygulanan kimyasal işlem ve işlem sonrası yüzeyler Şekil 12’da gösterilmektedir.



Şekil 12. Prototip parçaya kimyasal uygulaması

Şekil 12’da görüldüğü gibi parçanın yüzeyindeki kademeler azalmaktadır. Fakat bu işlem sonrası yüzey parlak olmakta ve parçanın yüzeyinde 0,1-0,3 mm arası kimyasal katman olmaktadır. Buda kimyasal yüzeyin uygulandığı kısımda parça kalınlığı artırmaktadır. Bu miktar uygulanan kimyasal sıvı oranına göre değişmektedir.



Şekil 13. Prototip parçaya daldırma şeklinde kimyasal uygulaması

Şekil 13'de başka prototip parçaya kimyasal sıvıyı derin bir kapa doldurulur ve sonra prototip parça kimyasal sıvıya daldırma şeklin uygulanmıştır. Bu işlem sonrası bütün yüzeyde düzeltmeler yapılması sağlanmıştır.

4.3. Karmaşık Yapıdaki Tasarımlarda Destek Malzemelerin Çıkarılması Oluşan Deformelerin Giderilmesi

Yapılan tasarıma veya kullanılan yere göre parçalar karmaşık geometrik yapıda olabilmektedir. Bu tür parçaların prototip üretimi sırasında parçanın çoğu bölgesinde destek malzemesi ile dolmaktadır. Destek malzemesini el aletleri ile ana parçadan çıkartılması sırasında parça yüzeyine zarar verilebilmektedir. Destek malzemelerini Şekil 14'de gösterilen takımlarla çıkartılmakta, karmaşık geometrideki parçalardan destek malzemesi çıkartılmasında parçanın formuna ve parçanın yüzeylerine zarar verilmektedir (Şekil 8).



Şekil 14. Destek malzemesi çıkarma aleti ve yüzeyde oluşan deformeler

Prototiplerde kullanılan destek malzemeleri genellikle nişastadan elde edilerek yapılmaktadır. Destek malzemeleri genellikle 60 °C sıcaklıkta sıvılarda ergimeye başlamaktadır. Karmaşık geometriye sahip parçalarda el aletleri yerine farklı yöntem uygulanmaktadır. Bu nedenle destek malzemelerinin çıkartılmasında için özel bir teçhizat yapılmıştır. Bu teçhizat paslanmaz çelikten 60 cm x60 cm x 60 cm ölçülerinde bir havuz ve içerisine ısıtıcı rezistans yerleştirilir. İçine konulacak suyun sıcaklığı max. 60 °C olarak sabit tutacak şekilde yapılır. Şekil 15'de yapılmış bir destek malzeme havuzu görülmektedir.

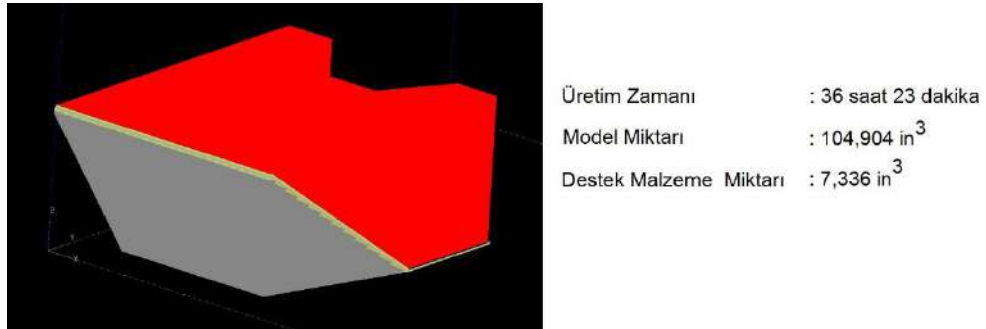


Şekil 15. Destek malzemesi çıkarma havuzu

Havuzun içine konulan su miktarının %10'u kadar suyun içine lavabo açıcı konulur. Lavabo açıcı sayesinde suyun asit oranını artırarak destek malzemesinin eritilmesi hızlandırmasının sağlanmaktadır. Bu oranın fazla olarak yapılmamalı aksi takdirde ana model parçaya zarar verebilmektedir. Bunun dışında suyun sıcaklığı max. 60 °C geçmemeli aksi takdirde ana model parçada çarpılma yapılabilir.

5. Prototip İmalatında Ve İmalat Sonrası Kolaylık Sağlayan Yöntemler

Prototip üretimi yapılmadan önce prototip imalatından sonra bazı yöntemler faydalar sağlamaktadır. Yüzey kalitesi önemli olmayan parçalarda parçanın tabladaki üretim konumu değiştirilerek malzeme ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Şekil 16'de parçanın tabla konumu göre değiştirmeden takım yolu, destek malzemenin yerleşimi ve parça üretim teknik veriler görülmektedir.



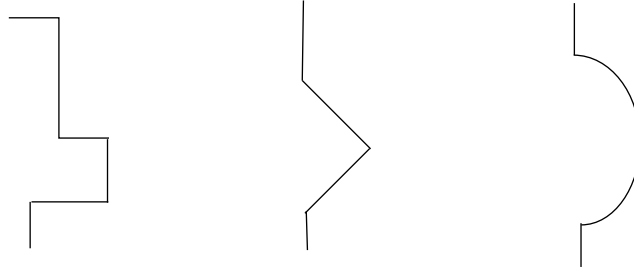
Şekil 16. Destek malzemesi, parça takım yolları ve parça üretim teknik verileri

Eğimli yüzeylerde taban ile 50° bir açıdan sonra parçanın eğimli yüzeyleri destek malzemesi üretimi yapmamaktadır. Prototip üretilecek parça tablaya 50° açıdan büyük konumunda yerleştirildiğinde destek malzemesinden ve zamandan tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Şekil 17'de parçanın konumu değiştirilmiş halde teknik veriler gösterilmektedir.



Şekil 17. Konumu değiştirilmiş parçanın destek malzemesi, parça takım yolları ve parça üretim teknik verileri

Bazı parçalarının boyutları hızlı prototipleme makinasının tabla ölçülerinden büyük olmaktadır. Bu durumda parçalar 2 veya daha fazla parçaya bölünerek prototipi yapılmaktadır. Prototipi yapılan parçaların bıçak gibi düz bir şekilde kesilerek yapılmışsa birbiri ile birleştirilmelerinde zorluklar ve yüzeyde kaçık birleşimler olmaktadır. Bu durumlarda parçalar bölünürken dişi erkek şeklinde veya kademeli şekilde kesilerek prototipi yapılması gerekmektedir. Şekil 18’de kesme şekillerine örnek verilmektedir.



Şekil 18. Örnek parça bölme şekilleri

Şekil 19’da bir bölme işleminin uygulandığı parçanın resmi görülmektedir. Bu parça formlu bölgede zig-zag şeklinde kesilerek üretim yapılmıştır. Yapılan üretimden sonra parçanın yüzey formlarının bir birine tam bir şekilde birleştirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 19. Bölme işlemi yapılmış parça

6. Sonuç

Bu çalışmada FDM teknolojisi üretilen prototip parçalarında meydana gelen hatalarla ele alınmıştır. Bu hatalar feder kısımlarında mukavemet az olması, yüzeyde kademeler ve destek malzemenin çıkartılmasında deformeler gibi sorunlar görülmüştür. Feder kısımlarının mukavemetinin artırılması için feder kalınlığının en az 4 mm olacak şekilde tasarımda değişiklik yapılmıştır. Yüzey kademelerinin giderilmesi için en çok etkili olan parçanın tabla konumunu yerleşimi kademeleri giderilmesini sağlamaktadır. Bazı durumlarda parçanın en uygun konumda olması rağmen yüzeyde kademeler oluşumunda yüzeye uygulanan metil etil keton kimyasal işlem ile kademelerin giderilmesi sağlanmıştır. Destek malzemeleri çıkartılmasında yüzeyde oluşan deformeleri gidermek için 60x60x60cm ölçülerin özel bir teçhizat yapılarak parça yüzeylere zarar vermeden çıkartılması sağlanır. Bunların dışında parçanın konum açısı tabandan 50 derecen fazla olduğunda destek malzemesi örülmemektedir. Hızlı prototip makine tablalarında büyük boyutlarda prototip parçaları üretiminde zig-zag veya dişi-erkek şeklinde kesilerek birleştirilmelerinde yüzeyde formların tutması sağlanmıştır.

Referanslar

1. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M.K., and Duysak, A., Rapid prototyping technologies and application areas, Dpü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 31, sayfa 53-70, Ağustos 2013.
2. Mike Ashby and Kara Johnson: Materials and Design, Elsevier, London, 2002, p:256,257
3. Wohlers, T., "Wohler's report 2009", Wohlers Associates, Inc., (2009).
4. http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi168/d168_3540.pdf
5. Ozugur, B., "Hızlı prototipleme teknikleri ile kompleks yapıdaki parçaların üretilebilirliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).

6. J.E. Blather, "Manufacture of contourreliefmaps", US Patent, #473,901 (1892).
7. Munz, O.J., "Photo-Glyphrecording", US Patent, #2,775,758, (1956).
8. Swainson, W.K., "Method, mediumandapparatusforproducingthree-dimensionalfigureproduct",US Patent #4.041.476 (1977).
9. Ciraud, P.A., "Processanddeviceforthemanufacture of anyobjectsdesiredfromanymelttablematerial", FRG DisclosurePublication, (1972).
10. Housholder, R.F., "Moldingprocess", US Patent #4,247,508, (1981).
11. E. Negis, "A shorthistoryandapplications of 3D printingtechnologies in Turkey", US-TURKEY Workshop On Rapid Technologies, September 24, 23-30, (2009).
12. Drstvensek, B.Valentan, T.Brajlih, T.Strojnuk, H.N. Ihan, "Direct digitalmanufacturing as communicationandimplantationtool in medicine", US-TURKEY Workshop On Rapid Technologies, September 24, 75-81, (2009).
13. LarryGreenemeier ve arkadaşları: Toprinttheimpossible: Will 3-D printingtransformconventionalmanufacturing?,ScientificAmerican, May 2013, 30-33.
14. <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
15. Sun I.,Liu X., "Control Analysis of ProductionandApparentQuality of AutomobileLargePlasticParts" ProcediaEngineering 16 (2011) 438 – 443
16. <http://www.kologlugroup.com/pdf/Peroksitler-Hizlandiricilar/TDS-Poltem-K-60.pdf>

DEVELOPMENT OF NOVEL NANOCOMPOSITE MATERIALS FOR 3D PRINTING

Ebubekir ÇANTI^a, Mustafa AYDIN^{1a}, Ferhat YILDIRIM^b

a. University of Dumlupınar, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 43100, Kütahya, Turkey

b. University of Dumlupınar, Faculty of Simav Technology, Department of Manufacturing Engineering

Corresponding author: mustafa.aydin@dpu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, ikiz-vidalı ekstrüder ile üretilen polimer nano-kompozit malzemelerin karakterizasyonunun yapılması hedeflenmiştir. Üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinin değerlendirmek amacıyla, bu malzemeler kullanılarak 3 boyutlu yazıcı ile test numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler shore-D sertlik, çekme ve 3 nokta eğme deneyleri ile test edilmiştir. Bu testlerin ardından, malzemelerin gösterdikleri mekanik davranışların altında yatan sebepleri incelemek için SEM mikrograf ve EDS çalışmaları yapılmıştır. Sonuçlar, ABS matris malzeme içerisine nano-parçacık takviyesinin çekme testinde UTS değerlerini takviyesiz malzemeye göre en az 13% iyileştirdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Nano-parçacık takviye, eklemeli imalat, 3 Boyutlu yazım, FDM tekniği, SiO₂, MWCNTs.

Abstract

In this study, mechanical properties of polymer nanocomposite feedstock materials, produced by using a twin screw extruder, were characterized. Different testing methods, including shore-D hardness, tensile test, and 3 point bending test, were applied on standard testing samples, which were 3D printed using these composite feedstock materials. Scanning electron microscope (SEM) and Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) characterizations were performed to evaluate intrinsic material structure of the printed samples. Results indicate that addition of nanoparticles into ABS matrix improves average Ultimate tensile strength (UTS) values more than 13% compared to non-reinforced samples which should be regarded as a significant improvement on tensile properties.

Keywords: Nano-particle reinforcement, additive manufacturing, 3D printing, FDM technique, SiO₂, MWCNTs.

1. Introduction

Decreasing cost of 3D printers has increased its accessibility and expanded its applications from research laboratories to industries in the last decade. As a result of this, wide-spread implementation of additive manufacturing (AM) in various fields including medicine and biotechnology, as well as daily home use is expected with explosive future prospect [1].

Additive manufacturing relies on principle which is joining of the materials by different techniques to make objects directly from 3D model data of them. In this point of view, AM differs from conventional manufacturing techniques, which require forming, molding, and cutting instruments, while reducing manufacturing time and cost [2]. Such advantages render AM as an extraordinary manufacturing process.

Fused Deposition Modeling (FDM) is one of the most prominent AM techniques with potential implementation fields in today and near future. Compared to other AM techniques, low cost of the printing devices and broader availability of the stock materials makes FDM technique unique [3]. In FDM process, polymeric materials are generally used as the building material. The process involves extrusion of the melted polymer through the nozzle on a building platform. Even though this approach has some similarities with conventional extrusion process, due to the mobility of the nozzle component in X, Y and Z axes in FDM process make conventional mold using redundant in thermoplastic forming. While this unique property reduces production costs, it also allows customized designs and differs from conventional extrusion processes with standardized design due to the large quantities in this aspect.

There has been significant amount of research effort directed at FDM technique because it allows to manufacturing complex shaped parts and reduce prototyping costs [4]. Properties of the produced parts via FDM are affected many parameters. The efforts have been mainly directed to understanding the influence of manufacturing parameters, including the air gap between adjacent beads, raster orientation and bead width in FDM process. However, material selection stays as a significant parameter [5] which

determines resultant properties of the parts to be manufactured. In FDM process, Acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polycarbonate, and Polylactic acid (PLA) are frequently used as feedstock materials. Nonetheless, inadequate mechanical properties of these materials restrict production of fully functional parts via FDM [6].

Developing advanced materials can address challenges in production of functional components, arising from intrinsic properties of polymeric materials, in FDM based 3D printing. Mechanical properties of polymeric materials produced through addition of other materials as fillers have been investigated in the literature. It has been shown that addition of very low content of nanoparticles into polymer matrix, which is known as nanocomposites, can provide improved mechanical properties [7]. Due to this unique advantage, the nanocomposites polymers hold a great potential to be utilized as a filaments for FDM based 3D printing.

In this study, mechanical properties of polymer nanocomposite feedstock materials, produced by using a twin screw extruder, were characterized. Different testing methods, including shore-D hardness, tensile test, and 3 point bending test, were applied on standard testing samples, which were 3D printed using these composite feedstock materials. SEM and EDS characterizations were performed to evaluate intrinsic material structure of the printed samples.

2. Experimental Studies

2.1. Materials

In this study, SiO_2 and MWCNTs powders were used as reinforcement for the production of ABS nanocomposite feedstocks. The SiO_2 and MWCNTs powders were purchased from Ege Nanotech (Izmir, Türkiye, code EN/N-EA234 and EN/N-KNT14-1, respectively). ABS pellets supplied by Bhansali Engineering Polymers LTD (India) with IM-21 AS code. The powders have different properties, including density, surface area, purity and particle morphology. Material properties of the used nano particles were presented in Table 1.

Table 1. Properties of the reinforcement materials.

Properties	Unit	Reinforcements	
		MWCNTs	SiO_2
Density	gr/cm^3	2,1	2,2-2,6
Surface Area	m^2/gr	40	440
Purity	%	>95	99,90
Morphology		Tube	Spherical
Outer Diameter	nm	< 50	30
Inner Diameter	nm	<5-15	-
Length	μm	10-20	-

2.2. Equipment And Feedstock Preparation

AES Lab-30 (Aysa Machine, Istanbul, Turkey) co-rotating twin screw extruder was utilized to produce ABS nano-composite filaments. In this study, it was aimed to achieve more homogenized distribution of reinforcement material in matrix material by using a twin screw extruder (Figure 1). Weight ratios of the reinforcement materials (SiO_2 , MWCNTs) were 1.5% for each of the compositions. Production steps of the feedstocks were represented in Figure 2.



Figure 1. Twin screw extruder utilized in this study

Feedstock preparation was made in two stages. Firstly, ABS granules and nano powders were mixed via a mixing machine without steel balls through ten minutes. It can be noted that any drying procedure was not performed before the mixing process. In second stage, prepared nanocomposite granules were fed into feeding chamber of the extrusion machine for constant feeding during extrusion process. The extrusion machine has a single exit with 2 mm diameter and production was performed according to parameters given in Table 2. For consistency of the filament within 1.75 ± 0.05 mm diameter, production parameters were set different values. Six heat zones on the extruder barrel were set to temperature 175°C to 220°C . Extruded feedstocks dived in water (19°C) for cooling, subsequently.

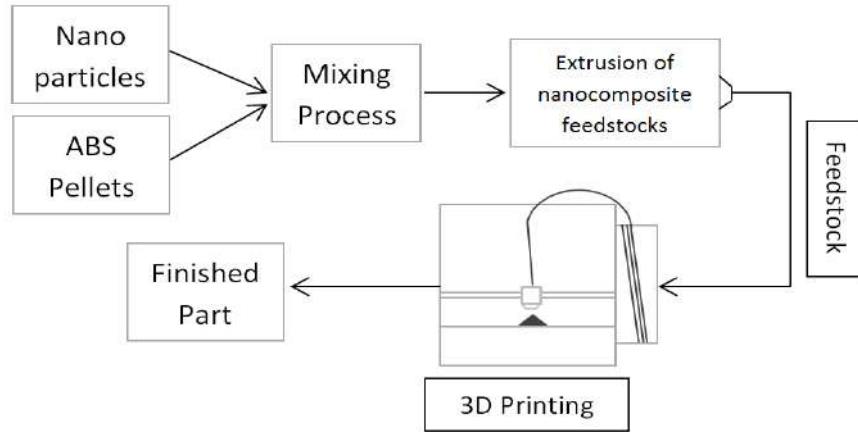


Figure 2. Production steps of feedstocks and samples

Table 2. The production parameters of extruder

Parameters	Value
Feeder Speed	15(rpm)
Main Motor Speed	73(rpm)
Drawn Rotor Speed	50(rpm)
Barrel Temperature	175-220($^{\circ}\text{C}$)

After production of the nanocomposite filament, test samples for tensile testing and bending testing were produced via 3D printer according to the printing parameters was given at Table 3. At least five samples were printed according to related standards for each test. 3D models of the samples were designed using SolidWorks 2016 CAD Software and converted STL format in the same software. GCodes required for 3D printing were generated using Cura 15.04.4 software. A DIY FDM machine (RepRap Prusa Mendel i3) was utilized to produce test samples.

Table 3. 3D printing parameters.

Parameters	Value
Printing Temperature	220 ($^{\circ}\text{C}$)
Bed Temperature	100 ($^{\circ}\text{C}$)
Layer Height	0,15 (mm)
Shell Thickness	1 (mm)
Fill Density	100 (%)
Flow	100 (%)
Print Speed	50 (mm/s)

2.3. Characterization of ABS Nanocomposite Filaments and Printed Samples

The composite filaments were characterized via different methods, tensile test, 3 point bending test, shore-D hardness test, and SEM-EDS. Tensile loading tests were performed with 5 samples which were printed via 3D printer. These samples were then subjected to tensile test using Zwick Roell ZR-100Testing Machine (Zwick, Germany) at room temperature. SEM-EDS studies of the fractured surfaces

of the tested specimens were carried out via FEI Nova Nano SEM 650 (FEI, Oregon, USA) in Advanced Technology Center at Dumlupınar University (ILTEM).

3. Results And Discussions

3.1. Produced Filaments And Test Samples

For evaluation of the mechanical behavior (tensile test, three point bending test) of the produced composite feedstocks, test samples were printed via 3D printer. One of the test samples of the each batch of production was depicted in Figure 3. In 3D printer market, FDM devices generally came with a nozzle which of tip diameter was 0.4 mm. During the production of the test samples, it was observed that reinforcement particles in the feedstock conglomerated on the tip of the nozzle by time passing. Thus, a nozzle contains only a single exit with 1 mm diameter was designed, produced and employed for averting conglomeration of the reinforcement material on the nozzle tip during 3D printing process. All productions conducted in room temperature according to parameters were given at Table 3.



Figure 3. a) Produced filaments, b) Tensile test samples, c) Bending test samples for MWCNT, SiO₂, ABS.

3.2. Shore-D Hardness Of The 3d Printed Samples

Hardness tests were conducted via Tronic Model PD-801 Analog Shore meter D (Teskon, Turkey). At least ten measurements were taken on each sample with varying locations on them. However, there were not observed drastic changes of hardness of the materials (Figure 4). It was thought that interaction between matrix material and reinforcement material did not affect the chemical structure of the base material. This physical interaction might be responsible for changing of the tensile and bending behavior of the materials. But, as results indicate, same phenomenon has not considerable effect on hardness of the material.

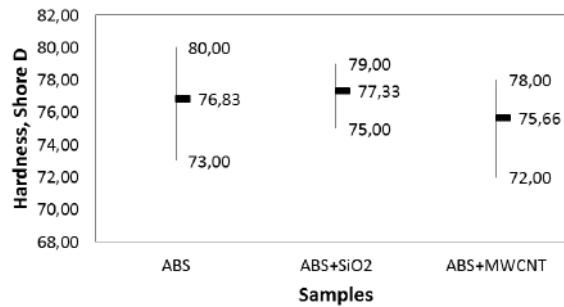


Figure 4. Hardness of the 3D printed samples.

3.3. Point Bending Test

For 3 point bending test, 5 samples of each composition, which were depicted in Figure 3, had been prepared according to parameters in Table 3. Tests were conducted according ASTM-D790 standard. Average flexural tensile strengths of the specimens were shown in Figure 5(a). In Figure 5(b), average deflections of the samples were shown respect to minimum and maximum values. Average flexural strength decrease 7% (from 87,95 MPa to 81,75 MPa) with addition of the MWCNTs in ABS matrix, respect to neat ABS. However, addition of SiO₂ into the ABS matrix increase average flexural strength with 3.5% (from 87,95 to 90,98). Addition of MWCNT to plastic matrix was resulted with poor deflection capability prior to failure.

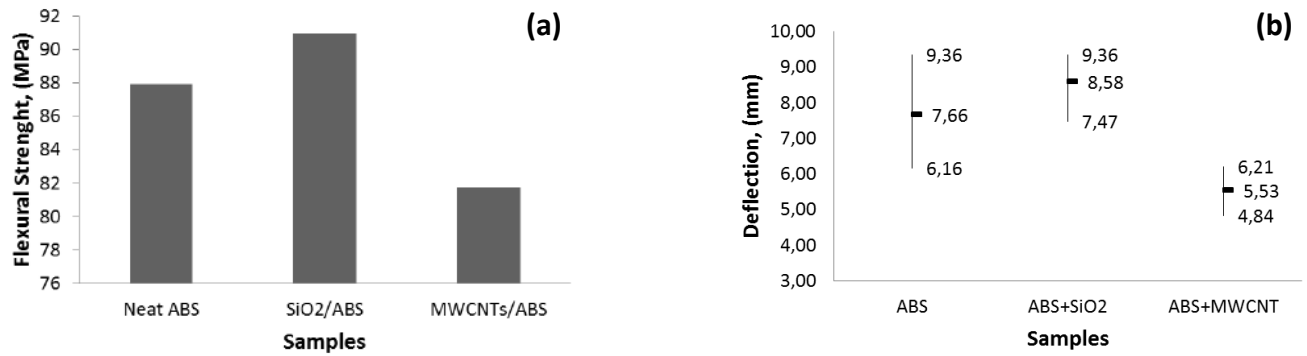


Figure 5. a) Flexural strength, b) Deflection, at bending test of the 3D printed samples.

3.4. Tensile Test

For tensile test, printed dog shaped samples were tested using Zwick Roell ZR-100. At least five samples had been prepared for testing of the each composition. Tests were conducted according to DIN EN-ISO 527-2 standard. All samples were tested on 2 MPa pre-loading and stretched at 1mm/min constant speed. Stress-strain graph of the samples was depicted in Figure 6(a). In Figure 6(b), average values of the Ultimate Tensile Strength (UTS) and elongation at break values of the samples were showed respect to minimum and maximum values. The sample which contains no reinforcement material showed an average 28.90 MPa tensile strength and 3.13% elongation at break value. The MWCNTs/ABS composite showed an average tensile strength of 33.09 MPa and average strain of 5.51%. Also, tensile strength increased to average 32.75 MPa for SiO₂/ABS composite while strain increased to 3.56% value respect to non-reinforced ABS sample. As results indicate, addition of nanoparticles into ABS matrix improves average UTS values at 13.5% (28.90MPa to 32.75 MPa) and at 14.5% (28.90 MPa to 33.09 MPa) for the samples reinforced with SiO₂ and MWCNTs particles, respect to non-reinforced samples, respectively. Also there was notable increase in strain values for nanocomposite samples compared with non-reinforced sample. Addition of SiO₂ into ABS matrix increase average strain value of the material at 14%. Moreover, average strain result was more significant for the sample reinforced with MWCNTs, the increase at 76% was observed respect to neat ABS.

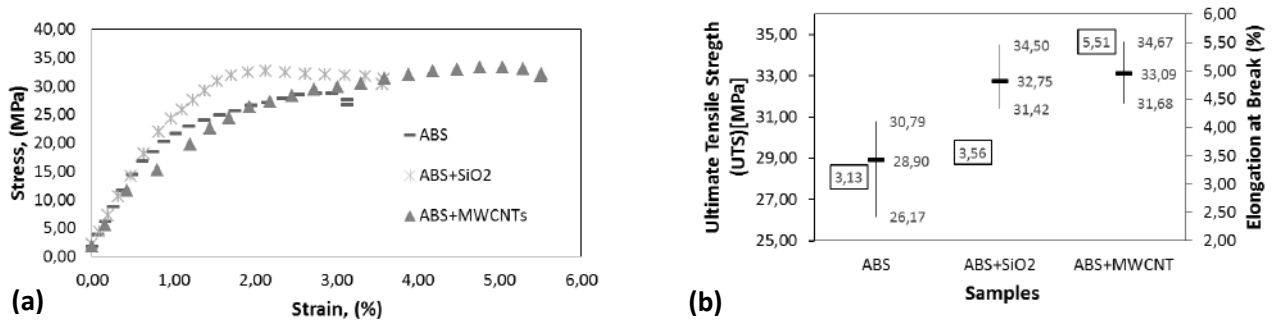


Figure 6. a) Average stress-strain curve, b) UTS and elongation at break, values of the 3D printed samples.

It is obvious that addition of nano-reinforcement in ABS matrix positively affects tensile properties. It was not only resulted with improved average UTS values, but also average strain values increased for each of the reinforced samples.

3.5. EDS And Sem Micrograph Studies Of The Test Samples

To validate reinforcement addition in the ABS matrix, EDS study was conveyed on fractured surfaces of the tested specimens in Figure 7. Before the study, the fractured surfaces coated with platinum. EDS study on local area of the samples reveals that, adequate dispersion of the reinforcement in the matrix was provided.

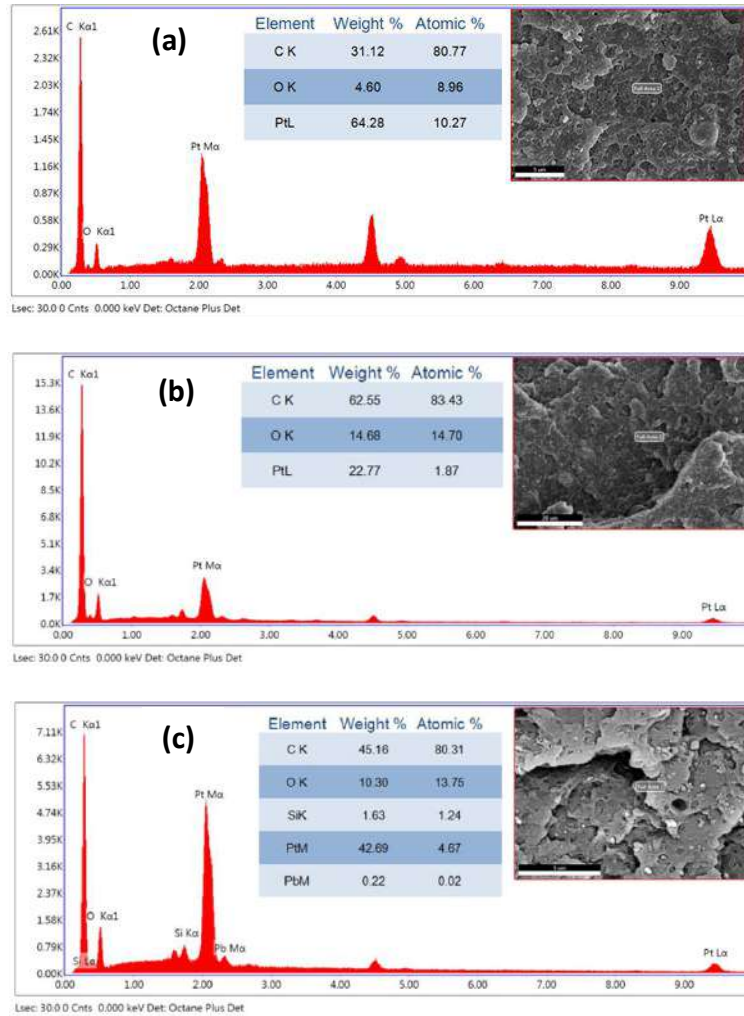


Figure 7. EDS studies of the produced samples a) neat-ABS, b) MWCNTs/ABS, and c) SiO₂/ABS.

In Figure 8(a), it can be seen that there were porosity on the fractured surface. These void formations were not a result of the production parameters. As mentioned earlier, ABS granules were not dried before extrusion process and it thought to be that this was the cause of void formation. Due to the not being dried of the ABS granules before the extrusion process, moisture in the granules evaporated during extrusion and caused internal voids in feedstocks. It was thought that, the reason of the porosity on the fractured surface was employing these filaments in production of the test samples. Fracture surface examination was resulted with no finding that indicates ductile fracture on the same surface (Figure 8d).

As depicted Figure 8(b), porosity on the fractured surface of the sample MWCNTs/ABS composite were more notable than the one belongs non-reinforced ABS sample. However, in Figure 8(e), the area located inside the triangular shape, which was formed by agglomerating of MWCNTs on corners, indicated ductile fracture mode. Also, the light color area of the same image resembled high energy surface which also indicates ductile fracture. It was thought that this behavior was a result of the interaction between polymer matrix and tangled MWCNTs. Tube like formation of MWCNTs and high surface area of the agglomerated particles leads the stronger bonding between ABS matrix and reinforcement powders. Also, tensile test of the samples showed good agreement with this finding.

In Figure 8(c), fractured surface of the sample reinforced with SiO₂ was depicted. One can be noted that the porosity was the highest respect to ABS sample with non-reinforcement and reinforced with MWCNTs for this sample. However, fracture surface examination reveals some formation indicates ductile fracture mode. However, these indicators were not obvious opposed to MWCNTs/ABS composite (Figure 8f). Tensile test result which belong the same composite sample shows a more ductile behavior respect to non-reinforced composition with 3.56% and 3.13% values, respectively. Despite all the porosity in SiO₂/ABS composite sample, tensile strength improved respect to neat-ABS.

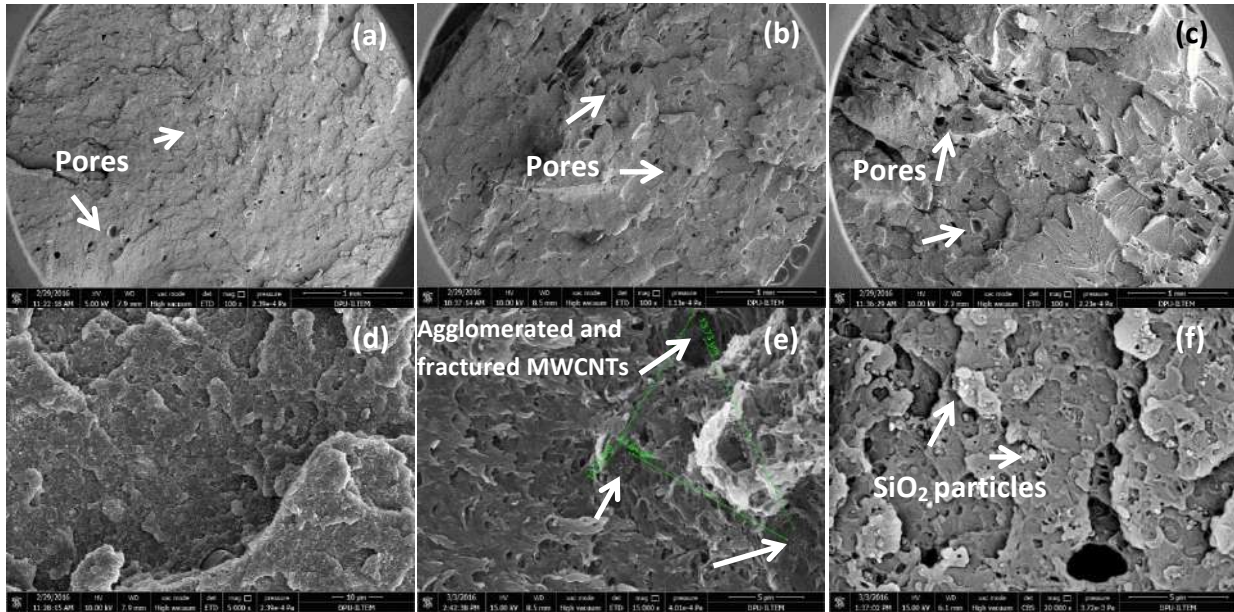


Figure 8. SEM images of fracture surfaces, a) Neat ABS with x100 magnification, b) MWCNTs/ABS x100, c) SiO₂/ABS x100, d) Neat ABS x5000, e) MWCNT/ABS x15000, f) SiO₂/ABS x20000

4. Conclusions

In this study; neat ABS, MWCNT/ABS and, SiO₂/ABS filaments were produced by extrusion process and were employed in DIY FDM machine, successfully. With EDS study, validating of the dispersion of the reinforcement was provided. Moreover, colors of the produced feedstocks were homogenous and there were not observed drastic color changes by visual examination. Produced test samples showed that addition of nanoparticle in the ABS matrix did not change printability of the filaments. However, for the MWCNTs/ABS composite filament, it was observed the conglomeration of the particles on the tip of the nozzle with 0.4 mm exit. Thus, a nozzle with 1 mm exit was utilized to prevent agglomeration. Similarly, Dawoud et al. [8], employed a nozzle with 1mm exit in their study. According to experiments, addition of MWCNTs in polymer matrix was resulted with improved tensile strength and tensile strain value while flexural strength and deflection capability reduced respect to neat-ABS. In this point, it can be thought that, improved tensile strength of the material was related with morphology of the MWCNTs, which were oriented along fused direction which was angled with 45° to tensile direction. MWCNTs were carried load along with their longitudinal section and this phenomenon resulted with improved strength. As opposed to tensile test, MWCNTs/ABS composite show decreased value in bending test. In bending test, another mechanism also take place as compression and it thought to be this mechanism affecting bending behavior of the sample. Addition of the SiO₂ was resulted with improved tensile strength and tensile strain. Also, flexural strength of the material was slightly higher than the neat one.

Notable porosity was observed fractured surfaces of the nanocomposite samples. However, both of the composite samples showed higher tensile behavior respect to non-reinforced one. Also, addition of the nanoparticles in the polymer matrix was resulted with more ductile behavior according to non-reinforced one, in aspect of tensile test.

One of the most challenging situations of adding nanoparticles in ABS matrix was agglomeration of the particles in ABS matrix. It must be noted that, in this study, there was not used any chemical agent to improve dispersion of the nanoparticles in the plastic matrix. Also, virgin ABS pellets were not dried before the extrusion process of the feedstock material. It was thought that void formation on the fractured surfaces of samples was occurred because of this not-drying process.

This study shows that nanocomposite ABS materials provide improved mechanical properties and may have a potential to overcome the limitations of FDM process which required for load bearing applications. For achieving full potential of the nanocomposite ABS feedstock, for future studies, it must be noted that a surface agent should be used to improve interaction between reinforcement material and the matrix. Also, applying a drying process before extrusion of the feedstocks may eliminate void formation and thus resulted with superior properties in aspect of both feedstocks and 3D printed sample.

References

1. Stansbury, Jeffrey W., and Mike J. Idacavage, 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities, vol. 32, no.1, pp. 54-64, 2016
2. Baumann, Martin, et al. ,The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push, Technological Forecasting and Social Change, vol.102, pp.193-201, 2016.
3. Singamneni, Sarat, et al., Modeling and evaluation of curved layer fused deposition., Journal of Materials Processing Technology, vol.212, no.1, pp.27-35, 2012.
4. Gao, Wei, et al., The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering, Computer-Aided Design, vol.69, pp.65-89, 2015.
5. Casavola, Caterina, et al., Orthotropic mechanical properties of fused deposition modelling parts described by classical laminate theory., Materials & Design, vol.90, pp.453-458, 2016.
6. Shofner, M. L., et al., Nanofiber-reinforced polymers prepared by fused deposition modeling., Journal of applied polymer science, vol.89, no.11, pp.3081-3090, 2013.
7. Zare, Yasser., Study on interfacial properties in polymer blend ternary nanocomposites: Role of nano filler content., Computational Materials Science, vol.111, pp.334-338, 2016.
8. Dawoud, Michael, Iman Taha, and Samy J. Ebeid., Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques., Journal of Manufacturing Processes, vol.21, pp.39-45, 2016.

3 BOYUTLU YAZICILAR VE GELECEĞİN MİMARLIK TEKNOLOJİSİ

F. Elif TANDIRCIÖĞLU^a Yrd. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK^b

^a, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara/TÜRKİYE eliftandircioglu@gmail.com
^b, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara/TÜRKİYE semraarslanselcuk@gmail.com

Özet

Günümüzde tasarım ve üretim süreçlerinin bilgisayar ortamda gerçekleştirilebiliyor olmasının form, strüktür ve malzeme kullanımında yarattığı potansiyelleri/dönüşümleri bilmek 21. yy tasarımcısı için yeni açılımlar sağlamaktadır. Tasarımın ayrılmaz bir parçası olan sayısal modeller sayesinde tasarıma dair her aşama kontrol altında tutulabilmekte ve üretim de bu modeller sayesinde yapılabilmektedir. 3 boyutlu(3B) yazıcıların yaygınlaşması ile mimarlık alanında da önemli değişimler/dönüşümler yaşanmaktadır. Bunların en önemlisi kuşkusuz ki "test modellerinin (*mock-up*) sonuç ürün olabileme potansiyeli" ile mimarlığın inşa etme eylemlerinde tanık olduğumuz değişimdir. Bu makalede son dönem mimarlık ürünleri arasında 3B yazıcıların kullanımıyla paralel gerçekleşen paradigmatik değişimin öncüleri olarak literatüre girmiş olan yapılar ve yapım teknikleri üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hesaplamalı tasarım, 3B yazıcı, Mimari tasarım, Yeni nesil strüktürler.

3D PRINTERS AND THE FUTURE OF ARCHITECTURAL TECHNOLOGY

Abstract

Today, being aware of potentials/transformations of computational design and manufacturing process and their effect on form structure and material usage provide 21st century's designers with new horizons. Through computational models, which are the inseparable part of a design any more, not only all stages of design can be controlled but also manufacturing can be achieved. While 3D printers are becoming spread a drastic change transformation is also experienced in the field of architecture. "The potential of using mock-ups as the end product" is one of the most important changes that we encounter in the field of construction of architecture. From this context, this paper discusses and evaluates the paradigmatic changes in architecture through the pioneering examples recently printed.

Keywords: Computational design, 3D printer, Architectural design, Next generation structures.

1. GİRİŞ

Kimya ve fizik bilimlerindeki gelişmeler 19. ve 20.yüzyıla damgasını vurarak pek çok teknolojik gelişimin önünü açmıştır. Bu yüzyılda ise sayısal teknolojiler sayesinde yaşanan gelişmelerin, insanlığın çevresine bakışında ve yaşam tarzında köklüdeğişiklikler yapabilecek potansiyele sahip olduğumuz görülmektedir. Endüstriyel devrimden bu yana bilim ve teknolojide etkili (*drastic*) değişimler yaşanmış ve bu değişimlerle birlikte yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Pek çok alanda olduğu gibi mimarlık alanında da genetik bilimi, iletişim teknolojisi, nano-teknoloji, uzay bilimleri, dört boyutlu geometri ve fraktallar, kompleks spolihidralar, yapay zekâ, kompozit ve akıllı malzemeler, katlanabilir ve taşınabilir strüktürler gibi teknolojik gelişmelerin yarattığı etkinin; hepsinin bir sentezi olarak karşımıza çıkansayısal tasarım ve üretim teknolojileri kadar çarpıcı bir etki olduğunu söylemek mümkün görünmemektedir.

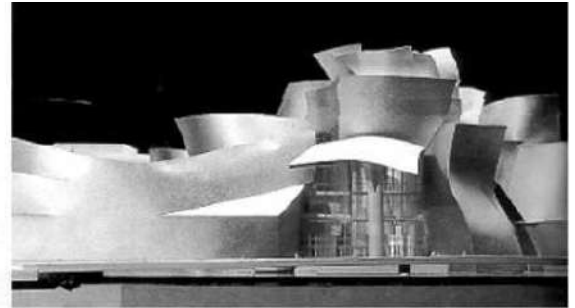
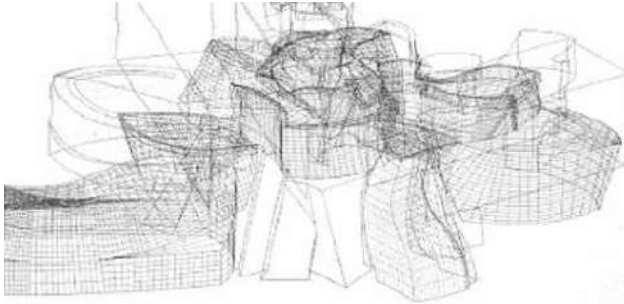
2. Mimarlıkta Sayısal Tasarım

Sayısal bilgi işleme çalışmaları, ilk olarak 1950'li yıllarda Amerika'daki askeri kurumlar ve üniversitelerde başlamış ve mimari tasarım araçları açısından en belirgin gelişme Ivan Sutherland'ın 1960'da günümüz bilgisayar destekli çizim programlarının atası olan *Sketchpad* [1] projesini geliştirmesi olmuştur. 1970'li yıllarda kişisel bilgisayarların yaygınlaşması ve CAD sistemlerinin gelişmesi arz-talep dengelerini şekillendirmeye başlamıştır. Mühendislik alanında kullanılan bilgisayar destekli çizim (CAD) sistemleri *General Motors*, *IBM*, *Lockheed*, *McDonnell Douglas* gibi endüstriyel kuruluşlar tarafından şekillendirilip geliştirilirken [2], mimari amaçlı CAD yazılımları üniversite merkezli olarak ilerlemiştir. Carnegie Mellon Üniversitesinde bir araştırma grubu bina tanımlama ve planlama sistemleri üzerine çalışırken, *Massachusetts Institute of Technology*'de (MIT) yapay zekâ merkezli araştırmalar benimsenerek

mimari sistemler geliştirmişlerdir [3].1980'li yıllarda yazılım ve donanım alanında birçok gelişme yaşanmış, bilgisayar boyutlarının küçülmesi, maliyetlerin azalması ile mimarlık ofislerinden taleplerin gelmesi de bu gelişmeleri hızlandırmıştır. Bu bağlamda kişisel bilgisayarlar için ilk CAD yazılımları *Machintosh* için üretilmiş olan *MacDraft*, *MacDraw*, *Dreams*, *MiniCAD* ve *PowerDraw* gibi yazılımlardır. *IBM* firmasının *IBM PC* adıyla çıkardığı kişisel bilgisayarlar ile daha gelişmiş CAD sistemleri geliştirilmiştir [4]. 1990'lı yıllarda artık CAD sistemleri yaygın biçimde kullanılmaya başlanmış, karmaşık geometrileri destekleyen ve üç boyutlu modelleme yapabilmeyi mümkün kılan programlar piyasaya sürülmüştür. Artık mimarlar, erişilebilir teknolojiler, güçlenen işlemci ve donanımlar ve gelişen yazılımlar sayesinde, hem iki boyutlu çizim, hem de üç boyutlu fotogerçekçi görselleştirme imkânı ile tasarımlarını sunma imkânına sahiptirler. 2000'lere gelindiğinde artık tüm bilim dallarında dijital çağ olarak da tanımlanan bir dönem başlamıştır. Çizim ve modelleme ile ilgili bütün bu gelişmelerin devam etmesinin yanında *CATIA* tabanlı *Digital Project* ve *BentleySystemsGenerative Components* gibi tasarım yazılımları soyut ilişkisel verilerin girilerek, modelleme işini bilgisayarların yaptığı parametrik tasarımların, üretken sistemlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Sayısal alanda yaşanan tüm bu gelişmeler yapı pratiğindeki geleneksel inşaat eylemini de etkilemiş ve tasarımcıyı artık kolaylıkla tasarlayabildiği karmaşık biçimleri üretebileceği yeni teknikleri ve malzemeleri araştırması/deneyimlemesine zorlamıştır.

3. Mimarlıkta Sayısal Üretim

Sayısal teknolojilerdeki gelişmeler, mimari tasarım aşamasında ve tasarımın en iyi hale getirilmesi sürecinde performansa dayalı analiz ve simülasyon ortamı sağlamakla birlikte; uygulama aşamasında da bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojileri sayesinde üretimin daha hassas, hızlı ve ucuz yapılabilmesinin önünü açmıştır. Sayısal evrimin kaçınılmaz sonucu olarak tanımlamayabileceğimiz dosyadan fabrikaya (file to factory) anlayışının öncül örneği kuşkusuz ki Frank Gehry'nin Guggenheim Bilbao Müzesidir (Şekil 1). Sorğuç (2010) bilgi teknolojilerinin ve mühendislik alanında tasarım ve üretimin yaygın olarak kullandığı araçların ilk kez Gehry'ninkompleks tasarımının biçim arayışlarına, yapının "imalatına/üretimine" destek olması, karmaşık biçimlerin, titanyum, cam ve taş gibi malzemelerin sıra dışı bir araya gelmesi ve yapı elemanlarının özelleşmiş seri üretimle üretilmesi mimarlıkta CAD/CAM kullanımı için bir dönüm noktası olduğunu söylemektedir [5].



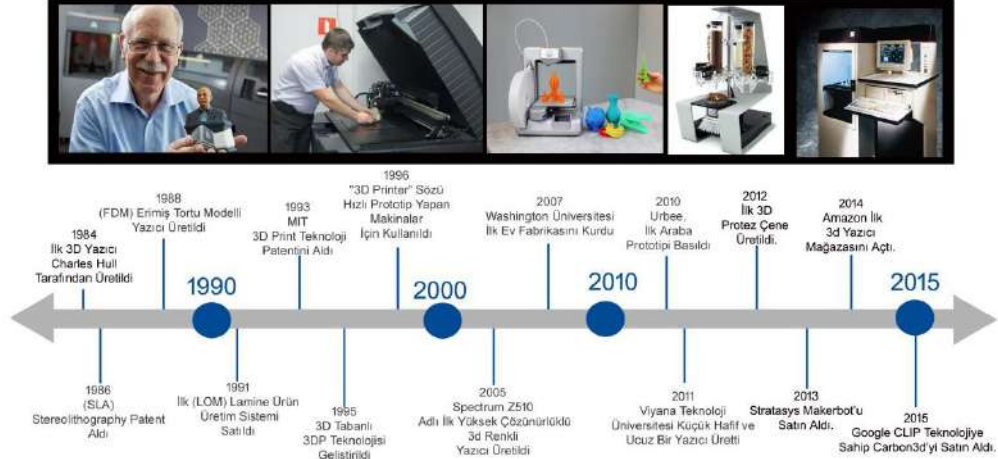
Şekil1. Guggenheim Müzesi, Bilbao, Frank Gehry[6]

Sayısal üretim teknikleri ile karmaşık geometrilerin hatasız biçimde üretilmesi ve yeni nesil malzemelerin mimarların kullanımına sunulması sonucunda mimarlık paradigmasında çok çeşitli tektonikler ortaya çıkmıştır. Genel olarak iki boyutlu üretim (CNC kesim işlemleri), çıkarma işlemine dayalı üretim (katı objelerin frezelenmesi), biçimlendirmeye dayalı üretim ve ekleme işlemine dayalı üretim (katmanlı üretim/ serbest biçimli katı obje üretimi/ hızlı prototipleme) [6] olarak sınıflandırılabilir. Bu sistemler her geçen gün gelişmekte ve disiplinler arası çalışma ortamlarını ve araştırma alanlarını tetiklemektedir. Bu teknolojilerin yanı sıra mimarlara hassas üretim olanağı sağlayan, geleceğin mimarisini biçimlendirme potansiyeline sahip olan 3 Boyutlu (3D) yazıcılar bu bildirinin konusunu oluşturmaktadır. "Kitlesel bireyselleştirme" [7] yaklaşımı ile öncelikle otomobil ve uçak endüstrisinde kullanılan bu teknolojiler her türlü mimari bileşenin üretilmesine olanak sağladığı için mimarlık gündeminde olan yaklaşımlardır.

3.1. 3 Boyutlu Yazıcılar

3Dyazıcıların tarihsel gelişimine bakıldığında ilk olarak 1984 yılında Charles Hull tarafından üretilmiş olduğu görülür [8]. CAD sistemlerinin yaygın biçimde kullanılmaya başlaması teknolojisindeki gelişmeleri de ivmelendirerek arttırmış ve baş döndürücü bir hızla çeşitlendirmiştir. 1988 yılında SLA-250, *SelectiveLaserSintering* (SLS) ve *FusedDepositionModelling*(FDM) teknolojileri keşfedilmiştir [9]. 1993

yılında MIT'de iki boyutlu yazıcılarda kullanılan inkjet teknolojisinden yola çıkarak yeni bir teknoloji geliştirilmiş ve buna *3 Dimensional Printing* (3DP) ismi verilmiştir [10]. 1995 yılında üç boyutlu yazıcıların satışı yapılmaya başlanmış, 1996 yılında *ZCorporation* yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten ilk üç boyutlu yazıcıyı tasarlamıştır [11]. 2009 yılında *Reprap* [12] adıyla ilk açık kaynak (*opensource*) kodlu yazıcılar piyasaya çıkmış, bu gelişme üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşma hızını arttırmıştır. 2008 yılında *Object Geometries* Şirketi, *Connex500* [13] ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün üretebilmiş, 2009 yılından itibaren ise *Makerbot* ve *3D Systems*'in geliştirmiş olduğu *Cubify* gibi modeller sayesinde ev tipi üç boyutlu yazıcıların satışları artmaya ve kullanımı yaygınlaşarak gündelik hayata girmeye başlamıştır [13].



Şekil2. 3D yazıcıların gelişimini gösteren çizelge (yazarlar tarafından hazırlanmıştır)

Şekil 2'de çizelgede görüldüğü gibi yaklaşık 30 yıla sığdırılabilecek bu ilerlemelerin sonunda bilgisayarda hesaplanabilen her şeyi üretebilmek mümkün hale gelmiştir. Artık "Bu form yapılabilir mi?" değil, "Bu formu üretecek dijital araçlar nelerdir?" sorusu teknolojiadaki gelişimin yönünü belirlemektedir. Bu sürecin en önemli enstrümanı olan 3D yazıcılar artık yüksek detaya sahip objeleri, en yüksek kalitede üretebilecek seviyeye gelmişlerdir. Tüm bu özelliklerinden dolayı tüm tasarımcılar için olduğu gibi mimarlar için de paradigmatik bir değişimin ipuçları bildirinin bundan sonraki bölümlerinde incelenen örnekler ile aranmıştır.

3.2. Yapı Üretiminde 3 Boyutlu Yazıcılarla Birlikte Paradigmalar

Aktaş, genel olarak tasarım sürecinin, tasarımın, tasarım fikrinin oluşup geliştiği kavramsal aşama ve bu fikrin detaylandırılıp son ürüne dönüştürüldüğü gelişim aşaması olmak üzere iki farklı aşamada evrildiğini iddia etmektedir [14]. 3Byazıcıların mimarlıkta kullanımları öncelikle kavramsal aşamanın farklı ölçeklerdeki modellerinin üretimi ile başlamıştır. Ancak sonuç ürünlerde görünüm hassasiyeti (*precision*) ve ekrandan üretime olan doğrudan ve herhangi bir başka süreç yada eylemi gerektirmeyen (*seamless*) bu aktarım yazıcıların büyüklüklerinin ve kullanılan malzeme portföyünün çeşitlenmesi ile mimarları daha büyük ölçekteki yapılarda kullanmaya yöneltmiştir [15]. Bu bağlamda ön modelin son ürün olabildiği, sayısal tasarım/üretim teknolojileri ile bu teknolojilere özgü malzemenin de tasarımda nasıl yer alabileceği görülmeye başlanmıştır.

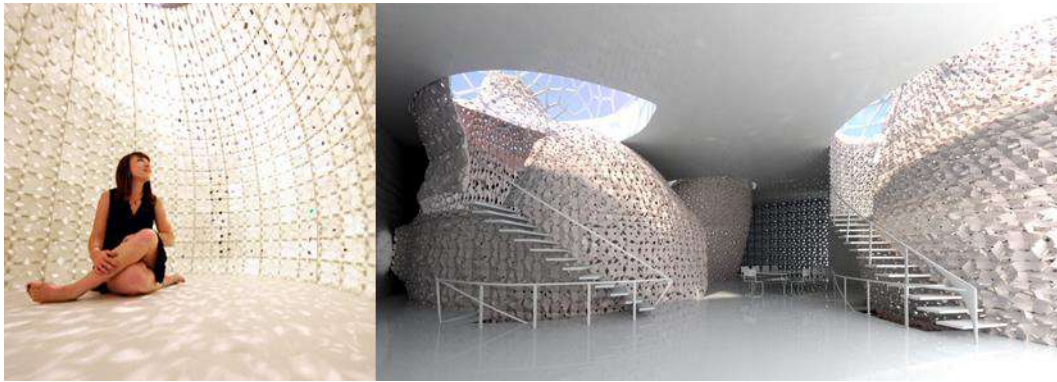
Mimarlık alanında geçiş aşamasındaki 3Byazıcı kullanımı kuşkusuz ki geleneksel yöntemlerle iç içe geçmiştir. 2013 yılında JinHai Lake Resort için Pekin'de üretilmek üzere tasarlanan "3D Printed House 1.0" projesi için de hibrit bir yapım tekniği önerilmiştir (Şekil 3). Yapımında birden fazla endüstriyel düzeyde 3B yazıcı kullanılmış ve bunlarla binanın tuğla ve sıva-fayans gibi küçük parçaları üretilmiştir. Üretilen materyaller; atıklardan, yenilenebilir enerji kaynaklarına kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır. Bu şirket, hem yenilikçi hem de yenilenebilir ve üretimde kullanılacak parçaları üretmektedir. Mesela çimento ve tuz polimerinin bir arada kullanımıyla "saltygloo" (Şekil 4) adı verilen kabuklar üretilmiştir [16]. Bir çeşit yapıştırıcı ile güçlü, sert, hafif, yarı saydam, ucuz, su geçirimsiz bir yapı elde edilmiştir. Kullanılan tuz, kristalleştirme göletinden çıkarılmıştır. Yani bu teknoloji yerel ve doğal malzemelerin hatta geri dönüştürülebilir tüm malzemelerin kullanımını da desteklemektedir.

Bu bina geniş odaların damar şeklinde hem de dışarıda bulunan insanlara karşı bir mahremiyet sağlamaktadır. Binadaki malzemelerin hepsi patentli olup, çimento/tuz polimer ve fiber betondan üretilmiştir. Çok hafif bir malzeme olmasına rağmen, geleneksel çimentodan daha güçlü olan yapısı, kumlanmış parlak ve saten bitişli görüntüsüyle ilham vericidir (Şekil 5). Binanın tahmini yapım süresinin 1 yıldan az olacağı

öngörülmektedir. Bu da hızlı ev inşasında 3B yazıcı teknolojisinin artarak kullanılacağını göstergelerindendir.



Şekil 3.3D Printed House perspektif, plan ve kesit1.0 [17]

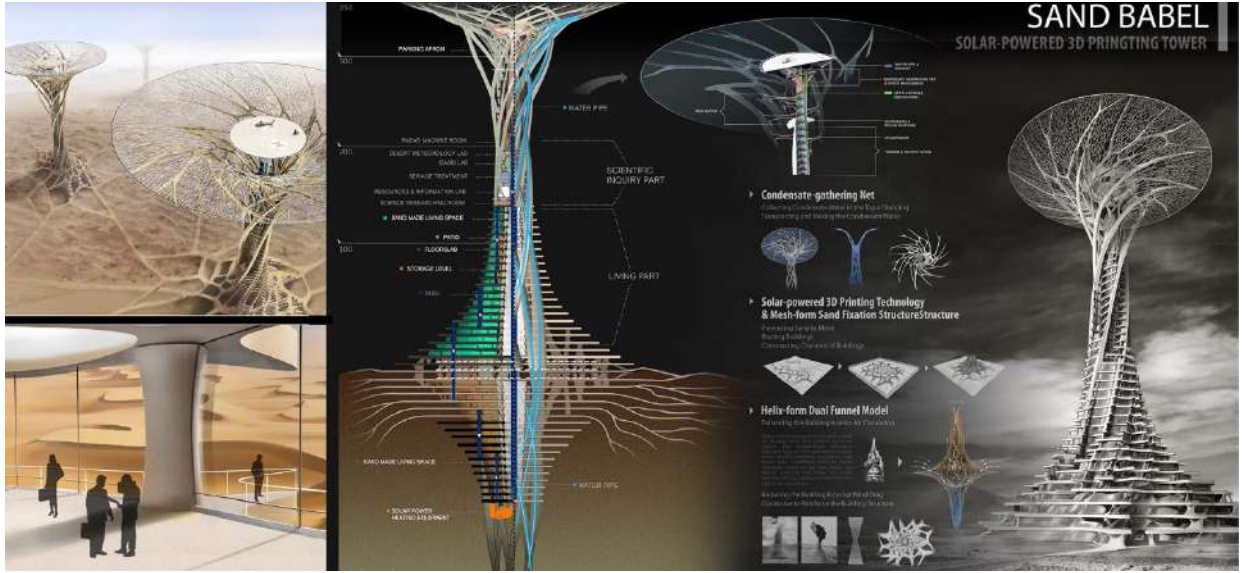


Şekil 4.3D Printed House 1.0 için üretilmiş bir "saltygloo" ve iç mekân perspektifi [17]



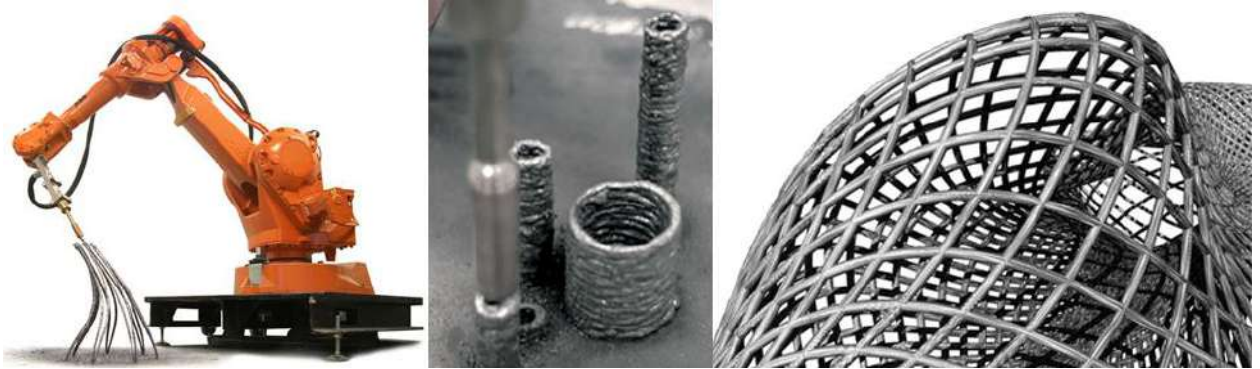
Şekil 5. 3D Printed House 1.0 için üretilmiş transparan iç ve dış duvar prototipleri [17]

2014 yılında yapılan 9. eVolo Gökdelen Yarışmasında onur ödülü kazanan Babil Kum Kuleleri (TheSandBabelTowers) güneş enerjisi ile çalışan bir 3B kum yazıcısı ile üretilecektir. Kuleler iki ana bölüm halinde inşa edilecek ve insanların yaşadığı ve çalıştığı ilk bölüm zemin üzerinde olacaktır. Bu bölümün tasarımında bir doğa olayı olan hortum ve mantar kayaları taklit edilmiştir (Şekil 6). Çöl ikliminin ısı farkları bir avantajadönüştürmek amacıyla, yukarıdaki suyun yoğunlaşmasına izin veren ve böylelikle çapraz havalandırmaya yol açan çift cidarlı bir strüktür tasarlanmıştır. Dış strüktür gerilme direnciyle çalışan spiral iskelet sisteminden oluşmaktadır [18]. Geleneksel yöntemlerle tasarımı ve üretimi mümkün olmayan bu proje mimarlık dünyasında 3B yazıcı teknolojisi ile neler hedeflendiğinin açık bir göstergesidir. Pek tabii ki bu teknoloji gökdelen inşasında kullanılmadan önce, ölçeklendirilmesi ve özellikli testler altında sınanması gereklidir ki bu zamanlar hiç de uzak değil.



Şekil 6. Babil Kum Kuleleri [19]

Mx3D firmasının aynı adlı robotik kolu, diğer katmanlı baskı teknolojilerinden farklı olarak tıpkı kaynak makinası gibi metali eriterek üretim yapmaktadır [20]. Bu tarz baskı yönteminde metal baskı ucunun her yöne ve her açıya göre hareket etmesi yatay, dikey ve dairesel elemanlar üretimine olarak sağlamakta ve kendi kendini taşıyan strüktürler kurmayı mümkün kılmaktadır. Bu teknikle paslanmaz çelik, alüminyum, bronz ve bakır gibi metaller geleneksel yöntemlerden çok farklı bir biçimde yapı dünyasına girmeye hazırlanmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Erimiş metali bir kaynak makinası gibi kullanan 6 akslı robot yazıcı [20]

Firmanın 2017 yılında Amsterdam'da, bir kanal üzerinde inşa edeceğini duyurduğu üstgeçit projesi (Şekil 8), geniş bir açıklığın başka hiç bir konstrüksiyona gerek duymadan hızlı ve ekonomik olarak nasıl üretilbileceği sorusunu gündeme getirmiş ve mimarlık camiasında geniş yankı uyandırmıştır.



Şekil 8. Mx3D firmasının Amsterdam'da inşa edeceği köprü [21]

NASA'nın 2015 yılında dünya dışı malzemelerle ve 3Byazıcıları kullanarak, "yeni" habitatlar geliştirmek amacıyla açtığı yarışmada (3D Printed Habitat Challenge)[22] (Şekil 9) insanın en önemli ve temel ihtiyacının "hâlâ" barınak olduğunu vurgulamaktadır. Başka bir gezegende yeni yaşam alanı inşa etme gayretindeki tasarımcılar için "sürdürülebilir" konut çözümleri, malzeme ve inşaat teknolojilerini geliştirme sürecinde 3D yazıcıların esin verici olması hiçte şaşırtıcı değildir [15].



Şekil 9. 3D Printed Habitat Challenge Yarışmasında ilk 3 ödülü alan projeler [23]

4. Sonuç ve Değerlendirmeler

Süregelen mimarlık pratiğinde mimarlar inşa edebildiklerini çizmekte ve çizebildiklerini de inşa etmekteydiler. Ancak artık sayısal üretim yöntemleri ve özellikle de yazıcılar sayesinde üç boyutlu uzayda tasarladıkları her şeyi görünür hale getirebilmektedirler. Sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin bütünleşik olarak kullanımında öncü isim olarak literatüre geçmiş olan Frank Gehry'nin Bilbao'sından bugüne çok uzun zaman geçmemiş olsa da yapı üretimi paradigmasında keskin değişimlerin habercisi olan teknolojileri beraberinde sürüklemiştir. Dosyadan fabrikaya olarak adlandırılan üretim biçimi, devrim yaratarak tasarımdan uygulamaya birçok sürecin yeniden tarifenmesine yol açmıştır. Kuşkusuz ki bu teknolojilerin geldiği nokta en son 3Byazıcıların mimarlık dünyasında ki yerlerini almaya başlamalarıdır ve bu teknoloji dalgası mimarlar için bilgisayar ekranından şantiyeye olan süreci son derece kısaltan ve hızlandıran yeni bir dönem başlatmıştır.

3B yazıcıların yeni bir mimarlık teknolojisini yarattığı ve geleceğin mimarlığını şekillendirmeye başladığı açıktır. Bildirideki örnekler üzerinden de tartışıldığı üzere, malzemelerin yeniden tasarlanmasını ya da var olanların değişik biçimlerde kullanılmasını bir başka ifade ile yeni tektoniklerin tasarlanmasını gerektiren bu süreç aslında 21. yy'ın dilini belirlemektedir. Günümüzde sayıları hızla artan örnekleri çoğaltmak mümkündür. Hepsinin ortak paydası ise yapı pratiğindeki geleneksel inşaat eyleminin üretim, fabrikasyon ve montajla çok daha karmaşık biçimlerde yan yana gelirken, yeni malzemelerin tasarlanması ya da var olanların değişik biçimlerde kullanılması, yani hibridleşerek yeni tektoniklerin ortaya çıkmasını sağlamalarıdır. Bu devrimin tamamlanmasını hızlandıracak olan ise endüstriyel firmaların elinde bulunan 3B yazıcılar ile kullanılan malzemelerin fiyatlarının düşerek yaygınlaşması ve teknolojinin tekil kullanıcı ile buluşabilmesidir.

Referanslar

1. Sutherland, I.E., (2003) Sketchpad: A man-machine graphical communications system
<https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>
2. http://www.teknomold.com.tr/teknomold-kalip-imalat-sanayi_cadcam.html
3. Turan, B. O., (2009), Dijital Tasarım Sürecinin Geleneksel Tasarım Stüdyosuna Etkileri, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Bilgisayarın İcadı ve Tarihi Gelişim Süreci, <http://www.teknokoliker.com/2013/06/bilgisayar-icadi-gelisim-sureci.html>
5. Gönenç Sorguç, A., Mimarlıkta Sayısal Teknolojilerin Kullanımı: Yeni Tektonikler ve Hibridleşen Malzemeler" Mimarlıkta Malzeme, Dosya: 21. Yüzyıldan Geleceğe Malzeme, Teknoloji ve Mimarlık no: 15, s. 41-46, 2010.
6. Kolarevic, B., (2003), Architecture in the Digital Age: Design and Manufacture, Spon Press, London.
7. Akipek, F., İnceoğlu, N., 2007 "Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları Megaron", YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi Cilt 2, Sayı 4. 237-253
8. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography US 4575330 A
<http://www.google.com/patents/US4575330>

9. Wohlers, T., Gornet, T., (2014) History of additivemanufacturing <http://wohlersassociates.com/history2014.pdf>
10. 3 Dimensional Printing (3DP) <http://www.mit.edu/~tdp/whatis3dp.html>
11. How 3D Printing worksTheVision, Innovationand Technologies BehindInkjet 3D Printing
http://www.zcorp.com/documents/791_8914-3DPrintingWhitePaper.pdf
12. RepRapLtd <http://reprapltd.com/about/>
13. 3D Yazıcı Teknolojisi <http://www.priyoid.com/3d-yazici-teknolojisi/>
14. Aktaş, E., (2014) Kavramsal Modellerin Sezgisel Boyutunun dijitalOrtama Aktarılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
15. Arslan Selçuk, S., Gönenç Sorguç, A., (2016) "Sınırlanmıştan Sınıra: Sınırdan Arayüze: Sayısaldan Fiziksele", Mimarlık Dergisi (Avery Index)
16. Matus, M., (2013)LuminousSaltyglooPavilion 3D-Printed FromSea Salt! <http://inhabitat.com/emerging-objects-uses-a-3d-printer-and-sea-salt-to-construct-luminous-saltygloo-pavilion/>
17. 3D Printed House, 1.0<http://www.emergingobjects.com/project/3d-printed-house-1-0/>
18. Grozdanic, L., (2014) SandBabel: Solar-Powered TwistingSkyscrapers 3D-Printed withDesertSands
<http://inhabitat.com/sand-babel-solar-powered-twisting-skyscrapers-3d-printed-with-desert-sands/>
19. Babil Kum Kuleleri <http://www.evolu.us/wp-content/uploads/2014/03/0656-2.jpg>
20. 3D-printing robot byJorisLaarmandrawsfreeform metal lines<http://www.dezeen.com/2014/02/21/3d-printing-robot-by-joris-laarman-draws-freeform-metal-lines/>
21. <http://mx3d.com/projects/bridge/>
22. FromWasteTo Space: The 3D-Printed Habitat Challenge <https://americamakes.us/Challenge>
23. NASA Awards Top Three Design Finalists in 3-D Printed Habitat Challenge
24. https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/2015winners.html

SİLAH MEKANİK SİSTEMLERİ İÇİN 3 BOYUTLU EĞİTİM MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa BOZDEMİR

KırıkkaleÜnv.KMYOMakine ve Metal Tek.Böl.Yahşihan/KIRIKKALE mustafabozdemir@kku.edu.tr

Özet

Silah sistemlerinin optimum tasarımı konusu mühendislikte önemli bir yer tutmaktadır. Silah tasarım işleminin karmaşık ve sistem değişkeninin fazla olması nedeniyle öğrenciler tarafından algılanması zordur. Bu çalışmada, silah sistemlerin tasarım eğitimi için geliştirilecek sistematik bir tasarım modeli ele alınacaktır. Bu eğitim modeline ait görsel 3 boyutlu silah modelleri 3B yazıcılar kullanılarak imal edilecek, en karmaşık mekanik sistemlerden birisi olduğu bilinen silah sistemlerinin tasarım eğitiminde kullanılacaktır. Geliştirilecek 3 boyutlu silah ve tasarım modelleri sayesinde, silah sistemlerinin tasarım eğitimi için gerekli eğitim süresi azaltılmakta, daha etkili bir eğitim ortamı sağlanmakta ve geliştirilebilir bir tasarım bilgi tabanı oluşturulmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Sözcükler: Silah sistemleri, sistematik tasarım, 3B imalat, tasarım bilgi tabanı.

DEVELOPMENT OF 3D TRAINING MODEL FOR WEAPONS MECHANICAL SYSTEMS

Abstract

The subject of optimum design weapon systems has an important place in engineering. Comprehension of design process by students is difficult due to its abstract nature and high number of system variables. In this study, definition of systematic design model developed for weapon systems design education is presented. The visual 3D weapon models that belongs to this education model is prepared and applied on weapon systems which are one of the most complex mechanical systems. Thanks to this developed 3D weapon and design models, the education time necessary for weapon systems design decreases, a more effective educational environment is created and a developable design data base provides assistance to service and education.

Keywords: Weapon systems, systematic design, 3D manufacturing, design data base.

1. Giriş

Teknolojiye hâkimiyet, uluslararası rekabeti tetikleyen ana unsur olarak askeri alanda önemli bir güç odağı olmuştur. Son dönemde askeri sistemlerin teknoloji odaklı gelişimi ve sivil alandaki teknolojilerin askeri uygulamasının giderek artmasıyla, güvenlik ve savunmanın ana eksenini teknoloji ve bilgi üstünlüğüne oturtmuştur. Bu alandaki üstünlük, teknoloji yönetiminde benimsenen akılcı ve sürdürülebilir politikalarla mümkün olmakta ve bu amaçla izlenen politikalar ve yapılan Ar-Ge harcamaları, askeri üstünlük ve caydırıcılığın önemli bir göstergesi olarak kullanılmaktadır [1].

Silah sanayinde daha önceleri geleneksel olarak ayrı ayrı üretilen ürünlerin yerine bunların bütünleştirilmesinden oluşan sistemler ön plana çıkmaktadır. Bu eğilim, doğal olarak gelecekte de ülkeleri geniş bir yelpazeyi oluşturan savunma amaçlı çok çeşitli ürünleri kendi kaynakları ile üretmek ve sürekli geliştirmek zorunda bırakacaktır. Sektördeki ürünlerin olgunlaşma döneminin giderek kışalmasına paralel olarak yenilik ve yaratıcılığa dayalı yeni teknolojilerin geliştirilmesi, dünyada rekabet edebilmenin bir ön koşulu haline gelmekte, ARGE faaliyetleri ve uzun dönemli yatırım politikalarının önemi gün geçtikçe artmaktadır [2].

Silahların çeşitli amaçlara ve mesleklere göre birçok tanımı yapıldığı gibi, bazı yasalarda kastedilen anlam ve kapsam da değişik olabilmektedir. İnsanların büyük bir çoğunluğunda silah denilince; sadece eşli silahın anlaşıldığı yolunda yaygın ve yanlış bir değerlendirmenin varlığı söz konusudur. Halbuki ateşli silahların yanında, daha bir çok alet, araç ve gerecin de silah kapsamına girdiğini bilmeliyiz. Ancak tüm silah yapıların ve sistemlerin ana yapısı incelendiğinde, silahların tasarımı ve balistik incelenmesi konularının hep gündemde olduğu görülmektedir. Silah tasarımı ve balistik kavramı birbirinden ayrılamayan ve tamamlayan iki ana çalışma alanıdır. Balistik, iç balistik, dış balistik ve hedef balistiği olarak üç ana bölüme ayrılır. İç balistik, barutun patlamasıyla oluşan itme gücü sonrasında merminin silah

namlusundan çıktığı ana kadar geçen sürede, namlu basıncı, yolu ve hızının incelenmesini içerir. İç balistik teorisi silah sistemlerinin tasarım parametrelerinin tahmin etmede ve özel şartlar altında yeni silah sistemlerinin tasarımında kullanılır [3].

İç balistik konusunda yapılan deneylerin zor ve pahalı olması matematiksel modellemeleri çok önemli hale getirmektedir. Bir silahın iç balistiğinin yapıldığı sırada geçen toplam süre sadece milisaniyeler sürmektedir. Dahası bu kısa süre sırasında namlu içinde basınç 400 MPa ve sıcaklık 3000 K aşabilmektedir. İç balistik deneyleri sırasında genellikle test namluları kullanılır. Bu deneylerde mermi hızı, maksimum basınç ve namlu içi basınç dağılımları ölçülebilmemektedir [4]. Bir silahın iç balistik hesaplamalarında deneysel metotlar kullanmak doğru sonuçlar bulmada etkilidir. Yapılan deneysel ölçümlerle formüllere dayalı tekniklerinin birlikte kullanılarak yapılan hesaplamalar yaklaşık benzer sonuçlar bulmaya başladığında, hesaplama yöntemi kullanmak daha pratik olacaktır [5].

Yapılan silah tasarımları ve bunlara ait balistik hesaplamalar nihai sonuca ulaşmada birbirini tamamlamaktadır. Tasarım işlemi için iç-dış balistik hesaplamalar namlu boyutlandırması için çok önemlidir. Tasarım işlemi silah çalışmalarında vazgeçilmez unsurlardan birisidir. Tasarım kelime anlamı olarak fikir, kavram ve bir soruna uygun çözüm bulmak olarak kısaca özetlenebilir [6].

Klasik tasarım tekniklerindeki eksiklerin görülerek, düzeltilmesi için tasarım işleminin formüle edilmesine yönelik ilk çalışmalar özellikle 2.Dünya savaşı sıralarına rastlar. Bundan sonraki zaman dilimlerinde sürekli gelişerek, yeni daha esnek temsil teknikleri olan tasarım yöntemleri üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Sistematik tasarımın günümüze kadar gelmesini Rodenacker, Roth, Koller, Pahl ve Beitz, Kusiak, Ehrlenspiel ve John gibi araştırmacıların geliştirdikleri tasarım teknikleri sayesinde olmuştur [7]. Sistematik tasarım teknikleri modern tasarım olarak da adlandırılabilir. Öğrencilerin yada tasarımcıların kişisel beceri yada tecrübelerine gerek kalmadan, tasarım işlemini bilimsel ve formüle edilebilen işlemlere bölmektedir. Bu sayede öğrenci yada tasarımcının bilişse, duyuşsal veya devinsel giriş davranışları tasarım işlemi içerisinde değerlendirilebilmektedir. Ayrıca bu tasarım öğretim yönteminde değerlendirme aşamasında bilgisayar teknolojileri de kullanılmaya başlanmıştır. Böylece, tasarım eğitiminde bilgisayarların teknolojilerini kullanmak zorunda kalmışlardır. Yeni bilgi teknolojilerinin geleneksel gereçlerden daha karmaşık olması onların kullanım yollarını artırdığı gibi kullanım zorluğunu da artırmaktadır [8]. Üç boyutlu ve doğrudan etkileşilebilir görsel elementleri ağır basan sanal gerçeklik yazılımları öğretim için, benzeşim ve çoklu ortam yazılımlarından daha fazla avantaja ve özelliğe sahiptir [9]. Fakat çoklu ortamlarda, bilgi temsillerinin işleniş sırası, şekli ve ilişkilerin belirginleştirilerek verilmesi durumunda bu tür yazılımlar başarılı olabilmektedir [10]. Bu nedenle sistematik tasarım teknikleri kullanılarak yapılacak bilgisayar uygulamalarında başarının artırılması amacıyla tasarım işleminin sistematik basamaklarına ve ana fonksiyon yapılarına uyum sağlanmalıdır. Mekanik sistemlerin ve silah sistemlerinin sistematik tasarımı içerisinde elde edilen tüm bilgiler; fonksiyonlar, formüller, çizimler, grafikler, katı modeller vb. şekillerde temsil edilebilir. Tasarım esnasında problemin yapısına uygun seçilmeyen bir temsil biçimi kullanılacak olur ise, elde edilecek çözümün gerçekleştirilme başarısını etkileyecektir. Bilgi temsillerinin seçiminde tasarım işlemi merkezinde bulunan bilgisayar veya insan karar vericinin durumuna göre uygun bir seçim yapılmalıdır. Bilgisayar merkezli insan merkezli temsil modellerine doğu şu şekilde bir sıralama yapılabilir. Diller, geometrik modeller, graflar, objeler, bilgi modelleri ve görüntüler Bilgisayar merkezli bilgi temsillerinin en önemli özelliği olarak, verilerin çok hızlı şekilde işlenmesi ve uygun çözüm için muhakeme etmesi söylenebilir. İnsana yönelik olan bilgi temsillerinde ise, ilgili temsil yöntemlerini kullanarak problemin çözümünde etkin rol oynayan tasarımcı insan olmaktadır [11].

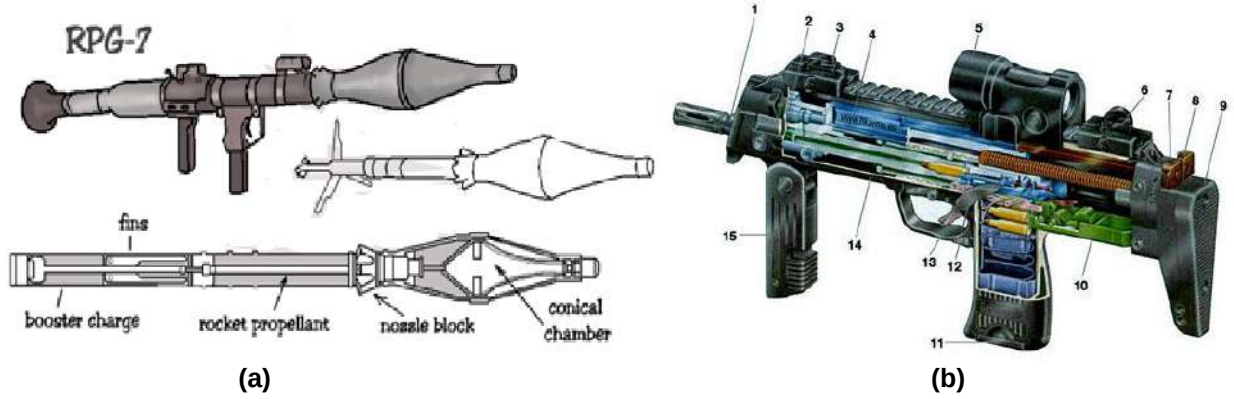
Tüm bu teknikler incelendiğinde, silah tasarımı için bir sistematik yol oluşturulması, yeni model ve çözümlerin bulunması günümüzde bir yarış haline gelmiştir. Bu teknolojik üstünlüğü elde edebilmek amacıyla görsel ve anlaşılabilir eğitim teknikleri kullanmak patente değer çözümler bulmada etkili olmaktadır. Bu nedenle silah tasarımı probleminde sistematik bir çözümle yaklaşan, formüle eden ve bunların bilgisayar ortamında 3 boyutlu modellendiği ve gerçek eğitim modellerinin oluşturulduğu bu çalışmada, eğitim kalitesi ve öğrenme düzeyinde başarı elde edileceği düşünülmektedir.

2. Silah Sistemleri

Ateşli, ateşsiz, kimyasal, biyolojik ve nükleer silahların tümü, genel anlamda silah kelimesinin kapsamını oluşturmaktadır. Silah; "uzaktan ya da yakında canlıları öldürebilen, yaralayan, etkisiz bırakan, canlı organizmaları hasta eden, cansızları parçalayan, yok eden araç ve aletlerin tümüne" denir. Başka bir tanıma göre silah; "saldırıya da savunma amacıyla kullanılan düzenek, aygıt ve araçların" genel adıdır. Günümüzde silah sistemleri tasarımı konusunda yapılan çalışmalar çok farklılıklar göstermektedir.

Mermiye, ateşlenen barut gazıyla itici güç vererek hedefe ulaştırmaya yarayan aletlere ateşli silah denir [12]. Başka bir tanıma göre; mekanik bir kuvvetle içerisinde bulunan sert cisimleri belirli mesafelere kadar ulaştıran ve orada da bu sert cismin etkisiyle tahribat yaratan aletlere ateşli silah denir. Bu iki tanıma göre

ateşli silah; özel şekil ve niteliği bulunan mermiyi barut gazı basıncı ile uzak mesafelere atabilen aletler olarak tanımlanır. Çeşitli vasıtalar yardımıyla veya birden fazla kişi tarafından kullanılan ağır ve tahrip gücü yüksek olan, namlu çapı 60 kalibreden (0,6 inç veya 15 mm) büyük olan uzun menzilli silahlardır [13]. Uçaksavar, havan, top, tank ve roket örnek olarak sayılabilir. Şekil 1.a' da bir roketatar sistemi ve elemanları gösterilmiştir.



Şekil 1. a)Roketatarsistemi b) Kısa namlulu silah sistemi [14,15]

Bireysel kullanılabilen tahrip gücü daha düşük olan silahlardır. Çalışma prensipleri, elle ilk başta kurulan bir mekanizma bir mermiyi fişek yatağına alır ve ardından tetiğe basıldığında horoz veya iğne fişeğe çarpar ve fişegin içindeki barut ateşlenir. Barutun oluşturduğu basınçla çekirdek namlu içerisindeki yivler ve setler sayesinde dönerek çıkar ve hedefe gider [16]. Tabanca, tüfek örnek olarak sayılabilir.

Uzun namlulu hafif silahlar genellikle omuza dayalı olarak atış yapılan mekanizma, kundak, dipçik ve namlu olmak üzere dört ana parçadan oluşan silahlardır. Bunları savaş tüfekleri ve av tüfekleri olmak üzere iki başlıkta inceleyebiliriz. Savaş tüfekleri yiv ve setli olup, uzun menzil ve tahrip gücü yüksek olan silahlardır [17]. Av tüfekleri, kara avcılığı ve atış müsabakalarında kullanılan yivsiz silahlardır. Bir atışlı kırma, bir atışlı sürgülü, fişek hazneli pompalı doldurmalı, gizli horozlu yan yana iki namlulu kırma, üst üste iki namlu kırma, otomatik atışlı gibi pek çok çeşidi vardır [18].

Tabancalar kısa namlulu ve çalışma prensiplerine göre gruplandırılan silahlardır. Tek atışlı, toplu, otomatik, yarı otomatik gibi çeşitleri vardır. Makineli tabancalar, hem yarı otomatik hem de otomatik atış yapabilen şarjör kapasitesi yüksek olan silahlardır [19]. Şekil 1.b' de makineli tabanca ve yapısı gösterilmiştir.

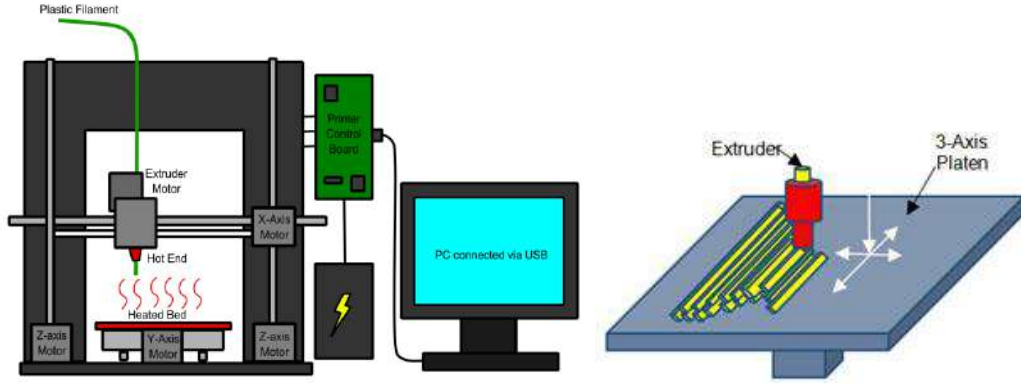
3. 3D Yazıcı Teknolojileri

3B Yazıcı bilgisayar üzerinde tasarlanmış ve ya 3 boyutlu olarak taranmış modelleri, bir çok farklı malzeme kullanarak çok hızlı ve ekstra bir kalıp yada fişture ihtiyaç duymadan üreten bir cihazlardır. FDM teknolojisi ile çalışan 3B Yazıcılar genellikle ABS ve PLA gibi termoplastik polimer malzemeler kullanılmaktadır. Filaman formundaki malzeme yüksek sıcaklığa sahip bir nozül yardımı ile eritilerek katmanlar halinde inşa edilir.

Hızlı prototipleme teknolojisi, imalat uygulamalarında, medikal/dentalimplant yapımında, kavramsal modellemede, doğrudan döküm kalıbı ve parça üretiminde, hassas döküm tekniği ile metal parça ve prototip üretiminde, mimari uygulamalarda, uzay/otomotiv sanayinde, hızlı kalıp imalatında, eğitim amaçlı her türlü donanımın yapımında vetaki sektörü gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Bir hızlı prototip üretiminde ilk adım, herhangi bir CAD yazılımı ile veya bir lazer ya da optik bir tarayıcı yardımı ile tersine mühendislik yaparak parçanın 3B CAD modelinin oluşturulmasıdır. CAD yazılımları ile hızlı prototiplememakineleri arasında veri transferini sağlamak için bir veri ara yüzüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veri ara yüzü STL (Stereolithography) formatıdır [20]. Şekil 2 'de 3B yazıcı sistemi ve çalışma prensibi görülmektedir.

En yaygın kullanıma sahip olan üç boyutlu yazıcıların çalışma prensibi bilgisayar ortamında hazırlanmış herhangi bir üç boyutlu bir nesnenin sanal olarak katmanlara bölünmesine ve her bir katmanının eritilen hammadde dökülerek üst üste gelecek şekilde basılmasına dayanır. Üç boyutlu baskı teknolojisi 1980 li yıllarda başlamıştır. Buna rağmen 2010 yılından sonra adı daha fazla duyulmaya başlanmış ve günümüzde çok daha yaygın bir şekilde kullanılır hale gelmiştir. Bunun nedenleri olarak medyada daha fazla yer almaya başlaması, birçok sayıdaki girişimci firmaların bu teknolojiye yatırım yapması, akademik çevrelerin ilgi göstermesi, teknolojinin birçok alanda getirdiği kolaylıklar ve avantajların yanı sıra üretim maliyetlerinin düşmesi gösterilebilir. 2012 yılı itibari ile üç boyutlu yazıcıların market hacmi 2.2 milyar

dolara erişmiş ve 2011 yılına göre %29 lük bir artış göstermiştir. Üç boyutlu yazıcılar büyük oranda kendi parçalarını basabilir.



Şekil 2. Bileşimli yığma 3B yazıcı sistemi (FDM) [21]

Günümüz 3 boyutlu yazıcı teknolojisi bir çok farklı teknolojiyi kapsamaktadır. Bu teknolojiler, lazer sinterleme, fuseddeposition (bileşimli yığma), polimer kurlama gibi sıralanabilir. Yaygın kullanıma ve farklı tasarıma sahip olsa da temelde en çok kullanılan teknoloji "fuseddepositionmodeling" tekniği ile çalışan cihazlardır. Bu teknikte bilgisayarda 3 boyutlu modeli bulunan cisim 2 boyutlu katmanlar halinde yığılarak 3 boyutlu ürün elde edilir. Bu prosesi gerçekleştirmek ise günümüz makine imalat sektöründe 3 eksenli bir CNC nin kontrolünden ibarettir. Kontrol kartı ve CNC ile iletişimde olacak bir yazılım ve malzeme yığma özelliğine sahip bir takımdır. FDM bir yazılım prosesi ile başlar, yazılım STL formatındaki modelleri matematiksel olarak katmanlara ayırır ve bu katmanları üst üste inşa etmek üzere 3 eksenli CNC kontrollü bir cihaza gönderir. Genellikle termoplastik malzemeler kullanılır. Termoplastik malzemeler termoset malzemeler ile karşılaştırıldığında defalarca eritilebildikleri ve belirli sıcaklık aralığında sıvılaşabildikleri için bu teknoloji için oldukça uygun malzemelerdir. Termoplastik malzemenin düzgün bir şekilde yığılabilmesi için erime sıcaklığına ısıtılmış bir nozuldane ekstrude edilmesi gerekmektedir. Bu nozul bilgisayar tarafından kontrol edilerek parça geometrisini simüle edecek şekilde hareket ettirilir ve termoplastik malzemenin yığılması ile beraber parça 2 boyutlu katmanlar halinde tablaya yığılır ve üretilmiş olur. Bu proses günümüzde en çok hızlı prototipleme ve 3 boyutlu yazıcı alanlarında kullanılmaktadır. 3D printing, 3 boyutlu üretim, 3B yazıcı olarak da bilinir [22].

Hızlı prototipleme teknolojileri genel olarak karşılaştırılması ve bu karşılaştırma sonrasında elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır [20].

- Uygulamada en yaygın kullanılan teknolojinin SLA olduğu görülmektedir. Bu yöntem yüksek doğrulukta, renkli parçalar üretebilmektedir. Ancak parçalarda çarpılma ve büzülme olabilmektedir. Metal model yapılamamaktadır.
- Mukavemetli parçalar yapılacağına SLS, FDM, EBM ve SDM teknolojileri tercih edilebilir. Özellikle SLS, EBM ve SDM teknolojileri metal model üretimini mümkün kılmaktadır.
- Büyük boyutlu modeller üretileceğinde LOM tercih edilir. Ancak modellerin mekanik özellikleri iyidir. MJM ve 3DP yöntemleri basit ve kolay kullanılabilen sistemler olup üretim hızları yüksektir.
- MJM sistemlerinde üretilen modellerin yüzeyleri daha düzgündür. 3DP sistemleri ile renklendirmeyapılabilir.
- FDM, 3DP ve Polyjet sistemleri ofis ortamında rahatlıkla kullanılabilir. SGC sistemleri ise kütle olarak ağır, büyük boyutlu olup ve bakım maliyetleri yüksektir.
- Fonksiyonel model üretiminde SLS, SLA, FDM, EBM ve SDM sistemleri avantaj sağlamaktadır.
- Hareket edebilen ve çok parçadan oluşan modellerin üretiminde FDM ve SGC yöntemleri ön plana çıkmaktadır.

4. Geliştirilen Modelin Yapısı

Öğretim teknolojileri kullanarak öğretim materyalleri geliştirme ve mevcut öğretim materyallerini değerlendirme becerilerinin kazandırılması önemli bir etkinliktir. Öğretim materyalleri, öğretmeöğrenmesürecinde öğrenmeyi kolaylaştırıp daha kalıcı ve verimli bir öğretim yapmak için kullanılırlar. Öğretim materyalleri, öğrencileri motive eder ve öğrenciler için bilgiye erişim ve değerlendirme olanağı sağlayarak onların ders çalışmalarını tetikler [23]. Öğretim materyalleri, eğitimin niteliğini artırmada önemli bir öğedir. Etkin olarak hazırlanan bazı öğretim materyallerinin öğretim ortamında öğretmenin gösterdiği tüm etkinlikleri (dikkatçekme, bilgiyi sunma, ipucu, katılım, alıştırma ve tekrar

yaptırma, dönüt sağlama, düzeltme ve değerlendirme) gösterebileceğini belirtmektedirler. Öğretim materyalleri öğretmenin yerini alacak bir seçenek olmamakla birlikte, konuyu öğrencilerine aktarmalarında öğretmenlere adeta asistanlık yaparlar [24]. Öğretme-öğrenme süreçlerinde öğretim teknolojilerini kullanmanın, konunun daha etkili sunulmasına yardımcı olduğunu; bununla birlikte öğretimi daha zevkli ve anlamlı hale getirdiğini belirtmektedir [25].

4.1. Füze Sistemleri

Jet uçaklarının ve füzelerin çalışma prensipleri birbirlerine benzer. Hava akımlarının ve değişken kuvvetlerin ayrıntılı matematiksel analizleri sonucu füzelerin fiziksel ve yapısal tasarımları yapılır. Hava ile cisim arasında ki kuvvetlerin hareketleri mutlak hızlarına değil nisbi hızlarına bağlıdır. Aerodinamik çalışmalarında ortaya konulan prensipler rüzgâr tünellerinde füzelere yüksek hızlı rüzgâr akımları uygulanarak test edilir [26].

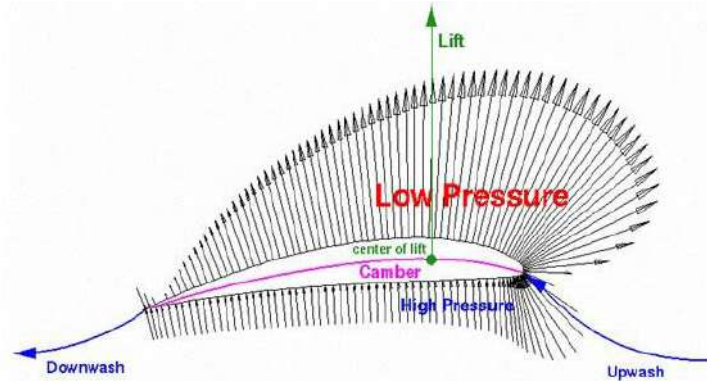
Eğer, her zaman olduğu gibi hareket dünya ile dönen bir koordinat sistemine göre incelenirse, bu durumda, cisme etkiyen kuvvetler arasına merkezkaç kuvvet ve Coriolis kuvvet gibi belli görünen kuvvetler dahil edilmek koşuluyla Newton'un ikinci hareket yasası uygulanabilir. Atalet eksen akımına göre olan hız ve ivme, mutlak hız ve mutlak ivme olarak tanımlanır ve (a) alt indisi ile gösterilir [27].

$$\left[\vec{V}_a \cdot \left(\frac{d\vec{V}_a}{dt} \right)_a \right] \quad (1)$$

Newton'un universal çekim yasası, boşluktaki iki kütle elemanın birbirlerini kütleleriyle doğru, kendilerini ayıran uzaklığın karesi ile ters orantılı bir kuvvetle çektiğini ifade eder. Böylece, eğer iki kütle elemanı m_1 ve m_2 birbirinden r uzaklığı ile ayrılmış ise çekimden dolayı m_1 kütlesi tarafından m_2 kütlesi üzerine uygulanan kuvvet;

$$\vec{F}_g = -\frac{gm_1m_2}{r^2} \left(\frac{r_0}{r} \right) \quad (2)$$

Füze hava içerisinde hareket ederken, kanadın geometrisi basınç dağılımı füzenin havada tutunabilmesini sağlar. Basınç dağılımı ve kayma gerilmeleri ile cisim üzerinde aerodinamik kuvvetler meydana gelir. Bir füze veya benzeri bir cisim etrafından geçen havanın yolu bu cisim tarafından değiştirilir ise, havanın yerel hızının değişmesine neden olur. Cisim etrafında çeşitli noktalardaki farklı hızlar, Bernoulli denklemine göre cisim etrafında her noktada değişen bir basınç dağılımına neden olur [25]. Şekil 3'de basınç değişim şekli görülmektedir.

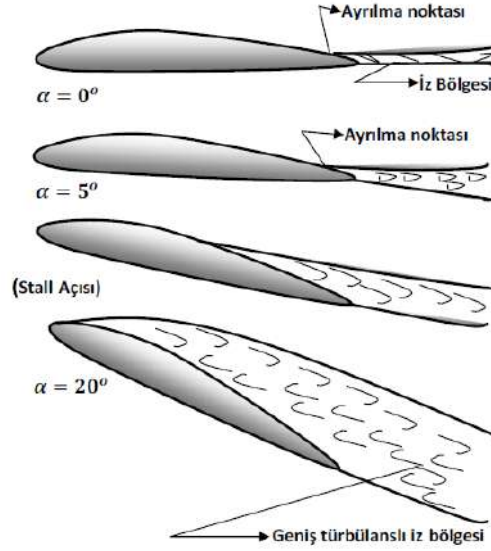


Şekil 3. Kanat profili basınç değişimi

Kanat profilinin önündeki pozitif işaretli basınç dağılımı hücum kenarına çarpan havanın oluşturduğu statik basınçtan kaynaklanmaktadır. Durma noktasında havanın hızı sıfıra eşit olduğu için dinamik basınç sıfırdır ve toplam basınç statik basınca eşittir. Kanat profili etrafındaki basınç dağılımı genellikle, eşitlik (2)'deki gibi boyutsuzlaştırılır ve bu boyutsuz sayıya basınç katsayısı denir. Bu denklemde P statik basınç, P_{ref} referans basıncı ve V_{ref} ise referans hızıdır [29].

$$C_p = \frac{P - P_{ref}}{\frac{1}{2} \rho V_{ref}^2} \quad (3)$$

Kaldırma kuvvetini arttırmak kanat profili etrafındaki basınç dağılımını arttırmakla sağlanabildiği gibi aynı zamanda profil etrafındaki sınır tabaka kalınlığının düşürülmesi veya türbülanslı sınır tabakanın firar kenarına taşınması ile sağlanabilir. Aerodinamik performansı arttırmak için; hücum açısı artırılabilir, kanat profiline kamburluk verilebilir veya yüksek kaldırma aygıtları kullanılabilir [30].



Şekil 4. Kanat profili-hücum açısı değişimi [31].

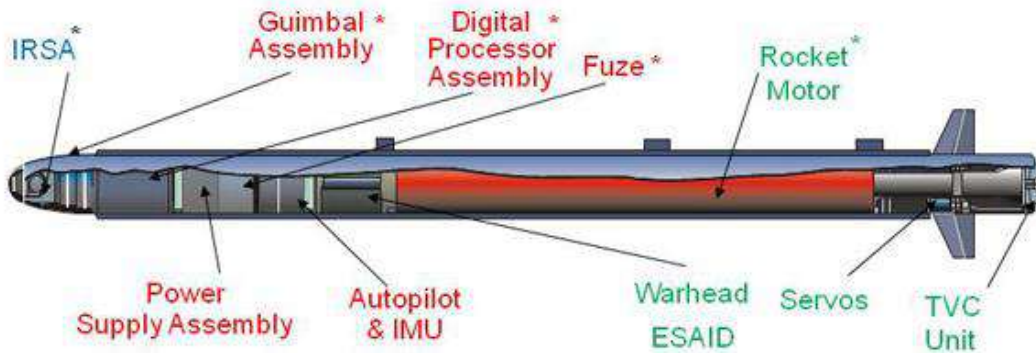
Şekil 4'de kaldırma katsayısının stall açısına kadar arttığı ve bu açı değerinden sonra düşmeye başladığı görülmektedir. Ayrıca hücum açısının artışı ile ayrılma noktasının hücum kenarına yaklaşması sonucu sürüklenme katsayısı artmakta olduğu görülmektedir [31].

Kaldırma kuvveti kanat sekline uçuş açısına havanın yoğunluğuna kanadın alanına hızın karesine bağlı olarak hesaplanır.

$$L = \frac{C_L \rho}{2} S V^2 \quad (4)$$

Formül içerisinde geçen sembollerin anlamları şu şekilde açıklanabilir. :L: Kaldırma kuvveti, C L: Kaldırma kuvveti katsayısı , P : Havanın yoğunluğu, S: Alan, V: Hızıdır.

Füzeler, roketlerden farklı olarak sadece atmosferde çalışan çeşitli güdüm sistemleri ile (görüntü algılayıcılar, ısı algılayıcılar, radar, ataletsel algılayıcılar, GPS, v.b.) hedefe yönelen karmaşık silahlardır. Füzeler çoğunlukla roket motoruna sahiptirler. Çeşitli füzelerin jet motoru da bulunabilmektedir. Füzelere zaman zaman güdümlü roket de denilmektedir. Gerekli kanat ve uçuş hesaplamaları yapılan füze ve roket sistemlerinin içerisine amacına uygun savaş başlığı, yönlendirme düzeneği, yakıt deposu ve elektronik düzenek yerleştirilerek atışa hazır hale getirilir. Şekil 5' de içyapısı gösterilen bir füze sistemi görülmektedir.



Şekil 5. Füze sistemi içyapısı[14]

4.2.3b Füze Modeli İmalatı

Silah sistemleri ve balistik derslerinde kullanılması planlanan mühimmat ve silah yapılarının gerçeklerinin eğitim ortamlarında bulundurulması tehlikeli, sakıncalı ve kanuni olarak zorluklar içermektedir. Bu tür silah ve mühimmatlar yerine gerçeğiyle aynı boyut, yapı ve çalışma sistemine sahip eğitim modellerinin

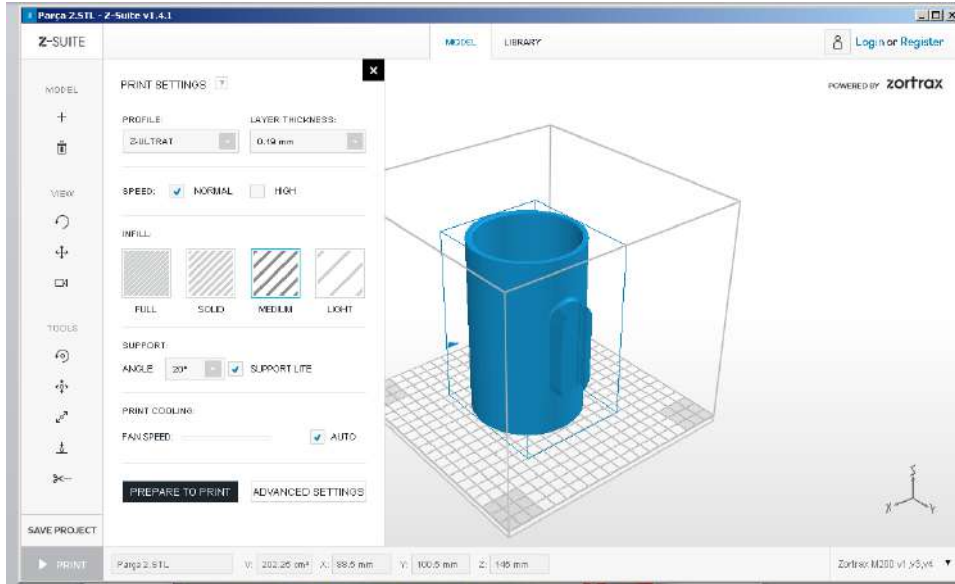
kullanılması tüm problemleri ortadan kaldıracılabilmektedir. Geliştirilen füze tasarım modelinin üç boyutlu tasarım çizimleri*.stl dosyalarına dönüştürüldükten sonra 3B imalatları yapılmıştır. Yaklaşık 23 parça, yazıcıda imal edilerek, füze modelinin montajında kullanılmıştır. İmalat sırasına kullandığımız yazıcı ve tasarım laboratuvarımızŞekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6.3BTasarım laboratuvarımızve yazıcı sistemleri

Baskı cihazımız Zortrax M200 dür. LayerPlasticDeposition (LPD) teknolojisi farklı fiziksel özelliklere sahip çeşitli materyaller kullanılmayı mümkün kılmaktadır. Bu yazıcı filament ürünlerinden olanZ-ABS, Z-ULTRAT mekanik ve kimyasal olarak boya yapılabilme veya çeşitli işlemler yapmayı sağlamaktadır. Yaklaşık 250-260 C⁰ sıcaklıkta eriyebilen filamentmalzemeye dayanıklı ve model üretimine uygun baskı yapılabilir. M200 modeliyle 200x200x185 mm üretim hacmi ve 0,09 mm baskı hassasiyetiyle füze modellerinin modüller halinde üretimine imkan vermektedir. Isıtılabilir delikli tabla teknolojisi ve otomatik kalibrasyon sistemi bulunan cihazla hassas üretim yapılabilmiştir.

ZortraxM200 3Dprinter sisteminde kullanılan ara yüz programı Z-suite yazılımıdır. Bu yazılı kullanılarak geliştirilen füze sistemi parçalar halinde imalata hazırlanmıştır. Kullanılan yazılımın Z-suitarayüzü Şekil 7'de görülmektedir. Kullanılacak baskı malzemesinin cinsi, katman kalınlığı, baskı kalitesi gibi bazı değişkenler bu ara yüz üzerinden istenilen şekilde ve hassasiyette düzenlenebilmektedir.



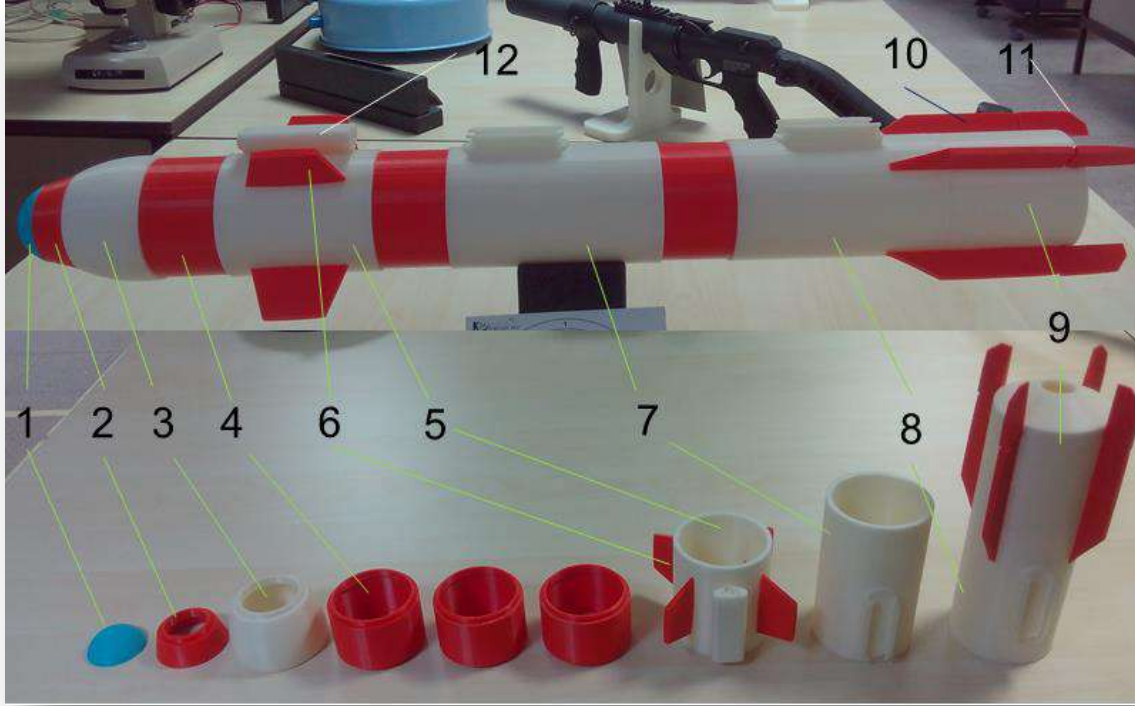
Şekil 7. Kullanılan baskı ön hazırlama arayüzü

Çizelge 1' de prototip olarak 3B baskı teknikleriyle üretilen füze modeline ait parça sayıları, kullanılan plastik malzeme miktarı, imalat süresi gibi temel görülmektedir.

Çizelge1. Prototip imalat için harcanan süre ve malzeme miktarı

Sıra No	Parçanın adı	Parça sayısı	Malzemesi	İmalat süresi (saat, dakika)	Malzeme Miktarı (gr)
1	Optik göz	1 adet	Z-Ultrat (Mavi)	1sa, 26dk	15
2	Kontrol ünitesi	1 adet	Z-Ultrat (Kırmızı)	2sa, 36dk	27
3	Füze başlığı	1 adet	Z-Ultrat (Beyaz)	6sa, 44dk	67
4	Modüler bağlama parçası	3 adet	Z-Ultrat (Kırmızı)	5sa, 59dk	58x3= 174
5	Ön kanat gövdesi	1 adet	Z-Ultrat (Beyaz)	10sa, 29dk	97
6	Ön kanatçıklar	4 adet	Z-Ultrat (Kırmızı)	0sa, 48dk	10x4=40
7	Ön bağlama gövdesi	1 adet	Z-Ultrat (Beyaz)	14sa, 58dk	141
8	Arka bağlama gövdesi	1 adet	Z-Ultrat (Beyaz)	15sa, 35dk	146
9	Roket motoru	1 adet	Z-Ultrat (Beyaz)	13sa,23dk	118
10	Arka kanatçıklar	4 adet	Z-Ultrat (Kırmızı)	0sa, 48dk	10x4=40
11	Yönlendirme kanatları	4 adet	Z-Ultrat (Kırmızı)	0sa, 27dk	6x4=24
12	Elektronik bağlantı giriş	1 adet	Z-Ultrat (Beyaz)	1sa, 38dk	17
	TOPLAM	23 Parça	0.09 mm kalınlık	Yaklaşık 83 sa.	906 gr

Şekil 7’de görüldüğü haliyle yapılacak baskı, 3B yazıcı boyutlarıyla ilişkili olarak istenilen ölçekte küçültülmüş bir prototip olacaktır. Ancak bu modelin tasarım aşamasında parçalı olarak imal edilmesi ve biten parçaların sonradan montaj edilerek gerçek ölçülerine yakın olarak bir eğitim modeli haline getirilmesi sağlanabilecektir. Şekil 8’de geliştirilen füze eğitim modelinin parçalı üretim sonrasında montajı yapılmasıyla ortaya çıkan son görüntüsü vardır. Montajlama işlemi sırasında 0.1mm toleransla geçme yapılmakta olup, herhangi bir yapıştırma bağlantısına ihtiyaç duyulmamıştır. Füze modeli gerektiğinde de-montaj yapılarak silah sistemleri eğitimi amacı uygun modüler parçalar yeniden montaj edilebilmektedir.



Şekil 8. Prototip olarak geliştirilen füze modeli montaj ve de-montaj görüntüsü

5. Sonuç

Bu çalışmada “Silah Sistemleri Ve Balistik” dersleri laboratuvarlarında eğitim amaçlı hazırlanacak modeller ve bu modellerin 3B yazıcılar yardımıyla üretiminin hazırlanması amacıyla yapılmış bir uygulama tanıtılmıştır. Silah ve mühimmat tasarımı karmaşık ve detaylı hesaplamalar sonrasında ortaya çıkan uzun süreçli, detaylı testleri yapılması gereken işlemlerdir. Tasarımcının özellikle ARGE aşamasında bu tür sistemlerin 3B modellenmesi ve üretilmesi, ergonomi, kullanılabilirlik, boyut kontrolü ve genel değerlendirme gibi aşamalarda katkı sağlamaktadır. Oluşabilecek hatalara karşı imalat öncesi önlem alınmasını sağlayacaktır.

Özellikle eğitim ortamlarında gerçeğinin benzeri, eğitim modelleri birçok yönden fayda sağlayabilecektir. Bu faydalar şu şekilde özetlenebilir.

- Silah-mühimmat tasarım uzmanlığında beceri kazandıracaktır.
- Öğrenme sürecinin kalıcı ve verimli olmasını sağlayacaktır.
- Silah-mühimmat tasarımı alanında yapılacak ARGE çalışmaları ve eğitim içeriğinin kolaylaşmasını sağlayıp, süresini azaltacaktır.
- Silah-mühimmat konusunda nitelikli eğitim materyali hazırlanmasını sağlayacaktır.
- Silah-mühimmat sınıf ortamında bulundurulması tehlikeli malzemelerin yerini alabilecektir.
- Silah-mühimmat eğitim sınıflarında kanunen mümkün olmayan bazı araçların eğitim ortamında bulundurulabilmesini sağlayacaktır.
- Etkili sunum ve öğretim teknolojisi kullanabilmeyi sağlayacaktır.

Savunma sanayindeki millileşme gerekliliği ülkemiz tarafından önemsenmekte, ARGE ve bilimsel çalışmalara büyük önem verilmektedir. Savunma Teknolojileri alanında eğitim verilen kurumlarda geliştirilen prototipler, 3B yazıcılar kullanılarak rahatlıkla üretilmekte, üretim öncesi istenilen geliştirmeler yapılabilmektedir.

Referanslar

1. Savunma sanayi müsteşarlığı, 2011-2016 Teknoloji Yönetim Stratejisi, 2011.
2. MKE, MKE Yayınları Stratejik Planı 2011-2015, 2011
3. Deng S., Sun H. K., and Chung-Jung Chiu, Rifles In-Bore Finite Element Transient Analysis, International Conference on Mechanical, Production and Materials Engineering (ICMPME'2012) June 16-17, 2012.

4. Vincent, R., Textbook of Ballistics and Gunnery, Vol. 1, Her Majesty's Stationary Office, London, 1987.
5. Oerlinkon-Buhrle A. G., Oerlinkon Pocket-Book, Oerlinkon-Buhrle AG, Zurich, Switzerland, 1988.
6. Bayazıt N., "Endüstri ürünlerinde ve mimarlıkta tasarlama metotlarına giriş", Literatür yay., 1994.
7. Bozdemir M., Eldem C., Modern tasarım teknikleri, UMTİK 2002, 55-63, 2002.
8. Hannafin, M.S. ve Peck, K.L. "The Design Develop. and Evaluation of Inst. Software", MacMillan, 1988.
9. Hartley. J. R., "Interacting with multimedia", University Computing, 15, 129-136, 1993.
10. Bagui, J., "Reasons for increased learning using multimedia", J. of Edu. Mult. and Hyp. 7(1), 3-19, 1998.
11. Hsu W. and Woon M., "Current research in the conceptual design of mechanical products", Computer Aided Design, 30(5):377-389, 1998.
12. Gündüzer O., Namlu Cıdarı Boyut. İç Balistik Davranışın Etkisi. Yük. Lis. Tezi. Gazi Üniv., Ankara, 2011.
13. Tuncer D. ve Alli H., Ağır Sil. Geri Tepme Mek. Tas. İç Balistik Modelinin Oluş. Ve Kama Kuv. Hes. 2. Ulusal Tas. İm. ve Anl. Kongresi, Kasım 2010, Balıkesir, s. 413-414, 2010.
14. <https://cactusbush.wordpress.com>, 2016
15. [http://www.guns.com/2012/03/09/the-heckler-a-koch-mp7-heir-to-the-mp5- /](http://www.guns.com/2012/03/09/the-heckler-a-koch-mp7-heir-to-the-mp5-/), 2016
16. Çayıroğlu İ. ve Dizdar E., Kapsülsüz ve Barutsuz Mermili Hafif Silah Tas., Teknoloji D. 2, 339-344, 2004.
17. <http://www.ordu.pol.tr>, 2016.
18. Üner B., Şam B., Kurtuş Ö., Uysal C., Çerkezoğlu A., Av Tüfeği ile Yapılan Atışlarda Saçma Dağılımını Etkileyen Faktörler. Adli Tıp Bülteni. 5, 65-69, 2000.
19. <http://www.silahdarav.com/>, 2016
20. Çelik İ., Karakoç F., Çakır M. Duysak A., Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Sayı 31, Ağustos 2013.
21. <http://myobjectify.com/additive>, 2016
22. <http://www.3byazici.com/2012/05/3-boyutlu-yazicilar-nasil-calisir.html>, 2016.
23. Akkoyunlu, B., Educational Technology in Turkey: Past, Present and Future, Educational Media International., Vol. 39, No 2: 165-174., 2002.
24. Şahin T.Y. ve Yıldırım, S., Öğretim Teknolojileri ve Materyal Geliştirme, Ankara, Anı Yayınevi, 1999.
25. Demirel, Ö., Planlamadan Değerlendirmeye Öğretme Sanatı. Ankara, Pegem A Yayıncılık, 2002.
26. McMahon, P., Aircraft Prolusion, School of engineering Bath University of Technology, 1991.
27. Briggs, M.M., Systematic Tactical Missile Design, Tactical Missile Aerodynamics: General Topics, AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics, American Institute of Aeronautics, Vol. 141, 1992
28. İçöz G., Roket ve Füzelerin Hedefe Yönlendirilmesi İçin Gerekli Kontrol ve Güdümlenme Sistemlerinin Analitik İncelenmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2010.

TIP VE SAĞLIK BİLİMLERİ EĞİTİMİ İÇİN İNSAN VÜCUDUNDAKİ ANATOMİK YAPILARIN MODELLENMESİ VE 3 BOYUTLU BASKISI

Eylül DEMİR^a, İhsan TOKTAŞ^b

a,b, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, edemir@ybu.edu.tr, itoktas@ybu.edu.tr

Özet

Tıp ve Sağlık Bilimleri öğrencileri, meslek derslerinin gereği olarak yapılan laboratuvar uygulamalarını eğitim ve öğretim programları kapsamında gerçekleştirmekle yükümlüdür. Bu nedenle öğrencinin problem çözme becerisini kullanmasına katkı sağlanması ve öğrencinin laboratuvarda öğrendiği becerileri uygulayabilmesi çok önemlidir. Laboratuvarlar, klinik öncesi deneyimin hayata geçirilmesini sağlayacak şekilde planlanmalıdır ve laboratuvarlarda modern maketler yer almalıdır. Bu maketler sayesinde öğrenciler, mesleki uygulamalarını yaparken insan vücudunda yer alan organları, organların komşuluklarını makroskopik olarak incelemiş olacaktır.

Bu çalışma, insan vücudunda yer alan humerus, tibia ve femur gibi kemiklerin üç boyutlu tasarımı ve modelini üretmeyi hedeflemektedir. Üç boyutlu (3B) baskı, parçaların bilgisayar modelinden imal edildiği bir yöntemdir. Bu teknoloji, takımlar ve fonksiyonel parçalar, eğitim modelleri, implant vb. parçaların üretimi için kullanılmaktadır. 3B baskı uygulaması, klasik imal usullerine kıyasla hızlı prototipleme ve verimlilik sağlar. Polimerler, çelikler, sıvı, toz vb. malzemeler imalat maddesi olarak kullanılır. 3B baskı teknolojisi gelişen bir alandır ve gelecekte yaygın olarak kullanılacaktır.

Bu çalışmada, 3 boyutlu bir kemik modeli, bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerini kullanarak medikal görüntü işleme programıyla elde edilir. Model üzerindeki düzeltmeler katı modelleme programlarıyla gerçekleştirilir ve veriler yaygın olarak kullanılan STL (Surface Tesselation Language) formatında 3 boyutlu baskı makinasına imalat için gönderilir. 3 boyutlu baskı yöntemi zaman tasarrufu sağladığı gibi, eğitim ve deneysel çalışmalar için insan vücudundaki yapıların ucuz ve yüksek kalitede modellerinin üretimi de sağlar. Piyasada bu modeller ithal edilmekte ya da maliyeti pahalı olmaktadır. Ayrıca bu teknoloji, kişiye özel ihtiyaçlara da cevap verdiğinden, klasik imalat teknolojilerine alternatif olarak ön plana çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bilgisayarlı tomografi, anatomik yapıların modellenmesi, 3 boyutlu baskı.

3D PRINTING AND MODELING OF ANATOMICAL STRUCTURES OF HUMAN BODY FOR THE TRAINING OF MEDICINE AND HEALTH SCIENCES

Abstract

The students who do training in the field of medicine and health sciences are responsible for completing laboratory applications required by the courses. For this reason, it is important to contribute the abilities of solving problems of the students and to provide opportunity to the students about laboratory experiments. Laboratories should be planned to respond the preclinical experience and should have modern models. Students can examine the human body parts and segments in macroscopic scale by means of these models during occupational experiments.

This study aims that to create a 3D printing modeling of the human bones such as humerus, tibia, femur etc. Three dimensional (3D) printing is a process for the manufacturing of parts from computer models. This technology can be used for the tools and functional parts, training models, implants etc. The application of 3D printing technologies provide rapid prototyping (RP) and throughput in comparison to the conventional manufacturing techniques. Polymers, steels, liquid, powders etc. are used as production materials. This is an evolving area and will be used widely in the near future.

In this study, 3D humerus bone model is obtained by medical image processing program using Computerized Tomography (CT) scanning images. Any corrections are made by using the solid modeling program and the data is sent to the 3D printing machine for production, where the STL (Surface Tesselation Language) file format is commonly used. 3D printing method provide to save of time, and

production of cheap and high quality models of human body parts for the purposes of training and experimental studies. In the market, these models are imported or their costs are too high. This method also satisfies the personal requirements and comes into prominence as an alternative way to the conventional manufacturing technologies.

Keywords: Computerized tomography, Modeling of anatomical parts, 3D printing.

1. Introduction

Biomechanics is the examination of the structure and function of biological systems by using the methods of mechanics (statics and dynamics), and it is also the science concerned with the internal and external forces acting on the human body and the effects produced by these forces [1]. Biomechanics covers a wide field including tissue engineering and biomaterials, artificial organs and sports therapy. Fundamental mechanical principles to the study of structure and function of living systems are applied. Research objectives of biomechanics are controlling of our movements, determining of mechanical and anatomical factors of our movements, improving of our movements, preventing from injuries, and determining of characteristics of artificial organs [2]. Production of anatomical parts with RP becomes trend and evolving area [3]. This technology provides the printing of specialized implants or planning models from medical 2D scans to 3D models before operation [4]. In the past, the production of medical models are difficult due to the complex geometry of anatomical parts and production of those were carried out with different processes such as pressing, forging, machining and casting that were expensive and time consuming [5]. Nowadays 3D printing and printers supports prototyping easily in the offices except from heavy industry and allow to us different type of materials. It has applications in many different areas like jewellery, footwear, industrial design, architecture, automotive, aerospace, dental and medical industries [6]. Designers, engineers and hobbyists are used 3D printing for concept development and product design to speed up the design process [7]. The important applications for medicine are the design development, and manufacturing of medical models. This need to achieve the production of virtual and physical anatomical models before surgery planning [8]. In this study, it is explained how CT images of a human humerus bone are converted to 3D model and which steps are followed until the end of the printing.

2. Material And Method

There are 206 bones in our skeletal system. All bones consist of a dense, solid outer layer known as compact bone and an inner layer of spongy bone. Bones have 30% organic matrix supporting flexibility and tensile strength, and 70% inorganic salts supporting hardness [9]. Bones are exposed to compressive, tensional, shearing, torsional and bending loadings. In the case of loading beyond their ultimate strength or fatigue, bones can fracture [10]. Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Computerized Tomography (CT) are the units using radio waves for diagnosis. CT and MRI images provides layer films of the basic geometry of biomechanical models used for mechanical analysis [11]. The basic principle of CT is similar with X-ray units. MRI principle is based on the vibration of protons under magnetic field [12]. After the developments in technology and researches, MRI is used in many fields such as biomedical, chemistry and engineering applications. Materialise's Interactive Medical Image Control System (MIMICS) is an interactive software for visualization and segmentation using by CT and MRI images. CT and MRI image layers should be in The Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) format to use in Mimics and those are created as surface form. Surface form is converted to 3D solid model in the last step of 3D model creating. 3D models have geometrical and dimensional variations due to the number of layers and resolution of images [13]. After modeling in Mimics, it can require validation and correction of the 3D model surfaces because of the flanges, tissue and implant adhesion. Then 3D solid model is saved as STL format that contains the three nodes of each triangle and defines the normal direction of the triangle [14]. Finally, Simplfy 3D software provides transmission of STL data to printer and production is carried out. All steps of rapid prototyping used in this study can be seen in the Figure 1.

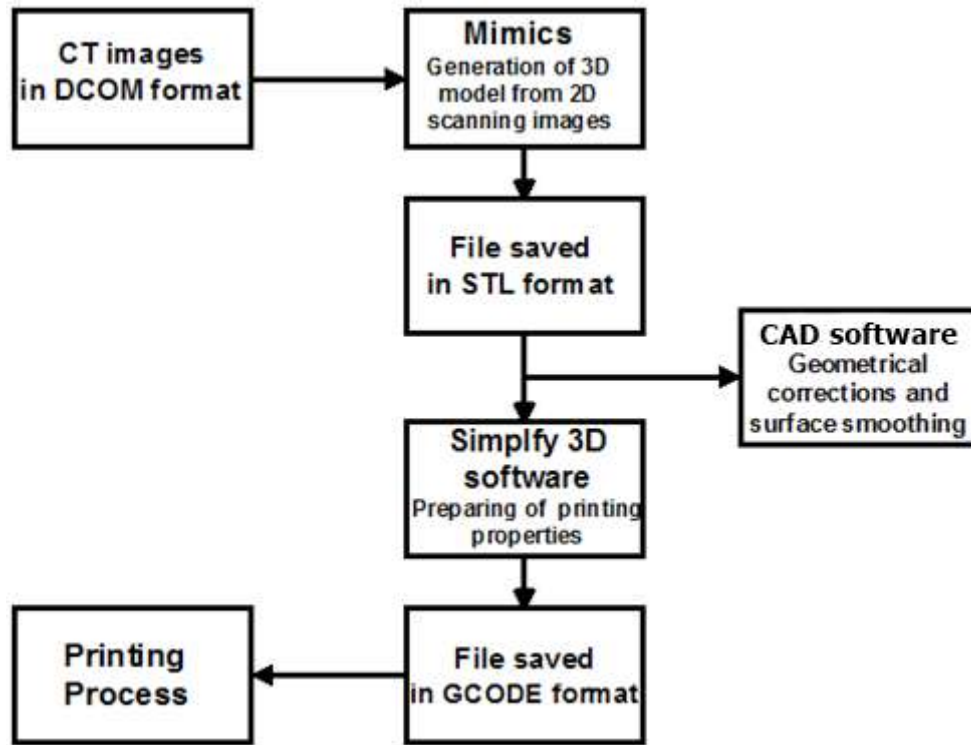


Figure 1. RP process

2.1. Modeling And Printing Of An Anatomical Structure: Humerus Example

As an example of modeling and printing process of an anatomical structure, humerus bone is examined. The **humerus** is the long bone which is located between the elbow joint and the shoulder and a rotational joint provides to connect of it to the shoulder as seen in Figure 2(a). Humerus bone supports many of physical activities such as throwing, lifting, and writing (Figure 2(b)). As a consequence of it, it is also one of the most commonly broken or fractured bones [15]. Image processing of the humerus CT slices in the DICOM format were performed using the Mimics software as seen in Figure 3(a). The quality of the scanning images is an important parameter for creating 3D model. General steps of Mimics can be put in order as follows: (i) *thresholding* that provides segmentation of CT data, (ii) *calculating a 3D model* after green mask is created (iii) *region growing* required for separation the bone and removing any floating pixels, (iv) *image edit* for adding or erase defects and boundaries of the image.

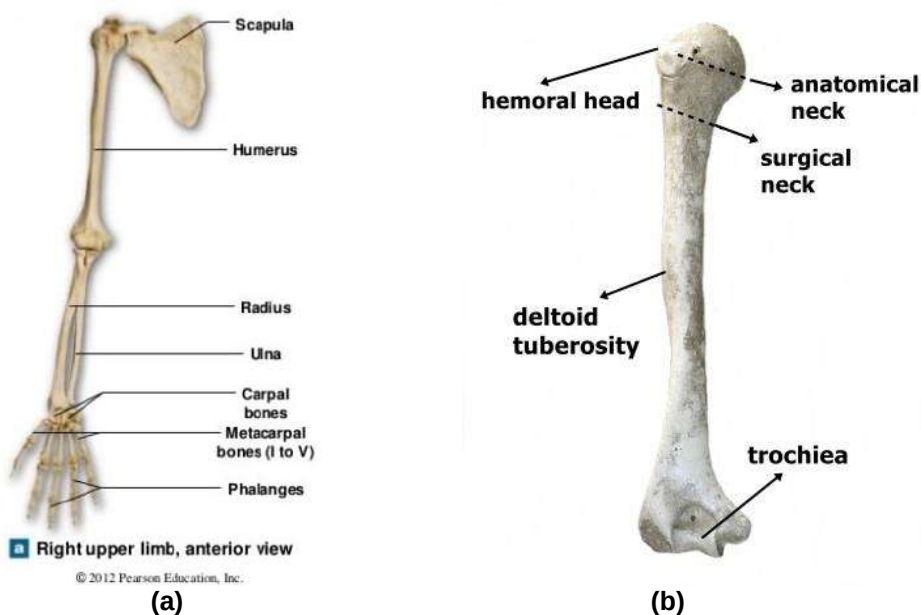


Figure 2. (a) upper limb bones (b) parts of humerus bone

Mimics Innovation Suite 17.0 program is provided for this study by Btech Innovation Inc. Company (Ankara, Turkey). After 3D model of humerus is created from 2D images, it has got irregularity related to the geometry and they should be corrected based on the real humerus bone anatomy. Subsequent 3D model is formed by using CAD software called *Solidworks 2014* in the laboratory of Yıldırım Beyazıt University. Some geometrical corrections and surface smoothing are made (Figure 3(b)).

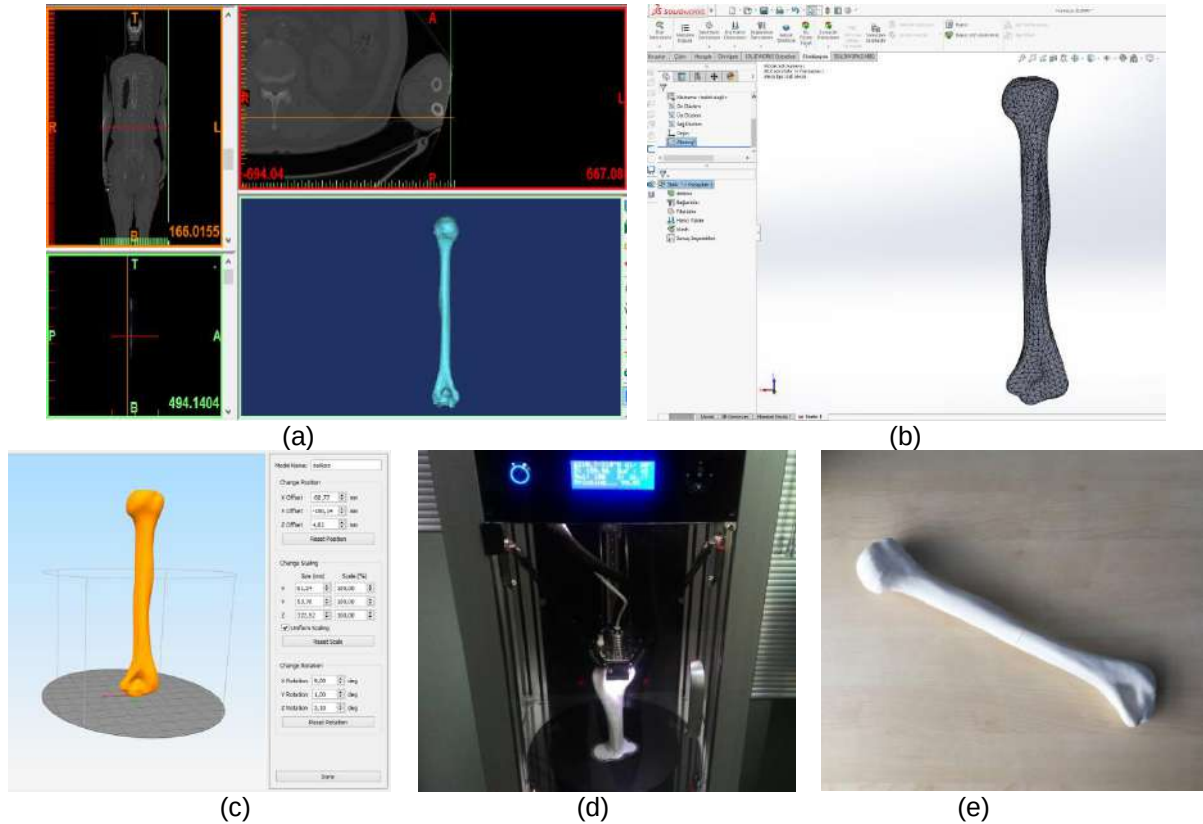


Figure 3. (a) Converting of 2D images into 3D model (b) Geometrical corrections and meshing (c) Preparing for 3D printing (d) Printing process (e) 3D model of the bone

The final model saved in the STL format is transmitted to the program called as *Simplify 3D* software that is required to send the data to the 3D printer as seen in Figure 3(c). Printing parameters including raft and support shown in Table 1 are selected in this software, then the file is saved in G-Code format before being sent to the printer. The printing process is carried out with *Mass Portal Pharaoh ED* Printer machine (Figure 3(d)). This printing machine uses the Fused deposition modelling (FDM) method to print that FDM is an RP technique that creates the 3D model by depositing layers of thermoplastic material [16]. In this method, material passes through a heated nozzle that makes the material as semi-melted and solidifies on the surface (Figure 4(a)). The extruder head moves around x-y plane and it moves upwards in the z plane to make the another layer (Figure 4(b)). It can take form a few hours to a few days to create the 3D model with respect to the properties such as printing speed, infill percentage, complexity of the part etc. After process is complete, the part can be removed from the machine. In Figure 3(e), it is seen the final appearance of the humerus bone of which material is PLA (Polylactic Acid) thermoplastic.

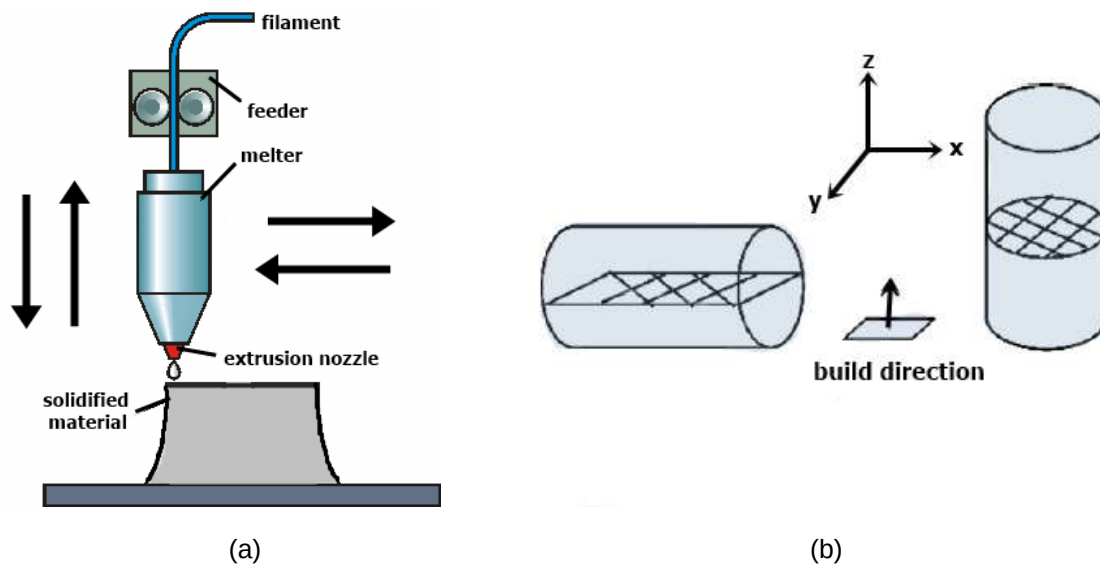


Figure 4. (a) FDM process (b) build direction of a part in axial and transverse direction [16]

Table 1. Printing properties

Parameters	Values/types
Nozzle diameter	0,40 mm
Primary layer height	0,20 mm
Outline/perimeter shells	3
Infill percentage	15%
Internal fill pattern	Full honeycomb
Temperature of primary extruder	210°
Bed temperature	60°

3. Conclusions

In this study, it is aimed to generate a medical model of humerus bone as an example that can be used in the laboratory applications of Medicine and Health Sciences. The availability of the anatomical models are limited due to the cost of them. RP provides cheaper production and utility to improve the understanding of anatomy in the laboratories. All steps are put across from initial condition for RP of humerus bone. RP also provides production of some medical tools and functional parts such as training models, implants etc. Therefore this technique becomes an alternative way for conventional manufacturing methods. Although it has still limitations like variety of materials and mechanical performance, it is an evolving field and will be used widely in the near future.

References

1. Maughan, R.J., The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, 2nd Edition, Vol. XIX, Sports Nutrition, Wiley-Blackwell, 2013.
2. Knudson, D., Fundamentals of Biomechanics, 2nd ed., Springer, New York, 2007.
3. Lantada, A.D. and Morgad, P.L., Rapid Prototyping for Biomedical Engineering: Current Capabilities and Challenges, Annual Review of Biomedical Engineering, vol. 14, pp. 73-96, 2012.
4. Ventola, CL. Medical applications for 3D printing: current and projected uses. Pharmacy & Therapeutics, vol. 39, no 10, pp. 704-11, 2014.
5. Brennan, J., Production of Anatomical Models from CT Scan Data, Master Thesis, Faculty of Technology De Montfort University, England, 2010.
6. Biggins, P., Hiltz, J. And Kusterbeck, A., Bio-inspired Materials and Sensing Systems, RSC Pub., Cambridge, 2011.

7. Lipson, H., Kurman, M., Fabricated: The New World of 3D Printing, John Wiley & Sons, Indianapolis , 2013.
8. Milovanović, J., Trajanović, M., Medical applications of rapid prototyping, Mechanical Engineering, vol. 5, no 1, pp. 79 – 85, 2007.
9. Lasch, P., Kneipp, J., Biomedical Vibrational Spectroscopy, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2008.
10. Hannon, P., Knapp, K., Forensic Biomechanics, Lawyers & Judges Publishing, USA, 2006.
11. Baker, H.L Jr, Historical vignette: introduction of computed tomography in North America, AJNR Am J Neuroradiol , vol. 14, pp. 283-7, 1993.
12. McRobbie, D.W., Moore, E.A., Graves, M.J. and Prince, M.R., MRI From Picture to Proton, 2th ed., Cambridge University Press, UK, 2007.
13. Huang, C., Chen, H. S., Tsai, I.B., Hsiung, J.C., Lee , J.N., Kung , H.K., A Study of the Knee Cartilage Surface Features for the Custom-made Artificial Knee Joint Design, Life Science Journal, vol 11, no. 10, pp. 1153-1159, 2014.
14. Rypl, D., Bittnar, Z., Generation of computational surface meshes of STL models, Journal of Computational and Applied Mathematics, vol 192, pp. 148 – 151, 2006.
15. Nather, A., Bone grafts and bone substitutes, Basic Science and Clinical Applications, Word Scientific Publishing, Singapore, 2005.
16. Lee, C.S., Kim, S.G., Kim, H.J., Ahn, S.H., Measurement of anisotropic compressive strength of rapid prototyping parts, Journal of Materials Processing Technology, vol. 187–188 , pp. 627–630, 2007.

MASAÜSÜTÜ 3 BOYUTLU YAZICILARIN POTANSİYEL RİSKLERİ

Fuat KARTAL

Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu/TÜRKİYE, fkartal@kastamonu.edu.tr

Özet

Kullanım alanı giderek artan 3 boyutlu yazıcı teknolojileri günümüzde her düzey ve yaş gurupları tarafından büyük ilgi görmüştür. Böylelikle yaygınlaşan bu teknoloji doğrudan kullanım nedeniyle alınması gereken tedbirler ve çevre şartlarının nasıl olması gerektiği sorusunu sormuştur. Kullanıcıların bilinçli bir şekilde insan sağlığı ve çevre açısından daha az zarar etkisi oluşturarak kullanabilmesi açısından bu çalışmada bazı tespitlere yer verilmiştir. Bu tespitler; ABS ve PLA gibi filamentlerin erimesi sırasında açığa çıkan toksik gaz ve dumanın insan sağlığı açısından tehdit oluşturması nedeniyle, çalışma ortamının havalandırılması ve yazıcı tablasının soğutulmadan bu havalandırma işleminin yapılabilmesi için denenen yöntemler değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı olarak uygun bir yazıcı ortamının nasıl olması gerektiği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda gerek yazıcının verimli ve uzun ömürlü olması gerekse insan sağlığı açısından daha az zararlı bir işleme ortamının tespiti yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: 3b yazıcı, PLA, ABS, Sıcaklık, Toksin, Partikül, Filament, Risk, Sağlığa etkisi.

Abstract

Expanding its area of use, 3D printer technology is now being used by a varying range of age groups and levels. Having received widespread attention, this technology gave rise to the question of actions to be taken and environmental conditions to be provided as it involves direct use of the operator. This study includes a number of evaluation results which will allow the 3D printer users to reduce the adverse effects of this technology on the human health and environment. These results involve better ventilation of the workplace, as toxic gasses and smoke produced by the melting ABS and PLA filaments threaten human health and experimental methods for the ventilation of the device without cooling the printer plate were evaluated. The optimal printer medium setting were investigated as the purpose of this study. A processing medium which has a reduced adverse effect on human health while increasing the life cycle of the printer and its efficiency was explained as the result of this study.

Keywords: 3d printer, PLA, ABS, Heat, Toxins, Particles, Filaments, Risk and the potential health effect.

1. Giriş

Bir katkı malzemeli üretim teknolojisi olan üç boyutlu baskı hızlı prototipleme ve küçük ölçekli imalatı daha kolay ve erişilebilir hale getirmiştir; bununla birlikte devrim niteliğindeki bu süreç risklerden uzak değildir. Bazı üç boyutlu baskı süreçlerinde termoplastik malzemeler ısıtılır, nozuldan dışarı aktarılır ve bir obje meydana getirmek üzere yüzeye yerleştirilir [1-4]. Bu sürecin bir yan ürünü olarak nanopartikül emisyonu (son derece küçük, bir milimetrenin 1/10,000'inden daha küçük partiküller) gerçekleşir. Düşük sıcaklıklı (PLA) (Poly(lacticacid)) hammadde kullanan bir üç boyutlu yazıcıdan dakikada 20 milyar partikül salınabilmekte iken yüksek sıcaklıklı (ABS)(Acrylonitrilebutadienestyrene) hammadde için bu rakam 200 milyara ulaşabilmektedir [5,6]. Çok küçük olmaları, geniş yüzey alanlarına sahip olmaları ve deri, akciğerler, sinirler ve beyin gibi vücut sistemleri ile etkileşime girebilmeleri nedeniyle nanopartiküller endişe uyandırmaktadır. Yüksek konsantrasyonlardakinanopartiküllere maruz kalmak, total ve kardiyorespiratuvar ölüm tehlikesi, inme ve astım semptomları gibi olumsuz sağlık sorunları ile bağdaştırılmaktadır [5-7]. PLA hammadde biyo-uyumlu olmak için tasarlanmış olsa da ABS hammaddenin ısı ayrışma ürünlerinin laboratuvar test canlıları üzerinde toksik etkileri olduğu kanıtlanmıştır. Birçok üç boyutlu yazıcının egzoz havalandırma sistemi ya da filtrasyon aksesuarları bulunmaması nedeniyle yazıcı konumu ve kullanılacak baskı malzemesi seçimi dikkatle yapılmalıdır [5]. Üç boyutlu baskının önemli ölçüde yaygınlaşmasıyla –teknoloji hakkındaki ilk tahminlerde olduğu gibi büyük bir ilgi olmasa da çok sayıda şirket ve tüketici bu teknolojiyle ilgilenmektedir- kurulduğu yerin ev ya da endüstriyel merkezler olması fark etmeksizin çalışma alanlarımıza tam olarak neyi soktuğumuz konusunda endişeler ortaya çıkmaktadır [5-8]. Bu endişelerin pek çoğu üç boyutlu yazıcıdan nelerin çıktığı ile ilgilidir. Stephens ve arkadaşları [5] tarafından yakın zamanda gerçekleştirilen bir çalışma yaygın olarak kullanılan plastik malzemelere bağlı olarak üç boyutlu yazdırılmış objelerin toksik olabileceğini göstermiştir. Birçok firma

toksik olmayan, sürdürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen 3D baskı malzemeleri geliştirmek için çalışmaktadır [7-10].

Bu çalışmada eritme yığıma yöntemiyle işleme yapan yazıcılardan ısıtma tablası (hotbed) ve eritme anında ekstruder ucunda açığa çıkan gazın solunması büyük risk oluşturmasını azaltabilecek önleyici faaliyetlere değinilmiştir.

2. Potansiyel Riskler

2.1. Zehirli Emisyonlar ve Riskler

Üç boyutlu yazıcılarda akıllara şu sorular gelmektedir; hava kalitesi üzerindeki etkileri nelerdir? Üç boyutlu bir yazıcıyı (genellikle) kapalı alandaki faaliyetlerde kullanmak ve çıkan gazlar ve diğer emisyonlar insan sağlığını olumsuz etkileyebilir mi ne düzeyde?

Illinois Teknoloji Enstitüsü araştırmacılarının gerçekleştirmiş olduğu yeni bir çalışma ticari olarak mevcut 3D yazıcıların kapalı alanlarda nano boyutlu ve potansiyel olarak zararlı önemli emisyonlara sahip olabileceğini ortaya koymuştur [5]. Yakın zamanda Atmosferik Çevre dergisinde yayınlanan bu çalışma ticari olarak mevcut 3D yazıcıların havaya karışan partikül emisyonlarını ölçen ilk çalışmadır. Masaüstü 3D yazıcılar günümüzde hızlı prototipleme ve küçük ölçekli üretim için ev ve ofislerde yaygın olarak kullanılmaktadır [1-4]. Pek çok 3D yazıcı, termoplastik hammaddenin ısıtıldığı, küçük bir nozul yoluyla üç boyutlu objeler oluşturmak üzere yüzeye uygulandığı bir sürece dayanmaktadır [1-4]. Bir dizi plastik hammadde kullanılan diğer çalışmalarda başta endüstriyel ortamlar olmak üzere birçok benzeri sürecin önemli oranlarda aerosolemisyona sahip olduğu ortaya koyulmuştur [5].

Illinois Teknoloji Enstitüsü, popüler ve ticari olarak mevcut bir 3D yazıcı tipinin ofis içerisindeki işletiminden kaynaklanan son derece küçük partikül konsantrasyonlarını ölçmüştür [5]. Son derece küçük partiküller (UKP) çapları 100 nanometreden küçük nano boyutlu partiküllerdir. Yazıcılar normal işletim şartları altında küçük objeler yazdırmak için kullanılmıştır. Elde edilen konsantrasyon ölçümleri daha sonra bu yazıcılardan elde edilen nanometreden küçük nano boyutlu partiküller emisyon oranlarını tahmin etmek için kullanılmıştır [5-10].

Toplam nanometreden küçük nano boyutlu partiküller emisyon oranı tahminleri, düşük sıcaklıklı polilaktik asit (PLA) hammadde kullanan 3D yazıcı için dakikada 20milyar partikül ile yüksek sıcaklıklı akrilonitrilbütadienstiren (ABS) hammadde kullanan 3D yazıcı için dakikada 200milyar partikül arasında değişiklik göstermektedir. Bu emisyon oranları diğer birçok cihaz ve kapalı alan faaliyetleri üzerine yapılan daha önceki ölçümler –elektrikli ya da gazlı ocak üzerinde ısıtma, kokulu mum yakma, lazer yazıcı kullanma ve hatta sigara yakma da dahil olmak üzere- ile benzerlikler göstermektedir. Son derece küçük partiküllerinsanlar tarafından solunum yoluyla alınması sağlık açısından önem teşkil edebilir [5]. Son derece küçük partiküller akciğerlerin yanı sıra solunum yollarında etkin bir şekilde birirmektedir [5-10]. Başta bulunan solunum yollarındaki birikim koku siniri yoluyla beyne iletme de neden olabilir. Son derece küçük partiküller geniş yüzey alanı emilen ya da yoğunlaşmış diğer bileşenlerin konsantrasyonlarının da yükselmesine neden olabilir. Çok sayıda epidemiyolojik araştırma yüksek konsantrasyonlardakinanopartiküllere maruz kalmanın total ve kardiyorespiratuvar ölüm tehlikesi, inme ve astım semptomları gibi olumsuz sağlık sorunlarına sebep olduğunu ortaya koymuştur [5-10]. PLA ve ABS bazlı 3D yazıcılar arasında gözlemlenen büyük emisyon farklılıklarına ek olarak, hammadde ve son derece küçük partiküller yan ürünlerinin kimyasal kompozisyonundaki farklılıklara bağlı toksisite farklılıkları da meydana gelebilir [5]. ABS işlemeden kaynaklanan ısıyı ayırma ürünlerinin fareler ve sıçanlar üzerinde toksik etkileri olduğu daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir; bununla birlikte PLA insanlarda biyo-uyumluluğu ile bilinmektedir. PLA nanopartikülleri ilaç uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [5-10]. Bu cihazlarının birçoğunun egzoz havalandırması ya da filtrasyon aksesuarlarına sahip olmayan bağımsız cihazlar olarak satılması nedeniyle araştırmacılar yeterince havalandırılmayan ya da filtrelenmeyen kapalı alanlarda kullanım için uyarıda bulunmaktadır [5-10]. Ayrıca, daha fazla sayıda masaüstü 3D yazıcının partikül emisyonlarını değerlendirmek için daha fazla kontrollü deney yapılması da tavsiye edilmektedir [5-10].

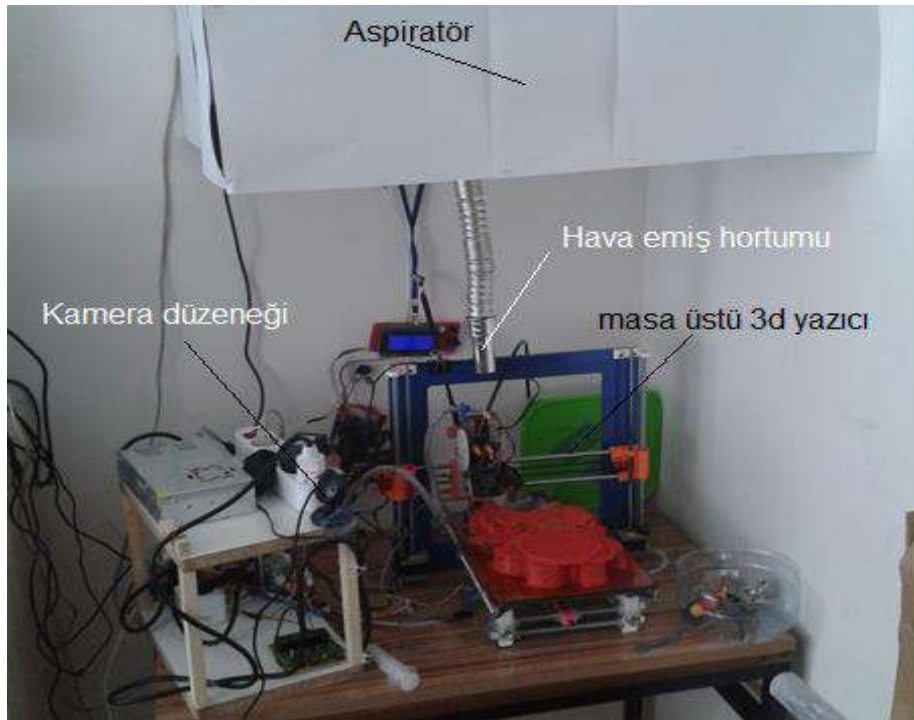
2.2. Yüksek Sıcaklık ve Yangın Riskleri

Tipik olarak kullanıcı plastiği 3D yazıcı için gerekli kıvamda eritmek için ekstrüderin sıcak ucunda 190-260C° arasında sıcaklıklar kullanmak isteyecektir. Tercih edilen sıcaklık kullanılan malzeme tipine ve gerekli kaliteye bağlıdır. Bu sıcaklıklar operatörde kötü yanıklara sebebiyet vermeye yeterlidir. Neyse ki 3D yazıcıların sıcak ucu oldukça küçüktür ve hayati tehlike teşkil edecek yanık riski düşüktür. PLA ile yazdırma sırasında ısıtılmış bir yapı plakasına ihtiyaç duyulmamaktadır ancak bunun kullanılması halinde sıcaklığın görece olarak düşük olması gerekir. ABS ile ise C° civarında tabla sıcaklıkları kullanılmaktadır. Bu sıcaklık yanıklara sebebiyet verebilecek kadar yüksektir ve yüzey alanı ekstrüderin sıcak ucuna göre çok daha yüksektir. Dolayısıyla yanıklar gerçekten endişelendiriyorsa PLA kullanılması tavsiye edilir,

böylece ısıtılmış yapı plakasına ihtiyaç dahi duyulmaz. 3D yazıcıda olduğu gibi ısıtma elemanları içeren diğer her elektrikli cihazda olduğu gibi yangın tehlikesi mevcuttur. 233 C° sıcaklığın kâğıdın tutuştuğu ve yanmaya başladığı sıcaklık olduğunu bilinmektedir. Bu değer kâğıdın kendiliğinden tutuşma sıcaklığı adını verdiğimiz ve kâğıdın alev almadan yandığı sıcaklıktır. Bununla birlikte, ortada bu değeri etkileyen birçok değişken olması nedeniyle bu kesin bir değer değildir ve kâğıdın kendiliğinden tutuşma sıcaklığı bundan yaklaşık 30°veya daha yüksektir. Peki, bu rakamlar 3D yazıcılar için neden önem taşıyor? Sıcak yüzey 233C° civarındadır ki bu ekstrüderin sıcak ucunun sıcaklık aralığı içerisinde. Güvenlik amacıyla kâğıt ve diğer herhangi yanıcı maddeleri 3D yazıcıdan uzak tutulmasında fayda vardır. PLA'nın kendiliğinden tutuşma sıcaklığı 388°C civarındadır ve kâğıtta olduğu gibi bu değer de değişiklik gösterebilmektedir. Daha önemlisi, bu sıcaklık ekstrüderin sıcak ucunun ulaşması gereken sıcaklıktan çok daha yüksektir. Plastiğin sıcak uç etrafında birikmesi halinde dahi yazdırılmakta olan plastiğin tutuşma olasılığı düşüktür ancak Termokupl arıza yaparsa sıcak ucun sıcaklık artışını durdurmak için yapılabilecek hiçbir şey yoktur. Bu durum özellikle güvenlik önlemleri alınmamış masaüstü 3D yazıcılar için son derece büyük bir sorundur. Buna ek olarak pek çok masaüstü 3D yazıcı günümüzde lazer kesimli kontrplaktan veya pleksi-glass malzemeden imal edilmektedir ve bu da yazıcının kendisinin yanıcı olmasına neden olmaktadır. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğu zaman kullanım esnasında 3D yazıcının mutlaka gözlemlenmesi gerektiği söylenebilir. 20 saatlik bir baskı işlemi sırasında yazıcının her an başında durmanın mümkün olmayabileceği açıktır. Ancak en azından düzenli kontroller yapılması, yazıcıdan fazla uzaklaşmaması ve 3D yazıcı çalışırken ev/ofisin terk edilmemesi tavsiye edilir. 3D yazıcının fiziksel olarak kontrolü için bir alternatif de küçük kablolu bir kamera kullanılmasıdır. Böylelikle baskı işlemi sırasında aynı binanın herhangi bir yerinde yazıcı kontrol edilebilir. Yazıcının bulunduğu odaya bir yangın alarmı kurulması ve yakınlarda bir yangın söndürücü bulundurulması da iyi bir fikir olacaktır. Yangın söndürücü kuru toz kullanılabilir ancak bunun hassas elektronik devrelere hasar verecek olması nedeniyle CO₂ bu amaçla en iyi çözümdür. Kısacası, yanıcı malzemeleri yazıcınızdan uzak tutulmalıdır. Yazdırma işlemi sırasında hiçbir zaman kendi başına bırakılmamalıdır. Yangın alarmı monte edin ve uygun boyutlarda bir yangın söndürücü bulundurulabilir.

3. Alınan Tedbirler

Bölüm 2 de bahsedilen hem sağlık hemde yangın açısından değerlendirilen masaüstü açık kaynak kodlu üç boyutlu yazıcıların daha sağlıklı ve insana ve çevreye daha az zarar verebilmesi için geliştirilen havalandırma sistemi ve uzaktan kontrol için internet erişimli kamera düzeneği kullanılmıştır. Geliştirilen düzenek 1 Şekil 1'de gösterilmiştir. Açığa çıkan ısıtıcının ortamın ısısını artırmaması ve açığa çıkan gazın toplanması için düzenek 2 geliştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Havalandırılmalı ve kamera ile uzaktan kontrol edilebilen 3b yazıcı düzeneği.



Şekil 2. Havalandırma ve sıcak hava toplama kabini düzeneği (düzenek 2).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında elde edilen bilgi ve deneyimler sıralanacak olunursa;

- Filament eriterek 3 boyutlu model oluşturan yazıcılarda, ABS ve PLA kullanılmış olsa bile çalışma ortamı iyi havalandırılmalıdır. Hatta aspiratör gibi hava emiş sistemleri kullanılabilir.
- Üç boyutlu yazıcı tamimiyle kapalı bir kabin içerisine yerleştirilmemeli, aks halde elektronik devrelerin tam olarak soğutulması sağlanamadığı için devrelerin aşırı ısınarak yanmasına neden olabilir.
- Yazıcının internet erişimi ile uzaktan bağlantı metoduyla kamera ve elektronik düzeneklerle sistemin kontrolü sağlanabilmelidir.
- ABS ve PLA için optimum nozul ve tabla sıcaklıkları ayarlanmalıdır.
- İş parçası yazdırıldıktan sonra açık havada bekletilmelidir.
- Mümkünse elektronik kartlar yazıcıdan ayrı bir bölümde olmalı, yazdırılan alan ve hareket ekipmanları kabin içersine alınmalıdır.

Referanslar

1. Frauenfelder, M. (2013). *Make: Ultimate guide to 3D printing 2014*. Maker Media, Inc.
2. Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., & Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, 23(6), 713-726.
3. Anzalone, G. C., Zhang, C., Wijnen, B., Sanders, P. G., & Pearce, J. M. (2013). A low-cost open-source metal 3-D printer. *Access, IEEE*, 1, 803-810.
4. Pearce, J. M. (2012). The case for open source appropriate technology. *Environment, Development and Sustainability*, 14(3), 425-431.
5. Stephens, B., Azimi, P., El Orch, Z., & Ramos, T. (2013). Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. *Atmospheric Environment*, 79, 334-339.
6. Afshari, A., Matson, U., & Ekberg, L. E. (2005). Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber. *Indoor air*, 15(2), 141-150.
7. Andersen, Z. J., Olsen, T. S., Andersen, K. K., Loft, S., Ketzel, M., & Raaschou-Nielsen, O. (2010). Association between short-term exposure to ultrafine particles and hospital admissions for stroke in Copenhagen, Denmark. *European heart journal*, 31(16), 2034-2040.
8. Baughman, A. V., Gadgil, A. J., & Nazaroff, W. W. (1994). Mixing of a point source pollutant by natural convection flow within a room. *Indoor air*, 4(2), 114-122.
9. Dennekamp, M., Howarth, S., Dick, C. A. J., Cherrie, J. W., Donaldson, K., & Seaton, A. (2001). Ultrafine particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking. *Occupational and Environmental Medicine*, 58(8), 511-516.
10. He, C., Morawska, L., & Taplin, L. (2007). Particle emission characteristics of office printers. *Environmental science & technology*, 41(17), 6039-6045.

HIZLI PROTOTİP OLUŞTURMADA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

H. Rıza BÖRKLÜ^a, A. Kivanç YILDIRIM^b ve H. Kürşad SEZER^c

a, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, rborklu@gazi.edu.tr

b, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anab. Dalı YL Öğrencisi, Ankara/TÜRKİYE, arslan1000@gmail.com

c, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, kursadsezer@gazi.edu.tr

Özet

Hızlı Prototip Oluşturma (HPO, Rapid Prototyping - RP), Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) verisinden ince tabakalar şeklinde fiziki nesneler üretmeyi amaçlar. Böylece oluşan gerçek modeller çeşitli iş ve işlemlerde kullanılabilir (çeşitli testler, boyut kontrolü, döküm model, müşteriye teklif/sunu, prototip ve hatta gerçek parça vb.). Son yıllarda bu alanda birçok teknoloji ve yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında: Stereolitografi (optik üretim, foto katılaştırma vb. de denebilir), Seçici lazer sinterleme, Ergiyik birikimli modelleme, 3B baskı (3 Boyutlu baskı), Katmanlı nesne imalatı, Çok püskürtmeli modelleme, Lazerle yapılan net biçimlendirme vb. gösterilebilir. Bu teknoloji ve yöntemler ile kolay, hızlı, ucuz ve otomatik modeller geliştirilebilir. Ancak, uygulama esnasında ise bazı özel ve genel problemlerle karşılaşılabilir. Bu tür problemler arasında; karmaşık ve büyük parçaları modelleme, demontaj, ölçü tamlığı, yüzey hassasiyeti, işlem hızı vb. gösterilebilir. Bu bildirikapsamında hızlı prototip oluşturma esnasında karşılaşılan özel ve genel problemler ele alınacak ve çözüm yolları tanıtılacaktır.

Anahtar kelimeler: Hızlı prototip oluşturma, 3B Baskı, Tersine mühendislik.

PROBLEMS ENCOUNTERED DURING THE RAPID PROTOTYPING AND THEIR SOLUTION PROPOSALS

Abstract

Rapid Prototyping (RP) is intended to produce physical objects as thin layers from Computer Aided Design (CAD) data. Real models produced this way can be used in a variety of business and operations (various tests, dimensional control, casting models, customer offers / presentations, prototypes and even real parts and so on.). Many technologies and methods have been developed in this area in recent years. These include: Stereolithography (can be termed as optical production, photo-solidification and so on), Selective Laser Sintering, Fused Deposition Modelling, 3D printing, Laminated Object Manufacturing, Multi-jet Modelling, Laser Net Shaping and so on. With this technology and methods, easy, fast, inexpensive and automatic models can be developed. However, some specific and general problems may be encountered during the application. Such problems are; complex and large parts modelling, disassembly, dimensional accuracy, surface accuracy, processing speed, and so on. In this paper, general and specific problems encountered during the rapid prototyping will be discussed and solutions will be introduced.

Keywords: Rapid prototyping, 3D Printing, Reverse engineering.

1. Giriş

Hızlı Prototip Oluşturma (HPO), CAD verisinden ince tabakalar şeklinde gerçek parça / nesne üretmede kullanılan bazı teknolojileri içermektedir. Bu teknolojilerle hızlı 3B prototipler oluşturulabilir ve böylece de gerçek model üzerinde çalışma (test, boyut kontrolü vb.) mümkün olur. Ayrıca kalıp ve gerçek parçalar da yapılabilir. Özellikle küçük parti üretimlerinde çok faydalı olabilir. Burada "hızlı" ifadesi CAD verisinden makineye hızlı geçişi belirtir (çabuk üretimi değil). HPO'nun genel avantajları şöyle belirtilebilir [1, 2]:

- Hemen her tasarıma uygulanabilir ve tam otomatik yapılabilir.
- Kullanımı oldukça kolaydır ve çok az ön / son işlem gerekir.
- Prototip maliyeti az olur ve farklı tasarım seçenekleri kolay elde edilebilir.
- Gerçek model hataları kolay kontrol edilebilir.

Genel dezavantajları ise [1, 2]:

- Genel hassasiyet < 0,1 mm olur.

- Malzeme özelliklerine bağlı ürün çok kırılabilir ve bazen de son işlem gerekir.
- Eğimli bir yüzey bazı tabakalardan oluşacağı için düzgün olmaz (merdiven etkisi).

HPO teknikleri, şu işlem adımlarını içerir [2, 3]:

- Bir CAD model oluşturmak (tasarım / 3B tarama yaparak)
- CAD verisini STL formatına dönüştürmek (STL-Standart Üçgenlere bölme Dili). Hassasiyet STL sayısına bağlı artabilir ama dosya da büyür.
- (Gerekirse) Bir destek yapısı oluşturmak (bu sonra imha edilir).
- STL dosyasının tanımladığı nesne profilini kesit şeklinde tabakalara ayırmak.
- İnce tabakalar şeklinde modeli otomatik oluşturmak.
- Son işlem uygulamak (bitirme / temizleme, destek yapısını çıkartma vb.).

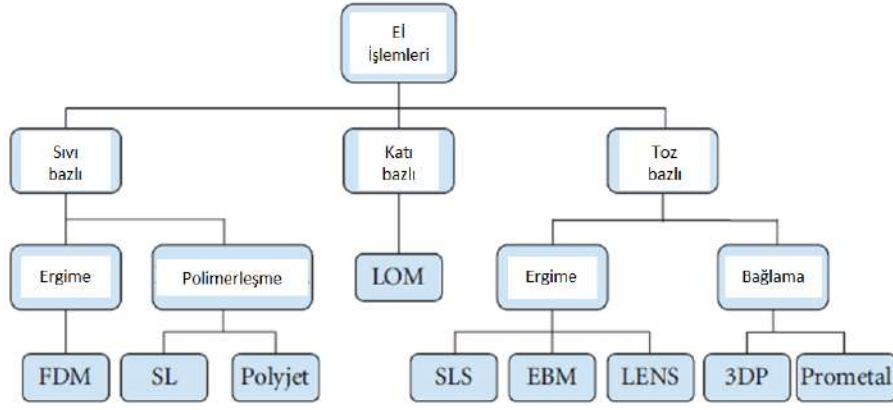
1980 yılında Dr. Kodama bu alanda ilk patente Japonya'da başvurmuş ama yarım kalmıştır. Sonra aynı amaçlı ilk patent C. Hull tarafından Stereolithografi Aparatı -SLA- için 1986'da alınmıştır -ki Hull 1983'te SLA makinesini yapmış ve 3D Systems firmasını da kurmuştur. Aynı firma bu alanda faaliyet gösteren halen en büyük kuruluştur. 3D Systems, ilk ticari HPO sistemi SLA-1'i 1987'de tanıtmış ve 1988'de satışa sunmuştur. Yine 1987'de C. Deckard, Seçici Lazer Sinterleme (SLS) için patent başvurusu yapmış ve 1989'da almıştır. DTM bu patentin lisansını almış ama sonra 3D Systems'e devretmiştir. Yine 1989'da S. Crump (Stratasys'in kurucusu), Ergiyik Birikimli Modelleme (FDM) için patent başvurusu yapmıştır. Aynı zamanda 1989'da Almanya'da EOS GmbH kurulmuştur (lazer sinterlemede uzman). Bu firma şu anda kaliteli endüstriyel 3B baskı oluşturma ve üretim uygulamaları ile ünlüdür. Bu firma ilk "Stereos" sistemini 1990'da satmış ve Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) işlemini de geliştirmiştir. Aynı yıllarda diğer 3B baskı ve işlemler geliştirilmiştir. Yani; Balistik Partikül İmalatı (BPM), Katmanlı Nesne İmalatı (LOM), Katı Zemin Oluşturma (SGC) ve 3B baskı. 90'lı yıllarda mevcut HPO firmalarından sadece 3D Systems, EOS ve Stratasys ayakta kalabilmiştir. 90'lı ve 2000'li yıllarda bu alanda birçok Ar-Ge faaliyeti yürütülmüş ve yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Özellikle bunlar: Hızlı Kalıp Yapımı, Hızlı Döküm ve Hızlı İmalatı içerir. Bu yıllarda birçok yeni firma kurulmuştur. Kaynak alanında da çalışmalar yapılmıştır [4, 5].

Bu teknolojilerin tümü artık Eklemeli İmalat (Eİ / AM) olarak anılmaktadır. Bu teknolojilerin genel bir tasnifine ait bir şema Şekil 1'de görülmektedir. Eİ teknolojileri, 3B hızlı modeller oluşturmada kullandıkları malzeme yapılarına göre, şu üç gruba ayrılır [3]: Sıvı bazlı, Katı bazlı ve Toz bazlı. Bunlardan sıvı bazlı olanla ergime (FDM) ve polimerleşme (SL/SLA, Ployjet/MJM) şeklinde iki alt gruba ayrılmaktadır. Katı bazlı malzeme sadece LOM işleminde kullanılmaktadır. Toz bazlı malzeme ise ergime ve bağlama şeklinde kullanılmaktadır. Bunlardan ergime; SLS, EBM (Elektron Işın Ergitmesi) ve LENS teknolojilerinde uygulanmaktadır. 3DP ve Prometal ise bağlamaya dayalı Eİ teknolojisi içermektedir. Bu alandaki çalışmalarda şu iki husus vurgulanabilir [6, 7]:

1. Bu teknoloji hala çok pahalı ve böylece; çok kıymetli, yüksek düzeyli mühendislik gerektiren ve pahalı parçalara uygundur.
2. Bazı 3B baskı imalatçıları "Kavram Modelleyici" geliştirmektedir. Bu sistemler kavram geliştirme ve işlevsel prototip oluşturmada kullanılır (büroya uygun, kolay kullanılabilir ve ekonomik sistemler).

Fiyat artışına bağlı olarak baskı kalitesi, hız ve malzemeler de iyileşmektedir. 2007 sonrası fiyatlar çok düşmüş ve kullanım yaygınlaşmıştır. 2009 sonrası ise malzeme birikimli sistemler artmış ve ucuzlamıştır. 2012'den sonra yeni ve meşhur markalar görülmektedir [5, 6].

Bu bildirinin bundan sonraki kısımları şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölümde mevcut ve yaygın kullanılan Eİ/HPO teknolojilerin genel ve kısa bir tanıtımı yapılacaktır. 3. Bölümde ise bu teknolojilerde karşılaşılan problemler belirtilecek ve bunların giderilmesi veya etkilerinin azaltılması yönünde önerileri sunulacaktır. Son Bölümde ise araştırma bulguları kısaca değerlendirilecek ve yeni çalışma istikametleri vurgulanacaktır.



Şekil 1. Eklemeli İmalat teknolojilerine ait genel bir tasnif şeması [3].

2. Mevcut Eİ/HPO Teknolojileri

Eİ ve/veya HPO amaçlı birçok teknolojik yöntem kullanılmaktadır. Halen 10'dan fazla ticari Eİ/HPO işlemi ve 5'in üzerinde kavram modelleme işlemi vardır. Plastik, seramik, metal ve ağaç benzeri kâğıt malzemelerden nesneler oluşturabilen birçok ticari teknik vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir [1, 2, 8]:

1. Stereolitografi (SL / SLA)
2. Seçici lazer sinterleme (SLS)
3. Ergiyik birikimli modelleme (FDM)
4. 3B Baskı (3DP – 3 Boyutlu Baskı)
5. Katmanlı nesne imalatı (LOM)
6. Çok püskürtmeli modelleme (MJM)
7. Lazerle yapılanet biçimlendirme (LENS)

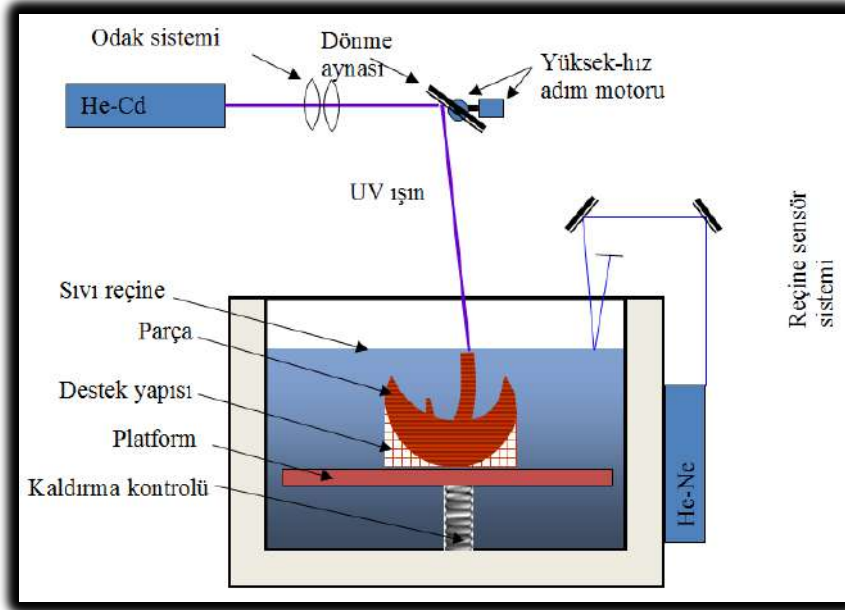
Bu teknolojilerin genel tanımları ve önemli özellikleri aşağıda daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2.1. Stereolitografi (SL / SLA)

Stereolitografi (SLA-Stereolitografi Aparatı), 3D Systems Inc. tarafından 1987'de piyasaya sürülmüş ve şu ana dek en fazla kullanılan HPO yöntemi olmuştur (Bu yöntem; optik üretim / imalat, foto katılaştırma, katı serbest biçim üretimi, katı görüntüleme, HPO, reçine baskı ve 3B-baskı olarak da anılır). Bir reçine banyosunda istenen alana etki ettirilen lazer ışını ile işlem yapılır (Şekil 2). Tabakalar tamamlandıkça, daha önce işleminden geçen alan üzerine sıvı reçine akması için alçalır. Bir silecek üst taraftaki fazla reçineleri temizler. Bu işlem nesne oluşana dek sürer. Arkasından nesne sıvıdan çıkartılır, reçine süzülür ve bir çözücüde yıkanarak atıklardan temizlenir. Sonra UV-fırına konulan nesne üzerindeki tüm reçineler katılaştır. İşlem süresi, toleranslar ve yüzey kalitesi tabaka kalınlığına bağlıdır. Bu kalınlık ise 0,05-0,5 mm arasında değişir [1, 2].

Küp polimer oluşturma, stereolitografi ile prototip yapma işlemini ifade eder. 1980'de C. Hull tarafından geliştirilmiş ve 3D firması ile de ticari hale dönüşmüştür. Küp polimer oluşturma: 1) Vektörel tarama (noktasal), 2) Alan (yüzey) izdüşümü ve 3) İki fotonla polimer oluşturma (hassas nokta) şeklinde olur. (1) ve (3)'üncü yöntemler, nokta tarayan lazer ışını; (2)'de ise tüm katman tek bir işlemle yapılır. (1) ve (2)'de yeni reçine sağlama gerekir; (3)'de gerekmez. SLA makineleri; tekrar kaplama, platform, lazer ve optik kontrol sistemi vb. çeşitlere ayrılabilir. Bu tekniğe ait özellikler [9, 10]:

- Katılaşma işlemi süresine bağlı çarpıklıklar oluşması
- Üretilen parçaların kırılğan olması
- Destek yapıları gerekmesi
- Katılaşmayan malzemenin zehirli olması vb. şekilde özetlenebilir.

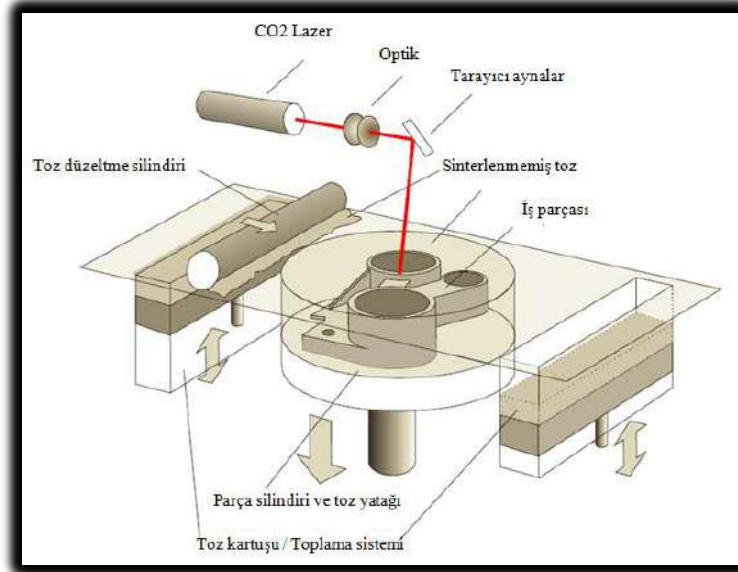


Şekil 2. Stereolitografi [11].

2.2. Seçici Lazer Sinterleme (SLS)

1989'da Teksas Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. İşlem, bir platform üzerine ince toz katman serilmesi ve ergime sıcaklığına yakın ısıtılmasına dayanır (Şekil 3). Daha sonra ise bir karbondioksit lazeri bu toz malzemeyi biraz daha ısıtarak ergitir. Bu şekilde süren ve tekrarlayan işlem nesneyi ince tabakalar şeklinde oluşturur (0,10-0,15 mm kalınlıkta). Lazer yeni tabakaya etki ettiğinde, bir önceki katmanı ergitir ve yapıştırır. Oluşturulan nesne oda sıcaklığına kadar soğutulur, aşırı ve artık tozlar fırçayla temizlenir ve sonra da nesne toz malzemeden çıkartılarak işlem tamamlanır. Parça kumlanarak sinterlenmemiş tüm partiküller temizlenir. Nesneyi çevreleyen partiküller, destek malzemesi işlevi yapar ve böylece de ilave bir destek yapısına gerek duyulmaz. Ayrıca bu yöntemle aynı sürede daha fazla nesne (parça) oluşturulabilir. Atık tozlar tekrar kullanılabilir ama iyi kalite elde etmek için yeni malzeme ile karıştırılması önerilir. Bu işlemde kullanılan malzemeler; genelde naylon, cam katkılı naylon ve polyesterdir. Bu yöntem, metal ve seramik nesneler ve doğrudan takım uçları üretiminde bile kullanılabilir. Seçici lazer sinterleme yönteminin özellikleri [1-3,10]:

- Fonksiyonel parça yapıldığından son malzeme kullanılması
- İyi mekanik özelliklere sahip olması (oluşturma konumuna bağlı)
- Toz halinde yüzey oluşması
- Kontrol için birçok değişken bulunması
- Destek gerekmemesi şeklinde belirtilebilir.

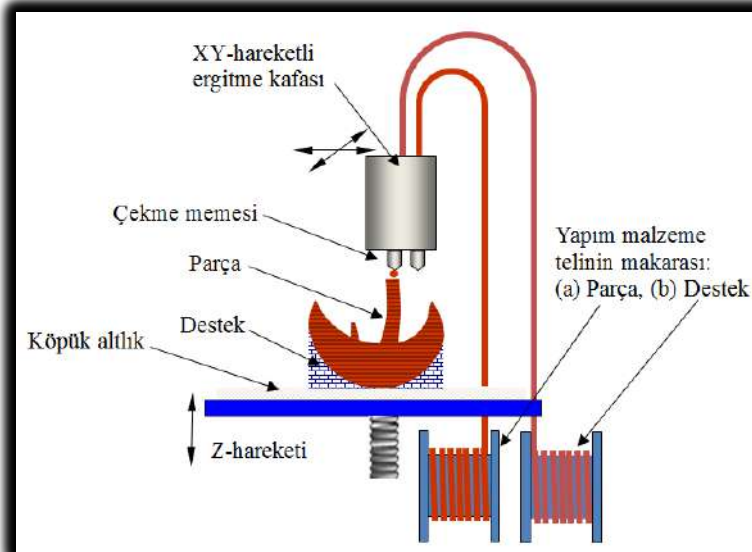


Şekil 3. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) [10].

2.3. Ergiyik Birikimli Modelleme (FDM)

Ergiyik birikimli modelleme, ikinci en yaygın kullanılan hızlı prototip oluşturma işlemidir ve Strasys tarafından geliştirilmiştir. Bir spiralden çözölen plastik bir iplik tel, merdane başlığa yollarır, burada da ısıtılır ve küçük bir memeden çıkartılır (Şekil 4). Merdane başlık, numune tablasına monte edildiği için, gerekli geometri bir defada tek tabaka olarak oluşturulabilir. Ergimiş plastik, birikip alt tabakaya yapıştıktan sonra katılır. Destek malzemesi de benzer şekilde diğer ekstrüzyon (çekme) kafasından yayılır. Üzerinde nesne oluşturulan platform, bir tabaka kalınlığı kadar indirilir. Tüm sistem ısıtılan bir fırın odasında yer alır ve burası polimer camlaşma sıcaklığı üzerinde normal bir sıcaklıkta tutulur. Gerilmeler normalleşeceği için bu durum işlemin daha iyi kontrolünü sağlar. SLA işlemindeki gibi fazlalık unsurların desteklenmesi gerekir. Ticari olarak mevcut suda çözünebilir destek malzemeleri bu son adımı kolaylaştırır. ABS, polikarbonat ve polisülfür genelde FDM işleminde kullanılan malzemelerdir. FDM tekniğine ait özellikler [1, 2, 11]:

- Sessiz çalıştığı için bürolarda kullanılabilmesi
- Oldukça hızlı küçük parçalar oluşturmaları
- İyi mekanik özellikler elde edildiği için fonksiyonel parça üretmeye uygun olması
- Birçok malzeme kullanılması vb. gibi belirtilebilir.

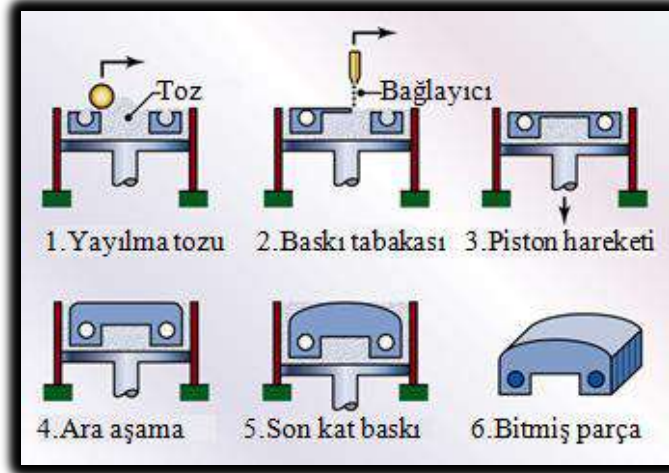


Şekil 4. Ergiyik Birikimli Modelleme (FDM) [11].

2.4. 3B Baskı (3DP)

Bazı ders kitaplarında “üç boyutlu baskı” (3B) ifadesi, tüm hızlı prototip oluşturma işlemleri için kullanılır. Burada MIT’te geliştirilen işlem tanıtılacaktır. Bu işlemde toz tabakası bir platform üzerine serilir (Şekil 5). Bu partiküller bir sıvı yapışkan vasıtasıyla seçime bağlı olarak bağlanır. Bu sıvı çok kanallı püskürtme kafası tarafından iki boyutlu bir desene (modele) biriktirilir. Mevcut tabaka tamamlandığında, bir tabaka kalınlığı kadar platform aşağı iner ve böylece yeni katman oluşturulabilir. Bu işlem, toz yatağında tüm nesne şekillenene dek tekrarlanır. İşlem bittiğinde nesne kaldırılır ve fazlalık tozlar temizlenir, narin nesne ortaya çıkar. Mekanik özellikleri iyileştirmek için diğer bir malzeme eklenerek (emdirilerek) parça kuvvetlendirilir. Çevredeki toz partiküller fazlalık unsurları desteklediği için ek destekler gerekmez. Bağlayıcı maddeye renk eklemek sureti ile nesne her renkte oluşturulabilir. Nişasta/kola, alçı, ilaç (belirli dozda tıbbi ürün), seramik ve metaller, 3B baskı için genelde kullanılan malzemelerdir. 3B Baskıteknığının özellikleri[1-3, 12]:

- Sınırlı çözünürlük ve yüzey kalitesi olması
- Narin nesneleri filtre etme ihtiyacı şeklindedir.

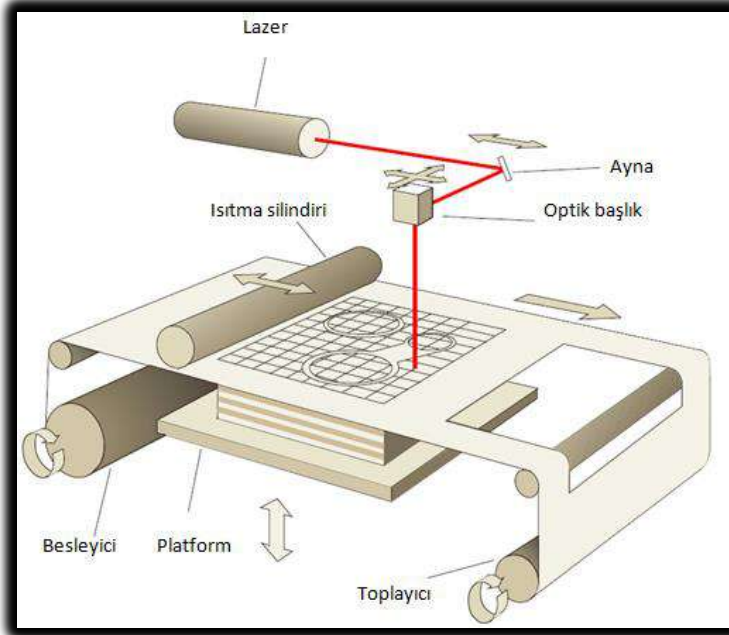


Şekil 5. 3B Baskı [12].

2.5. Katmanlı Nesne İmalatı (LOM)

Katmanlı nesne imalatında, arka tarafında polietilen kaplaması olan bir yaprak kâğıt (bir rulodan beslenen), bir platforma yerleştirilir (Şekil 6). Bu kaplama, ısıtılmış bir silindir tarafından ergitilir, böylece de kâğıt platforma yapıştırılır. Arkasından, bir karbondioksit lazer nesnenin kesit ve sınırlarını (alanını) kesip çıkarır. Aynı zamanda lazer alan içindeki modeli (deseni) çevreleyen tarama işaretleri veya küpleri de oluşturur. Bu küpler, model için bir destek yapısı görevi ifa eder. Lazer bir tabakadaki işlemleri bitirdiğinde yeni bir kâğıt yaprakdevreye girer. İşlem tamamlandığında, model bir kâğıt bloku şeklinde elde edilir. Tüm çevreleyen küpler çıkartıldığında, bitirilmemiş parça zımparalanır. Kâğıt malzemenin nem ve sıcaklıktan etkilenmesi ve zarar görmesi, model kaplanarak azaltılabilir. Son yüzey durumu ve hassasiyet, benzer diğer yöntemler kadar iyi değildir, ancak nesneler ağaç gibi özelliklere sahiptir ve aynı işlemlere tabi tutulabilir. Bu tekniğin özellikleri[2, 3, 10]:

- Ek katılma gerekmemesi ve büyük parça yapılabilmesi
- Ek işlemin hemen yapılması ve sızdırmazlık gerekmesi (rutubete karşı) şeklindedir.

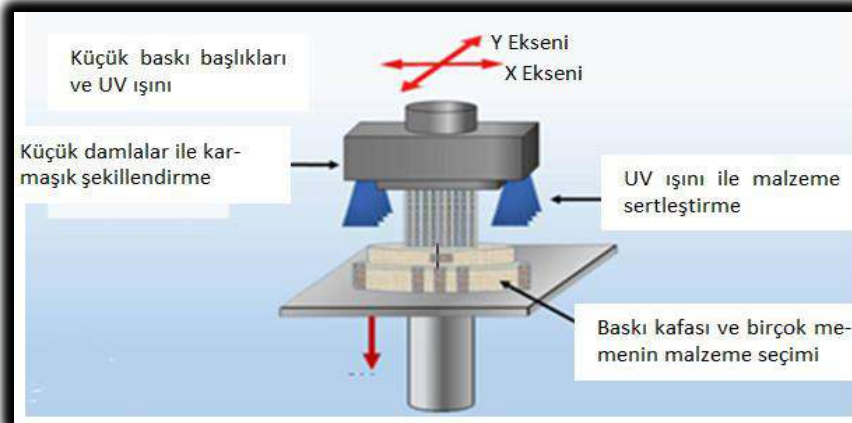


Şekil 6. Katmanlı Nesne İmalatı (LOM) [10].

2.6. Çok Püskürtmeli Modelleme (MJM)

Çok püskürtmeli modellemede, ardışık, ince tabakalarda malzeme damlacığı biriktirecek birçok baskı başlığı kullanılır. İki önemli MJM tekniği vardır: Termojet, 96 elemanlı bir baskı başlığı, mum damlacıklarını biriktirir (Şekil 7). Oldukça hızlı üretim yaptığından bu sistemler mühendislik ve tasarım bürolarındaki çabuk şekillendirme çalışmaları (kavram modelleme) için kullanılmaktadır. Ancak, mum modeller aynı zamanda hassas dökümlerde ana modeller olarak da kullanılabilir. İkinci yöntem (Invision), bir baskı başlığı iki ayrı malzeme püskürtür. Bunlar; akrilik bir UV-duyarlı polietilen esaslı model malzemesi ve modele destek sağlayacak mum benzeri bir malzemedir. Modeller oldukça kaliteli olduğundan, üretim hız (ve yüzey işlem) uygulamaları, ön prototiplerden kavram öneri maketleri veya satış modellerine kadar değişir. Çok püskürtmeli modelleme tekniğine ait özellikler [1-3, 13]:

- Mükemmel yüzey kalitesi ve karmaşık parça üretiminin mümkün olması
- İmaledilebilirliği değerlendirmenin mümkün olmaması şeklinde belirtilebilir.



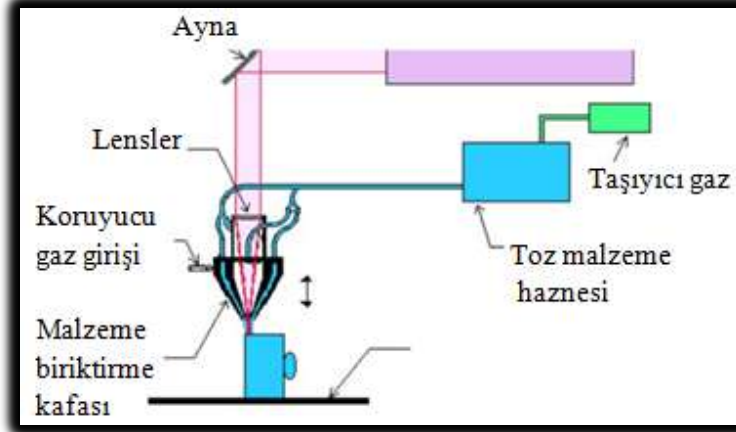
Şekil 7. Çok Püskürtmeli Modelleme (MJM) [13].

2.7. Lazerle Yapılan Net Biçimlendirme (LENS)

LENS'de bir lazer ışığı, üst yüzeyleri ergitmek için bir metal alt malzemeye yansıtılır. Arkasından bir biriktirme kafası, malzeme hacmini artırmak için ergiyik kısma metal (toz veya ince tel) sağlar (Şekil 8). Tarama şeklinde platform hareket ettirilerek nesneye ait her bir tabaka oluşturulur. Özellikleri daha iyi kontrol etmek için atmosferik oksijenden ergiyik kısmı koruyacak ve daha iyi yüzey akışkanlığı ile

tabakalar şeklinde yapışma sağlayacak atıl bir gaz kullanılır. Tam olarak yoğun metal parçalar (paslanmaz çelik, alüminyum, bakır, krom-demir alaşımı, titanyum vb.) LENS'le yapılabilir. Hatta malzeme oluşumunu dinamik olarak değiştirmek bile mümkündür -ki bu durum geleneksel imalat yöntemlerinden üstün özellikte nesneler oluşturur. Üretilen parçalar net biçimlendirmeye yakın olmakla birlikte genelde ek işlemlere ihtiyaç olur. LENS uygulamaları, enjeksiyon kalıp parçaları ve hava araç parçalarını içerir. Bu tekniğin önemli özellikleri [1-3, 14]:

- Gerçek (metal) parçaların üretilmesi ve malzeme yapısının dinamik değişmesi
- Birçok malzeme kullanılması ve genelde ek işlem gerekmesi
- Mekanik özelliklerini iyi ama yüzey kalitesinin kötü olması şeklinde özetlenebilir.

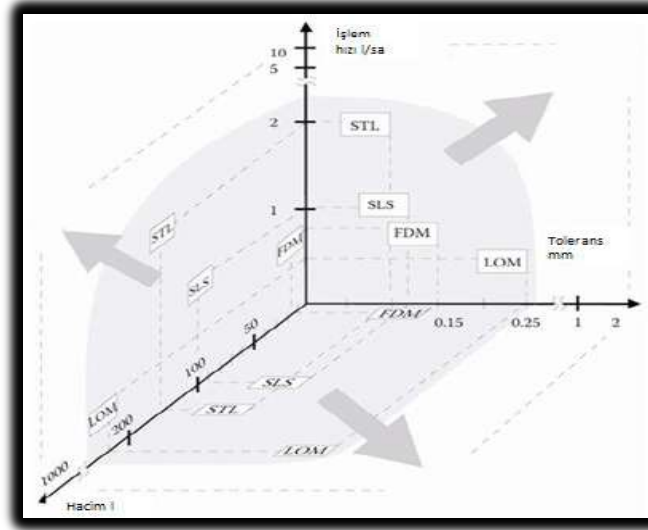


Şekil 8. Lazerle Yapılan NetBiçimlendirme (LENS) [14].

2.8. Eİ/HPO Teknolojilerinin Genel BirKarşılaştırması

Eİ ve/veya HPO teknolojilerine ait genel bir tasnif daha önce yapılmış ve Şekil 1'de verilmişti. Burada kullanılan malzeme yapıları esas alınmış ve sıvı, katı ve toz bazlı olarak üçe ayrılmıştı. Diğer önemli bir mukayese ise işlem hızı, hacim ve tolerans parametrelerine göre yapılabilir. Burada referans alınan [7] nolu kaynağa göre: İşlem hızı (litre/saat olarak) en hızlı yöntem STL, en büyük hacim olarak LOM ve en hassas toleranslar ise SLS yöntemi ile elde edilmektedir (bu kaynaktaki LENS yer almamakta, yerine EBM bulunmaktadır) [15-17].

İncelenen Eİ/HPO teknolojilerinin daha ayrıntılı bir tasnif ve karşılaştırılması ise Çizelge 1'de verilmektedir (Bu çalışma [18] nolu kaynaktaki 4 tekniği içeren karşılaştırmayı 7'ye çıkartmaktadır). Bu karşılaştırma çalışmasına göre genelde LENS metalik (belirli oranda 3DP ve LOM da), diğerleri ise metal dışı malzemeler kullanmaktadır. Çekme dayanımı yine LENS ile oluşturulan parçalarda en iyidir. Çözünürlük açısından SLA, MJM ve LENS teknolojileri; ince cidarlı modeller oluşturmada ise sadece LENS iyidir. Kaliteli yüzey elde etmek için genelde ek ve ikinci işlemler gerekmektedir. Metallerde gerçek parça yapımı SLS ve LENS yöntemi ile mümkündür. Tüm bu teknolojilerde üretim süresi hala oldukça zaman almaktadır. Üretim maliyetleri de makul düzeyde olmayıp nispeten SLA ve 3DP teknolojilerinde ucuzken, LENS'te ise pahalıdır [19].



Şekil 9. Eİ/HPO teknolojilerinin işlem hızı, hacim ve tolerans parametrelerine göre karşılaştırma[7].

Çizelge 1. İncelenen Eİ/HPO teknolojilerinin çeşitli açılardan karşılaştırılması ([18]'den uyarlanmıştır).

Eklemeli İmalat/Hızlı Prototip Oluşturma Teknolojilerinin Karşılaştırılması							
Kriter / Teknik	SLA-1	SLS-2	FDM-3	3DP-4	LOM-5	MJM-6	LENS-7
Kullanılan Malzeme	UV işlemleri fotopolimer	Polimer, metal, seramik ve alaşımlar	Plastik, ABS, PC, PPSF vb.	Alçı toz + sıvı yapışkan	Kağıt, plastik vb.	UV işlemleri fotopolimer	Çelik, bakır, alü. titan. vb.
Çekme Dayanımı	Vasat	Zayıf	Vasat	Zayıf	Zayıf	Vasat	İyi
Çözünürlük	İyi	Vasat	Zayıf	Vasat	Vasat	İyi	İyi
İnce cidar	Vasat	Vasat	Zayıf	Vasat	Zayıf	Vasat	İyi
Tolerans	İyi	Vasat	İyi	Vasat	Vasat	İyi	İyi
Yüzey Kalitesi	Ek yüzey işlemi	Ek yüzey işlemi	Sınırlı	Ek yüzey işlemi	Ek yüzey işlemi	Ek yüzey işlemi	İyi
İkinci Yüzey Kalitesi	Boyama	Boyama	Boyama	Boyama	Boyama	Boyama	Zımpara
	Tampon baskı	Tampon baskı	Tampon baskı	İnfiltrasyon (reçine emdirme)	Kaplama	Tampon baskı	Kaplamaya
	Kaplama	Kaplama	Kaplama			Kaplama	
İşlevsel Örnekler	Yok	Yok	Sınırlı	Yok	Yok	Yok	Var
Tasarım Kanıtı	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Metale Uygulanabilirlik	Yok	Var	Yok	Var	Var	Yok	Var
Çok Malzemeli Parça	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Var	Var
Kalıp Gerektirme	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Seri Üretim İşleri	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
Üretim Günü	1-3	1-3	1-3	0,5-1	1-3	1-3	1-2
Parça Maliyeti	\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$\$

3. Eİ/HPO Teknolojilerinin Genel Problemleri ve Çözüm Önerileri

Bu çalışma kapsamında tanıtılan Eİ/HPO teknolojilerinin uygulanması esnasında birçok genel ve özel problemler ile karşılaşılabilir. Çizelge 2’de olası bu tür problemler ve bunlara ait çözüm önerileri verilmektedir. Her bir özel teknolojide karşılaşılan sorunlar belirli ölçüde farklılıklar göstermekle birlikte genelde bunlar; işlem hızı, yüzey kalitesi, parça dayanım veya kırılabilirliği, hassasiyet, maliyetler, ek veya yüzey işlemleri vb. şekilde özetlenebilir. İncelenen teknolojilerden SLA, sıvı reçineden tabakalar şeklinde modeli oluşturma ve fırında sertleştirmeyi içerir. Zayıf, kırılabilir olur ve destek malzemesi gerekir. SLS, bir zemin üzerine tozu serme, ısıtarak ergitme, yapıştırma ve soğutarak katılaştırmaya dayanır. Yüzey kalitesi iyi olmaz, destek gerekmez ve birçok malzeme kullanılabilir. FDM ise plastik teli ekstrüzyonnozlunda ısıtarak ergitme, zemin üzerine yayma ve soğutarak katılaştırmayı içerir. Sessiz ve hızlı çalışır, destek gerekir ve birçok malzeme kullanılabilir. 3DP’de toz tabaka bir platforma serilir, bir yapışkanla bağlanır ve sonra desen üzerinde biriktirilir. Yüzey kalitesi iyi olmaz ama birçok malzeme kullanılır ve geniş bir uygulama alanı vardır. LOM, rulo halindeki kağıt yaprağı bir platforma yerleştirme, silindirik ile ısıtarak ergitme ve lazerle kesilen deseni oluşturma esasına dayanır. Yüzey kalitesi iyi olmaz, ek işlem gerekir ve büyük parça yapılabilir. MJM, küçük damlacıklar şeklinde modeli oluşturma ve sertleştirmeyi içerir. İyi yüzey kalitesi, hızlı işlem ve karmaşık model üretme mümkündür. Son olarak LENS’te ise metal malzeme lazerle ertitilir, zemine yayılır ve katılır. Gerçek parça üretilir, birçok malzeme kullanılır ve ek işlem gerekir [20-26].

Çizelge 2. Eİ/HPO teknolojilerinin genel problemleri ve çözüm önerileri [20-26].

Eİ/HPO Teknolojilerinin Genel Problemleri ve Çözüm Önerileri

T	Karşılaşılan Problemler	Çözüm Önerileri
SLA-1	Zayıf/kırılabilir olduğu için işlevsel testler yapılamaz	Model yapısını güçlendirecek malzeme geliştirilmeli
	Katılma süresi ve güneşe maruz kalmaya bağlı parçalar bozulabilir	Katılma süresini kısaltacak karışımlar geliştirilmeli ve mevcut ürünler güneşte fazla bırakılmamalı veya kaplama yapılmalı
	Karmaşık modeller yapılır ama üretilemeyebilir	İmal durumunu değerlendirecek yazılım geliştirilmeli
	Alternatif malzeme kullanımı sınırlıdır	Alternatif malzeme geliştirilmeli
	Destek yapıları ve ek işlemler gerekir	Malzeme alanında iyileştirmeler yapılmalı
SLS-2	Katılmayan malzeme zehirli olabilir	Malzeme ile direk temas edilmemeli ve ortam temiz tutulmalı
	Toza dayalı olduğundan parça yüzeyleri pürüzlü olur	Hassas yüzeyli parçalarda tercih edilmemeli veya yeni işlemler(yüzeyi iyileştirecek) geliştirilmeli
	Zayıf mekanik özellikleri olduğu için (konuma bağlı) işlevsel testler yapılamaz	Model yapısını güçlendirecek malzeme geliştirilmeli veya uygun model yapım konumu seçilmeli
	Toz şeklinde fazla polimer çeşidi yoktur	Malzeme alanında araştırmalar yapılmalı
	Model ve imalat parçaları arasında fark olabilir	Modeli imalat için değerlendirecek yazılım gerekli
	Tozu ısıtmak parçayı soğutmak gerekir	Isıtma/soğutma dengesi iyi ayarlanmalı
FDM-3	Zehirli gaz oluşabilir	Ortam temiz tutulmalı
	İşlem yavaş ve yüzey kalitesi kötüdür	İşlem hızı, katman kalınlığı (yüzey kalitesi) ve malzeme alanında iyileştirmeler yapılmalı
	Model ve imalat parçaları arasında fark olabilir	Modeli imalat için değerlendirecek yazılım gerekli
	Kırılabilir unsurlar için parça konumu önemlidir	Uygun model yapım konumu seçilmeli
	Düşey doğrultuda dayanım zayıftır	Uygun konum seçilmeli
	Mevcut malzeme termoplastiklerle sınırlıdır	Malzeme geliştirme amaçlı araştırma yapılmalı

3DP-4	Malzeme çeşidi sınırlı	Malzeme alanında araştırmalar yapılmalı
	Çözünürlük düzeyi kötü (en kötü)	Yapıştırıcı püskürten meme sık ve fazla olmalı
	Yetersiz mekanik özellikler	Malzeme alanında araştırmalar yapılmalı
LOM-5	Genelde kâğıt malzeme kullanılır ve karmaşık parçalar zor yapılır	Karmaşık model yapımında kullanılmamalı ve malzeme geliştirme amaçlı araştırma yapılmalı
	Model kısa zamanda bozulabilir	Ek işlem hemen yapılmalı
	Genelde ateş zarar verebilir	Ateş veya sıcak ortamlardan uzak durulmalı
	Atık malzemeyi çıkartmak zor olur	Model yapım aşamasında işlem planlama yapılmalı
	Düşey oluşum diğer teknolojiler kadar iyi değil	Uygun konum seçilmeli
	Alternatif malzeme çeşidi sınırlı	Malzeme geliştirme amaçlı araştırma yapılmalı
MJM-6	Rutubette karşı sızdırmazlık önlemi gerekli	Model kaplanmalı veya boyanmalı
	Zayıf dayanımlı plastik malzeme	Malzeme geliştirme amaçlı araştırma yapılmalı
	İmalatı değerlendirme mümkün değildir	Malzeme püskürten meme sık ve fazla olmalı
LENS-7	Damlacık malzeme birikmesi kontrolü	Yüzey gerilimi artırıcı malzeme geliştirilmeli
	Yüzey kalitesi kötüdür ve genelde ek işlem gerekir	İnce malzeme toz tanecikleri geliştirilmeli
	Toz kullanım verimliliği düşüktür	Daha hassas toz iletim sistemi geliştirilmeli
	Maliyet yüksektir	Maliyeti azaltma çalışmaları yapılmalı

3. Sonuç

Bu bildiri kapsamında Eİ/HPO teknolojileri alanında yapılan ve literatürde bulunan çalışmalar sunulmuştur. Bildiride önce bu teknolojilerin genel tanıtım, gelişmesi ve önemi ele alınmıştır. Daha sonra günümüzde halen yaygın olarak kullanılan 7 farklı yöntem tek tek ve daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunların genel ve temel özelliklerini çeşitli açılardan karşılaştıran ve değerlendiren bir çalışma yapılmıştır. Son olarak da incelenen bu Eİ/HPO teknolojilerinin kullanımları esnasında karşılaşılan çeşitli problemler belirlenmiş ve bunların giderilmesi veya etkilerinin azaltılması amaçlı çözüm önerileri verilmiştir. Bu çalışmanın konuya ilgi duyan ve öğrenmek isteyen araştırmacılara temel düzeyli bilgi sağlayacağı umulmaktadır.

Referanslar

1. Raja, V. and Fernands, K.J. (Editors), Reverse Engineering – An Industrial Perspective, Springer, London, UK, 2008.
2. Gibson, I., Rosen, D. and Stucker, B., Additive Manufacturing Technologies – 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, Springer, 2nd ed., London, UK, 2015.
3. Wong K.W. and Hernandez, A., A Review of Additive Manufacturing, ISRN Mechanical Engineering, Volume 2012, Article ID 208760, 10 pages, 2012.
4. <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/>
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping
6. <https://www.nsf.gov/about/history/nsf0050/manufacturing/rapid.htm>
7. http://mmadoug.uci.edu/class_mae165.html
8. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695597001375>
9. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607632405>
10. Dolenc, A., An Overview of Rapid Prototyping Technologies in Manufacturing, Helsinki University of Technology, 1994 (source unknown).
11. http://www.powershow.com/view/11e4b4-ZjljY/Rapid_Prototyping_by_Layered_Manufacturing_powerpoint_ppt_presentation

12. <https://www3.nd.edu/~rroeder/ame50542/slides/rapidprototyping.pdf>
13. <http://www.protec3d.de/3d-drucken/>
14. <http://www.docfoc.com/rapid-prototyping-ime-545-case-study-contents-what-is-rapid-prototyping-rp>
15. <http://www.naun.org/main/NAUN/mcs/16-591.pdf>
16. <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/Kos/CIRSYS/CIRSYS-42.pdf>
17. http://www.wzl.rwth-aachen.de/en/f786439a4c53fb78c125709f0055702f/v11a_rapidprototyping.pdf
18. <http://www.phillipsmedisize.com/sites/default/files/whitepaper/Prototyping%20White%20Paper.pdf>
19. Bandyopadhyay, A. and Bose, S. (Editors), Additive Manufacturing, CRC Press, USA, 2015.
20. Hausman, K.K. and Horne, R., 3D Printers for Dummies, John Wiley & Sons, Inc., Int. ed., 2014.
21. Gebhardt, A., Understanding Additive Manufacturing – Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing, Hanser, USA, 2012.
22. Evans, M.A., The Integration of Rapid Prototyping Within Industrial Design Practice, PhD Thesis, Loughborough University, UK, 2002.
23. Vaezi, M., Seitz, H. and Yang, S., A review on 3D micro-additive manufacturing technologies, Int. J. of Adv. Man. Tech., Vol. 67, pp. 1721-1754, 2013.
24. Herderick, E., Additive Manufacturing of Metals: A Review, Mat. Sci. & Tec, pp.1413-1425, 2011.
25. Thompson, S.M., Bian, L., Shamsaei, N. and Yadollahi, A., An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part I: Transport phenomena, modelling and diagnostics, Additive Manufacturing, pp. 36-62, 2015.
26. Thompson, S.M.et al., An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part II: Mechanical behaviour, process parameter optimization and control, Additive Man., pp. 12-35, 2015.

PROFESYONEL MAKYAJ ALANINDA 3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI

M. Sevtap Aytuğ

İstanbul Gelişim Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Sinema ve Televizyon Bölüm Başkanı, İstanbul/TÜRKİYE, msaytug@gelisim.edu.tr

Özet

Sinema, televizyon ve sahne sanatlarında karakter yaratımında oyuncudan kalıp alma teknikleri için 25-30 yıldır aynı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknik doğrudan oyuncu üzerinde uzun bir süre çalışmayı gerektirmektedir. Profesyonel makyaj alanında 3 boyutlu yazıcıların yaygın kullanılır hale gelmesi ile hem vakit alan, hem de oyuncu için oldukça zahmetli olankalıp almaoyuncuya hiç dokunmadan mümkün olabilecektir. Böylece, oyuncunun anatomik yapısına uygun karakterlerin canlandırılması için protezlerüretilebilecektir. Makyaj sanatçısının fonksiyonu hem bir tasarımcı olarak hem de protez uygulandıktan sonra cilt ile uyumunu sağlamak için yapılması gereken makyaj aşamasında önem kazanacaktır

Anahtar kelimeler: Profesyonel makyaj, Protez, Plastik makyaj, 3 boyutlu makyaj

THE USE OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF PROFESSIONAL MAKE UP

Abstract

Since 25-30 years, it has been using same impression taking technics to create character of player for cinema, television and stage arts. This technic requires working on player for a long time. By widely using of 3D printers for the professional make up area, it is going to be possible to avoid taking impression which takes time and quite trouble for the player without touching him/her. So, the prosthetics can be produced which are suitable to the anatomic structure of the player to the revival of the character. The function of makeup artist' will gain importance as being designer and also for the makeup phase which is required after applying prosthetic to ensure the compliance of skin.

Keywords: Professional make-up, Prosthetic, Plastic make-up, 3 dimensional make-up

1. Giriş

Profesyonel makyaj sinema, televizyon ve sahne sanatlarında karakter yaratımında gittikçe daha fazla dikkat çeker bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Oyuncunun yaratacağı karakterin fiziksel görünümü makyajla oluşturulur ve seyirci açısından inandırıcılığı sağlaması yanında, oyuncu yönünden de rolüne hazırlanmasına destek olur. Makyaj; yönetmen, oyuncu, makyaj sanatçısı, sanat yönetmeni, kostüm tasarımcısı ve görüntü yönetmeni veya ışık tasarımcısı ile beraber planlanması gereken bir sanat alanıdır. Esere hazırlanırken okuma provaları veya masa başı çalışmaları ile beraber başlaması gereken dış görünüm tasarımı, oyuncunun rolüne hazırlanmasını da sağlar. Ten rengi, saç,tırnak, kan, ter, gözyaşı gibi vücut sıvısı uygulamaları gerekiyorsa o konularda da detaylı planlama ve deneme uygulamaları gerektiren makyaj, canlandırılacak karaktere göre yaşam alışkanlıkları, içinde yaşadığı toplum ve dönemin fiziksel görünümle ilgili kural veya gelenekleri de dikkate alınarak uygulanır. Öte yanda, oyuncunun canlandığı karakterin yaşı ile uyumunu sağlamak da makyajın sıklıkla uygulanmasını gerekli kılan alanlarındandır.

Makyajın 3 boyutlu tasarım ve uygulama gerektirdiği aşamalarında, her sahnede oyuncunun üzerine makyaj uygulamak yerine,3 boyutlu bilgisayar tasarım programları kullanılmaya başlanmıştır. Avatar örneğinde olduğu gibi; oyuncunun yüzüne sadece örnek bir makyaj uygulaması yapıp, bunun duyarlı boyalar aracılığı ile bilgisayar ortamında oyuncunun yaratacağı karaktere uygulanması söz konusu olmaktadır. Karakter yaratımında bilgisayarda tasarımın alternatifi olarak, 25-30 yıldır uygulanmakta olan ve halen alanında dünyada en iyi olarak değerlendirilen profesyonel makyaj eğitimi veren kurumlarda da öğretilen teknikler ne yazık ki bir ilerleme kaydetmemiştir. Kaynakçalarını verdiğim 25-30 yıl önce basılmış olan makyaj kitaplarındaki uygulamalar günümüzde de aynı şekilde uygulanmaktadır. Günümüzde Kanada'daki Vancouver Film School [1] ve Amerika'daki Cinema Makeup School'da [2] bu tekniklerde eğitim verildiği bilinmektedir. Çok uzun yıllardır kullanılmakta olan oyuncudan kalıp alınarak gerçekleştirilen protez hazırlama tekniğinde aşağıda detayları verilmiş olan aşamaların uzunluğu ve kalıp alınırken doğrudan oyuncunun üzerinde çalışma zorunluluğu sorun yaratmaktadır. 3 boyutlu tasarım programları ve baskı teknikleri ile oyuncuya hiç dokunmadan görüntüsünün taranması ve sonraki tüm

tasarım aşamalarının bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi zaman tasarrufu ve oyuncuya rahatlık getirecektir. Ancak, dünyada yıllardır uygulanmakta olan kalıp alma tekniklerinin öğrenilebileceği ortamlar ne yazık ki ülkemizde sadece birkaç ders saatine sıkıştırılmak zorundadır. İleri düzeyde kalıp almalarda kapsayan sadece profesyonel makyaj eğitimi alınabilecek eğitim kurumları ne yazık ki ülkemizde mevcut değildir. Bu koşullarda, makyaj alanı için, 3 boyutlu baskı teknikleri üzerine çalışmak, uzak bir hayal gibi görünmesine rağmen, farkındalığın yaratılması önem taşımaktadır.

2. Kullanılan Araştırma Yöntemleri ve Metotlar

Bu makalenin hazırlanmasında, Nitel Araştırma Yöntemi kullanılmış, mülakatlarda yarı yapılandırılmış sorular yöneltilmiş, arka plan araştırmasında birincil ve ikincil araştırma yöntemleri uygulanmıştır. Öncelikle, günümüz ve ülkemiz 3D tasarım ve yazılım teknolojilerini takip etmek üzere, düzenlenen fuarlara ve eğitim seminerlerine katılım gerçekleştirilmiştir. Daha detaylı bilgi alabilmek amacıyla, ileri teknoloji kullanan büyük firmalarla çalışan ve sanal gerçeklik konusunda da çalışmaları olan Infotron firması yetkilileri ile görüşülmüştür. Bireysel kullanıcılara yönelik eğitim programları olan 3Dörtgen, Zaxe markası altında yerli 3D yazıcı imalatı yapan Zaxe 3D Printing Technologies, Türkiye’de ilk kez 3D için hammadde imalatı yapan Oo-kuma 3D Technologies firmaları üretim yerlerinde ziyaret edilmiştir. Ayrıca, Atölye İstanbul’da öğretmenlere 3D tasarım ve yazıcıları konusunda bilgi aktarmak amaçlı düzenlenen ve eğitimin 3Durak firması tarafından verildiği atölye çalışmasında bulunulmuştur. Bunun yanı sıra, yurt dışı ve yurt içinde özellikle sinema, televizyon ve sahne sanatlarında 3d yazıcı kullanan veya günlük yaşamda gerçek görünümü protez uygulamaları gerçekleştiren makyaj eğitimi veren kurumlar, diş hekimi, heykeltıraş gibi konu ile ilgili kişilerin çalışmaları takip edilmiştir. Yurt dışında profesyonel makyaj alanında eğitim veren veya yayın yapan dergiler de araştırılmış 3D yazıcılar ve makyaj alanında kullanılan programlarla ilgili bilgiler incelenmiştir [3].

3. Profesyonel Makyajda Karakter Yaratımında Geçmişte ve Günümüzde Kullanılan Kalıpalma Teknikleri

3.1. Karakter Yaratımı

Yaratılması istenen karakterin görünümü, öncelikle oyuncunun A4 ölçüsü gibi çok küçük olmayan boyuttadır fotoğrafının üzerine aydınlatıcı kâğıdı yerleştirilerek, onun üzerinde çizilir. Burada örnek verilecek olursa; oyuncudan daha yaşlı bir karakter yaratımı söz konusu ise aydınlatıcı kâğıdı üzerinde oyuncunun orijinal hatları takip edilerek, saçların beyazlaştırılması, dökülmesi, kırışıklıklar, cilt üzerinde lekeler, sarkmalar, diş kayıpları, yaşam alışkanlıkları doğrultusunda sigara içen birisi ise, diş rengi farklılaşmaları gibi yaşlılık göstergesi fiziksel değişiklikler uygulanır. Tamamen farklı bir karakter yaratılacaksa da aynı şekilde oyuncunun fotoğrafı üzerinden çalışılır. Burada temel alınan oyuncunun anatomik yapısıdır. Böylece, maske hazırlandığında ve oyuncunun yüzüne yerleştirildiğinde oyuncu Mimiklerini gösterebilir [4].

3.2. Kalıbın Alınması

Oyuncunun yüzü, vücudunun bir parçası veya tüm vücudu için kalıp alma söz konusu olabilir. Bu aşama “negatifini almak” olarak tanımlanan uygulama bölümüdür. Bu aşamada kalıbı alınacak bölgeye diş hekimlerinin kalıp alırken kullandıkları “Alginate” olarak isimlendirilen tek kullanımlık malzeme veya cilde zarar vermeyecek kimyasal özelliklerde “Silikon” kullanılabilir. Her iki ürünün de ciltten kolay çıkması için, cildin dokusunu etkilemeyecek kalınlıkta çok ince bir tabaka vazelin sürülebilir. Alginate ile çalışırken kaş, sakal, kirpik ve bıyık gibi kıllı bölgeleri başka bir koruyucu ile kaplamaya gerek yoktur. Ancak, Silikon çok kuvvetli yapışma özelliğine sahiptir. Silikon ile çalışırken kıllı bölgeleri cilde zarar vermeyecek bir malzeme ile örtmek gerekmektedir. Bu malzemeyi hazırlamak için, lateksi ince bir tabaka halinde düz bir zemine döküp, deri görünümü parçalar elde etmek mümkündür. Bu parçalar kapatılmak istenen bölgelerin sınırları içerisinde yapıştırılır. Böylece, Silikonun doğrudan kıllı bölge ile temas etmesi engellenerek diğer bölgelerin kalıbı alınabilir.

Gerek Silikon gerekse Alginate çok hızlı bir şekilde sertleşen ürünlerdir. Farklı markalardaki ürünlerin hazırlanmasında, karıştırma oranlarına ve kuruma sürelerine ambalaj üzerindeki bilgilerden yararlanarak dikkat edilmelidir. Alginate’i su ile karıştırırken homojen bir karışım elde etmek önemlidir. İnce çizgileri bile alabilmek amacı ile tavsiye edilen karıştırma oranından çok daha seyreltik çalışılırsa, sertleştiğinde kırılgan bir malzeme edilir ki pozitif alma aşamasında kırılma riski taşır. Olması gerekenden daha az miktarda su ile karıştırılırsa, katı forma yakın olacağı için, cilt üzerindeki detayları alması ve uygulanması zorlaşır. Burada dikkat edilmesi gereken, karıştırma kabının içinden tek bir seferde elle veya spatula ile alınan ürünün cilde tatbikinde akmadan veya uygulama zorluğu çıkarmadan en uygun formda olmasını sağlamaktır. Böylece, negatifinin alınması gereken tüm alanlar yaklaşık olarak 1,50-2,00 cm kalınlığında Alginate veya Silikon ile kaplanır. Bunun üzerine formunu koruması amaçlı, su ile ıslatılmış alçı bandaj 4-5 kat olarak uygulanır. Alçı bandajın üzerindeki alçı miktarı az olduğunda bu kat sayısını

etkilemektedir. Alçılı bandajlar ihtiyaç duyulan genişlik ve en boyutunda kesilerek su dolu bir kaba batırılıp ıslatılıp Alginate ile kaplanmış bölgenin üstüne yerleştirmek suretiyle, kurduğunda esnek bir malzeme olan Alginate'in, sabit bir formda kalması sağlanır. Alçılı bandajlar ısıtılıp soğuduktan sonra sertleşmiş olur ve yüzden negatifi çıkartma zamanının geldiği anlaşılır[5].

3.3. Pozitifin hazırlanması

Dış alçılı bandaj, içinde ise Alginate ile yüzün negatifi olan kalıbın içerisine yine diş hekimlerinin kullandığı "Dental Stone" dökülür. Dental Stone ambalajları üzerinde genelde karıştırma oranları belirtilmediği için gerekli miktar temel alınarak bir kaba su doldurulur ve içerisine eleyerek Dental Stone ilave edilir. Toz malzemenin suda kaybolmayıp, artık suyun üstüne çıktığı doygunluk miktarına kadar ilave etmeye devam edilir. Sonrasında homojen bir karışım elde edilecek şekilde karıştırılıp negatif kalıbın içine dökülür. Sertleşme sağlandıktan sonra pozitif ve negatife birbirinden ayrılır. Elde edilen Dental Stone'dan yapılmış pozitif son derece serttir ve dayanıklıdır[6].

3.4. Yeni karakterin yaratılması

Pozitif üzerinde değişiklikler yaparak yeni bir karakter oluşturulması aşamasındakille ilaveler yapılarak "modelleme" olarak isimlendirdiğimiz aşama ile yeni bir görünüm oluşturulur[7].

3.5. Protez Hazırlama Aşaması

Üzerinde kille şekillendirme yapılmış olan pozitifin tekrar negatifi alınır. Pozitif üzerindeki kiler temizlenir ve pozitif ile son alınan negatif arasına (kiler temizlendikten sonra oluşan boş Alana) silikon, lateks veya lateks köpük protez yapım malzemesi dökülerek alt kısmı oyuncunun anatomik yapısında, dış kısımda ise yaratılmış olan karakter görünümünde maske veya protez elde edilmiş olur. Bu protez veya maske oyuncunun yüzüne, cilde zarar vermeyen Pros-aid veya Duo tarzı bir yapıştırıcı ile yapıştırılır. Kenarları kullanılan protez malzemesine uygun bir inceltici ile sıfırlanarak yapışma çizgilerinin dikkat çekmemesi sağlanır [8].

3.6. Protezin İstenilen Renge Getirilmesi İçin Makyaj Aşaması

Protez hazırlanırken içerisine istenilen renkte olması amacı ile kullanılan protez malzemesine göre boyar madde eklenebilir ancak sonradan tek bir renk yerine gölgeleme, aydınlatma ve şayet farklı renk tonları da gerekiyorsa onların da makyaj aşamasında uygulanması gerekir. Bu uygulama, genellikle alkolle inceltilebilen lateksköpük, silikongibi protez malzemeleri boyama amaçlı özel boyalar veya fondöten tarzı cilde doğrudan uygulanan renkli kozmetik ürünleriyle de olabilir [9,10].

4. 3 Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Baskı Teknikleri ve Profesyonel Makyaj İçin En İdeal Üretim Tekniği

4.1.3 Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Üretim Tekniği ve Halen Kullanılan Kalıp Alma Tekniği Karşılaştırması

3D yazıcılar katmanlı üretim teknolojisine göre çalışırlar. Böylece profesyonel makyajda protezi üretmek için kullanılacak hammaddenin israfı söz konusu olmaz. Ayrıca, uzun yıllardır ve halen uygulanmakta olan kalıp alma tekniğinde ortam kirliliği, kalıp alma ürününün donma süresinin ayarlanmasında oyuncu üzerinde çalışma zorunluluğu olduğu için, hem oyuncunun hem de makyaj sanatçısının da yaşadığı psikolojik gerginlik söz konusu olmaktadır. Oysaki 3D baskı teknolojisinde sadece oyuncunun taranması aşamasında birlikte çalışmak gerekmektedir. Hazırlanan kalıbın oyuncunun vücuduna yerleştirilmesi aşaması her iki teknik için de aynıdır.

4.2. 3boyutlu Baskı Teknolojisi İçin Tasarım Programları

Thinkercad, Autocad, ThinkerPlay, 123D Design, 3DSlash, Morphi, 123D Sculpt, Leblox, Blender, Rhino, Creo, Solidworks, 3DsMax, Mudbox ve Zbrush gibi programlardır. Bu konuda eğitim veren kurumlar ve sinema-televizyon sektörü araştırıldığında, makyajda karakter yaratımında son yıllarda en çok kullanılan programın ZBrush olduğu dikkat çekmektedir. Öte yanda, kullanımın kolaylaştırılması amacıyla, çoğu program çocukların bile rahatlıkla kullanabileceği şekilde tasarlanmıştır [11].

5. Profesyonel Makyaj Alanında 3D Üretim Tekniği Kullanılan Uygulama Örnekleri

Yapılan araştırmalar sonucunda; profesyonel makyaj alanında protez hazırlarken detayların ve ince çizgilerin 3D üretim teknolojisinin şu anda ülkemizde tam olarak uygulanmadığı ve silikon gibi yumuşak dokulu malzemelerin üretimi üzerinde çalışma ve araştırmanın gerekliliği ortaya çıkmıştır. Zaxe Firması ile bu konu üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmış ve bunun bir araştırma projesi haline getirilmesi amaçlanmaktadır.

Diğer ülkelerdeki uygulamalarla ilgili yapılan araştırmalarda Fripp Design firmasının Picsima markası ile patent aldığı, Silikon, Epoksi Reçine ve Akrilik malzemelerin dökümünü sağlayabildikleri görülmüştür. Ayrıca çok ince malzemeleri de üretebildiklerini ifade etmektedirler[12].



Şekil 1. Fripp Design Firması Tarafından Üretilen Silikon Kulak Ve Burun Protezleri[13]

Öte yanda, 3D üretim teknolojisinin profesyonel makyaj açısından başarılı örneklerine rastlanmaya başlanmıştır. Sinema sektörü için çalışan, Los Angeles’ dekiAlchemy Studios, yüksek çözünürlükteki sinema ve televizyon teknolojileri ihtiyacını karşılayabilecek detayda protez üretiminde mevcut tekniklerin yeterli olmadığını ifade etmektedirler. Karakter yaratımında 3D yazıcıların, inandırıcı ve detaylı parçaların üretiminde, istenilen görsel kaliteyi sağladıklarını belirtmektedirler [14].



Şekil 2. Alchemy Studios[15]

İngiltere’de uzun yıllardır üniversitelerle işbirliği yapan Fripp Design firması da, her ne kadar sağlık sektörüne yönelik çalışmaları ile dikkat çekmekte ise de, gerçekleştirilecek her tür gelişmenin profesyonel makyaj alanının da işine yarayacağı açıktır. Göz gibi renk açısından çok detay taşıyan gerçek görünümlü protezleri geliştirmiştir. Ayrıca, gerçek görünümlü organlar konusundayüzü hasarlı olan hastalar için 3D üretim teknolojisi ile üretilmiş kulak ve burun, iris ve kan damarları gibi yeni 3D ürünler geliştirmek için Manchester Metropolitan Üniversitesi ile işbirliği yapmaktadır. 3D üretim teknolojisinden önce, bir protez gözün diğer göz ile renk eşliğinin sağlanacak şekilde elle boyanması 10 hafta alırken, bu yöntemle 1 saatte 150 civarı göz üretimi yapılabilmektedir. İngiltere’deki maliyet açısından da %97 tasarruf sağlanmakta ve bir göz için 3000 pound tasarruf edebilmek mümkün olabilmektedir [16].



Şekil 3. Fripp Design Firması Tarafından Üretilen Gözler [17]

3D üretim teknolojisinin sinema alanındaki makyaj uygulamalarında öneminin farkına varan sinema ve makyaj eğitimi kurumlarda bu konuyu ders programları içine almışlardır. Dünyanın ileri gelen sinema okullarından Cinema Makeup School ZBrush ile dijital karakterler oluşturmak üzere 40 saatlik özel bir tasarım eğitim programı oluşturmuş, gündüz ve akşam sınıfları açarak 1000USD’lik bir bedel karşılığında bu yeni teknolojiyi profesyonel makyaj eğitimi almakta olan veya bu konuda kendini geliştirmek isteyenlere öğretmektedir [18].



Şekil 4. Cinemamakeup School'da Zbrush Eğitim Programından Bir Tasarım Örneği [19]

Benzer şekilde, profesyonel makyaj eğitimi veren Stan Winston School'da programına ZBrush eğitimini almış ve yaklaşık 6 saatlik bir eğitim programı hazırlamıştır. Programın eğitimini verecek olan kişi Iron Man 3, The Avengers, Life of Pi, The Amazing Spider-Man gibi filmlerin karakter tasarımcısı olan Josh Herman'dır [20].

6. Sonuç ve Öneriler

Ülkemizde 3D üretim teknolojisi ve tasarım programları, tasarımın söz konusu olduğu tüm alanlarda olduğu gibi, makyaj alanında da, çok kısa bir süre içerisinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanacaktır. Bu kapsamda, özellikle üniversitelerimizde güzel sanatlarda tasarım alanlarında yazılım ve üretim süreçlerini kapsayan derslerin bölüm müfredat programlarına alınması gerekmektedir. Ülkemizde sayısı her geçen gün artan televizyon dizileri, sinema ve reklam sektörlerinde çalışacak makyaj sanatçılarına karakter yaratımı konusunda öğretilecek 3D tasarım ve baskı teknikleri daha başarılı uygulamaların daha kısa sürede ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Özellikle makyaj alanında en çok kullanılan program olan ZBrush için özel bir eğitim programları oluşturulmalı ve deri görünümlü protezlerin geliştirilmesi için firmalarla işbirliği yapılmalıdır. Bu kapsamda, ülkemizde 3D yazıcı imalatı yapan Zaxe Firması ile deri görünümlü son ürün için hammadde ve üretim tekniği deneme çalışmalarına başlanmıştır.

Referanslar

1. <https://vfs.edu/programs/makeup> Erişim Tarihi: 6.04.2016
2. <http://www.cinemamakeup.com/programs/diploma-programs/master-makeup/#&panel1->
3. Dawson, C. Çeviri Editörü ARI, Araştırma Yöntemlerine Giriş, Eğitim Yayınevi, Konya, 2015
4. Aytağ, Profesyonel Makyaj, Mitos- Boyut Yayınları, İstanbul, 2011
5. Corson, R. Stage Make-up, Prentice Hall Int. Ltd.London, 1989
6. Delamar, P., TheCompliteMake-up Artist, TheMacmillanPressLtd, London,1995
7. James, T., The Prop Builder's Molding & Casting Handbook, Betterway Books, Ohio, 1989
8. Baygan, L. Make-upForTheatre, Film&Television, A&C Black (Publisher) Limited, London,1991
9. Buchman, H. Film And Television Make-up, Watson-Guption Publications, , New York 1990
10. Vardarlı, İ. Çocuklar için 3D tara, tasarla, üret, Pusula 20 Teknoloji ve Yayıncılık A.Ş., İstanbul, 2016
11. <http://alchemystudio.com>, Erişim Tarihi: 11.03.2016
12. <http://www.picsima.com>, Erişim Tarihi: 11.03.2016
13. http://3dprint.com/wp-content/uploads/2016/03/3dp_fripp_noses_banner-e1458114771437.pngErişim Tarihi: 11.03.2016
14. <http://alchemystudio.com>, Erişim Tarihi: 11.03.2016
15. <http://3dprint.com/103751/3d-printing-helps-hollywood-special-effects-artists-alchemy-studios-make-better-scary-monsters-and-dead-bodies/> Erişim Tarihi: 6.04.2016
16. <http://www.frippdesign.co.uk>, Erişim Tarihi: 11.03.2016
<http://www.dezeen.com/2013/11/26/3d-printed-prosthetic-eyes/>,Erişim Tarihi: 22.03.2016
17. <http://www.cinemamakeup.com/programs/classes/z-brush-digital-design-class/#&panel1-1>, Erişim Tarihi: 11.03.2016
18. <http://www.cinemamakeup.com/programs/classes/z-brush-digital-design-class/#&panel1-6> Erişim Tarihi: 22.03.2016
19. <https://www.stanwinstonschool.com/tutorials/zbrush-creature-sculpting-digital-sculpture-tutorial>, Erişim Tarihi: 11.03.2016

ENDÜSTRİYEL BOYUTLU ÇİFT BAŞLI KARTEZYEN TİPİ 3B YAZICI TASARIMI VE PROTOTİPİ

Burak GÜLER^a ve Kerim ÇETİNKAYA^b,

^aK.Ü. Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, burakkguler@hotmail.com

^bK.Ü. Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, kcetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet:

Bu çalışmada endüstriyel boyutlarda kartezyen tipi ve çift baskı kafasına sahip FDM yöntemi ile çalışan üç boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipi yapılmıştır. 3B yazıcının genel boyutları 990x1035x1540 mm dir. Yazdırma boyutları 600x700x800 mm dir. Tabla doğrudan 220 V ile ısıtılmaktadır. ABS ve PLA filamentlerinden sehpa ayakları üretimi yapılmıştır. Sistem çalışma sırasında 415 W/h enerji tüketmektedir. Yazdırma hızı ve katman kalınlığının üretim kalitesine etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel 3D yazıcı, Çift nozul, FDM

INDUSTRIAL SIZES DOUBLE NOZZLE AND CARTESIAN TYPE 3D PRINTER DESIGN AND PROTOTYPING

Abstract:

In this study the design of three dimensional printer and its prototyping which are in industrial sizes, cartesian type and have double nozzle run by the method of FDM were made. The general sizes of three dimensional printer is 990x1035x1540 mm. The size of printing is 600x700x800 mm. The hot bed is directly heated with 220V. The coffee table leg sare made from the filaments of ABS and PLA. The system consumes 415 w/h energy during the production. It was investigated of the printing and thickness of layer on the effect of quality of production.

Keywords: Industrial 3D printer, Double nozzle, FDM

1. Giriş

Üç boyutlu yazıcı dijital ortamda hazırlanan üç boyutlu CAD dosyasından üç boyutlu katı nesneler üretmeyi sağlayan makinelerdir. Bu makineler tasarım olarak CNC sistemlere benzer ve onlara benzer çalışmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar sayesinde dijital ortamda tasarımı yapılmış modeller kısa süre içerisinde ele alınıp incelenmesi mümkün nesneler haline gelebilmektedir. Şimdiye kadar KBÜ Endüstriyel Tasarım Mühendisliği bölümünde üç boyutlu yazıcı konusunda çeşitli çalışmalar ve prototipler üretilmiştir. Bu çalışmaların ortak özelliği, tüm çalışmaların küçük boyutlu üç boyutlu yazıcılar olmasıdır [1].

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri katmanları üst üste yığma tekniği ile çalışmaktadır. Fakat bu katmanları oluşturma yöntemleri farklılık gösterebilir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak bilineni plastik malzemenin eritilerek katı nesneler oluşturanlarıdır [2]. Bilimsel alanda yapılan çalışmalar, dünya genelinde yayılımı, kullanılan teknolojiler, katı model üretimi ve hızlı prototipleme alanlarındaki araştırma ve geliştirmeler özetlenmiştir [3].

Diş hekimliği alanında yapay diş oluşturmak için kullanılan yöntemlerin tarihsel gelişim ve çeşitleri, üst üste katman teknolojisini kullanarak diş hekimliğinin çeşitli dallarında 3B yazıcı uygulamaları verilmiştir [4]. Hızlı prototipleme teknolojisi alanındaki son gelişmeler ve yapılan son uygulamalar sistem/işlemci düzenli olarak tanıtılmıştır [5]. Hızlı prototipleme teknolojilerinin güçlü ve zayıf yönleri belirtilerek genel bir görüş sunulup, karşılaştırma verileri, tabaka kalınlığı, sistem hassasiyeti ve çalışma hızı gibi genel işlem parametreleri anlatılmıştır [6]. Çalışmanın amacı, uçak mühendisliği öğrenci projelerinin bir parçası olan rüzgar tüneli testlerinin gerçekleştirilmesi için 3 boyutlu baskısı alınan modellerin getirdiği faydaları anlatılmıştır. 3 boyutlu baskı teknolojisi ile ilgili karşılaşılan bazı güçlükler ve sorunların ne şekilde üstesinden gelinebileceği tartışılmıştır [7]. Polimetilmetakrilat malzeme kullanan yeni bir üç boyutlu baskı işlemi ve sonucu yapılan çalışmada değerlendirilmiştir [8].

Birden fazla farklı malzeme kullanılarak üç boyutlu baskı ortaya çıkarma çalışması ve aşamaları anlatılmıştır [9]. İki farklı malzeme yazdırılabilecek bir yazıcı üretilmiş yapılmış, iki farklı plastik malzeme kullanarak baskı alınmış ve suda çözünen malzeme üzerine çalışılmıştır [10]. Masaüstü üç boyutlu yazıcıların ABS ve PLA yazdırma işlemleri sırasında emisyon değerleri için çeşitli testler ve ölçümler

yapılmıştır [11].3B baskı teknolojilerinin üretim endüstrisini ileriye taşıyabilecek potansiyelde olduğu bahsedilen çalışmada hızlı prototiplemenin genelinden, 3 boyutlu yazıcılar alanından ve evde üretim yapılabilmesi ana fikri üzerine durulmuştur [12].

Yapılan çalışmada ise hobi ve eğitim amaçlı kullanılan 3 boyutlu küçük ölçekli yazıcılardan farklı olarak büyük boyutlu endüstriyel bir üç boyutlu yazıcı tasarlanmış ve prototipi üretilmiştir. İnşa edilen 3B yazıcının çift nuzzle olması, kartezyen eksen yapısı, ısıtıcı tablanın 220 V olması ve kapalı kabini diğerlerinden farklı özellikleridir.

2. Tasarım - Prototip

Sistem kapalı bir gövde içerisinde yer alacak ve büyük boyutlu eksenler ile büyük boyutlu parça baskısına imkan verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 1 de çalışmada tasarlanan ve üretilen prototip üç boyutlu yazıcı görülmektedir.

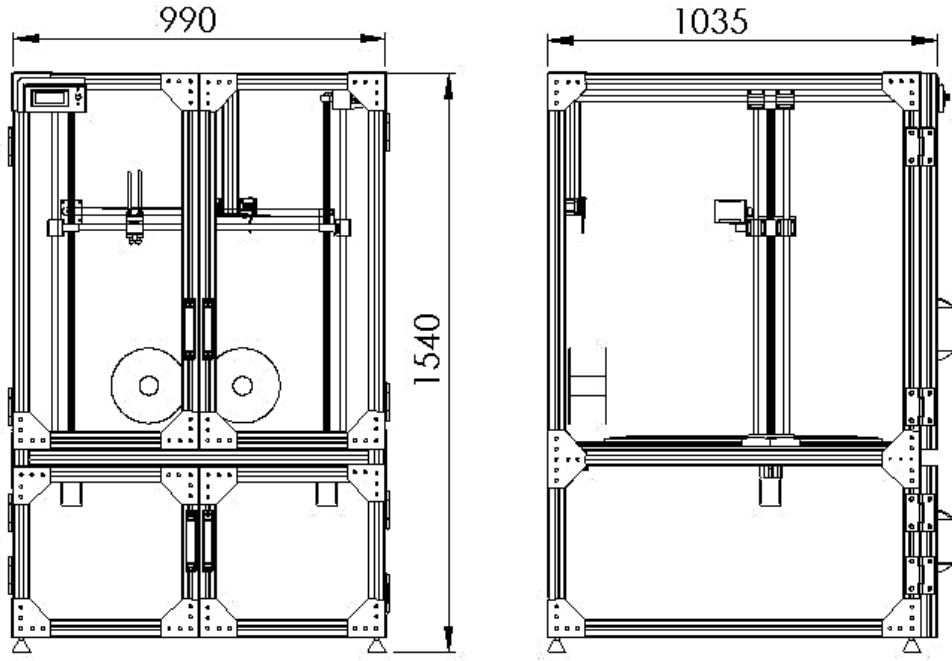


Şekil.1 Endüstriyel boyutlu çift başlı kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı model ve prototipi

Çalışmada tasarlanan ve üretilen prototipin ölçüleri 990x1035x1540 mm ve endüstriyel bir firmanın prototip üretim ihtiyacını karşılayacak şekildedir. Üç boyutlu yazıcının genel ölçüleri Şekil.2’de ve üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri Çizelge.1’de verilmiştir.

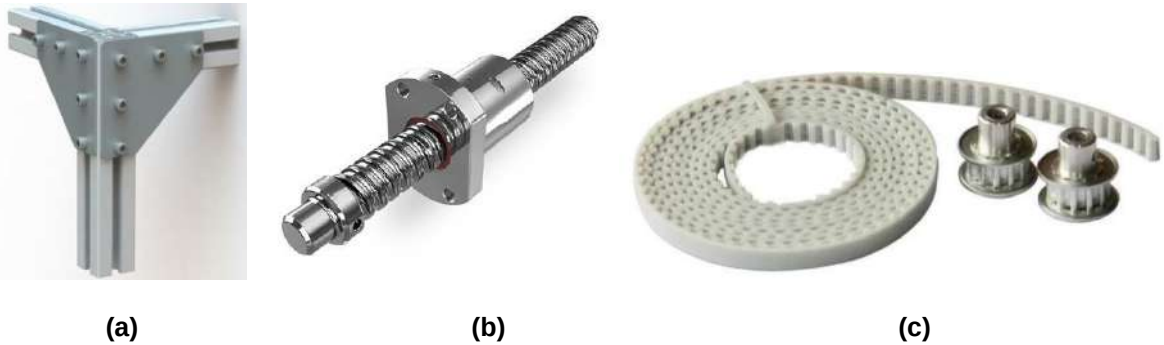
Çizelge.1 Üç boyutlu yazıcı teknik özellikleri

Sistem Ölçüleri	990 x 1035 x 1540 mm
Yazdırma Alanı	600 x 700 x 800 mm
Baskı Ucu Ölçüleri	0,1 – 0,8 mm çapında baskı nozzle ucu
Diğer Özellikleri	2 nozzle uç, kapalı kabin, sıcak tabla 220 V, rijit yapı
Maliyeti	12000 TL



Şekil.2 Üç boyutlu yazıcı genel ölçüleri

Çalışmada üretilen prototipte kolay montaj edilebilmesi ve kolay eklenti yapılabilmesinenedeniyle sigma profillerden kurulu bir gövde tasarlanmıştır. Sigma profiller ve bağlantı sacları ile oluşturulan gövde üzerine eksenler montaj edilmiştir. Eksenler ve diğer elemanlar için gerekli parçalar geleneksel imalat yöntemleri ile işlenmiştir. Diğer hazır parçalar ise hazır alınarak sisteme uygun hale getirilmiş ve montajda kullanılmıştır. Şekil.3'de üç boyutlu yazıcı da kullanılan gövde parçaları görülmektedir.



Şekil.3 a)Sigmaprofil ve köşebentler **b)**Bilyalı vidalı mil somun çifti **c)**Triger kayış kasnaklar

Büyük boyutlu bir üç boyutlu yazıcı için en önemli özelliklerin başında gövde yapısı ve rijitliği gelmektedir. Çalışmada bunları Şekil.3 de görülen bilyalı somun vidalı mil çifti ve eksenleri taşıyan ray ve mil çiftleri ile sağlanmıştır. Eksen rayları doğrudan profil üzerine montajlanmıştır. Sistemin y eksenini doğrudan gövde üzerine oturmaktadır. Y eksenini üzerine z eksenini motorları ve vidalı milleri yerleştirilmiştir. Z eksenini üzerinde ise x eksenini yer almaktadır. Y eksenini hareketi ile x ve z eksenlerini de hareket etmişlerdir. Şekil.4 de gövde üzerine montajlanmış eksenler verilmiştir.



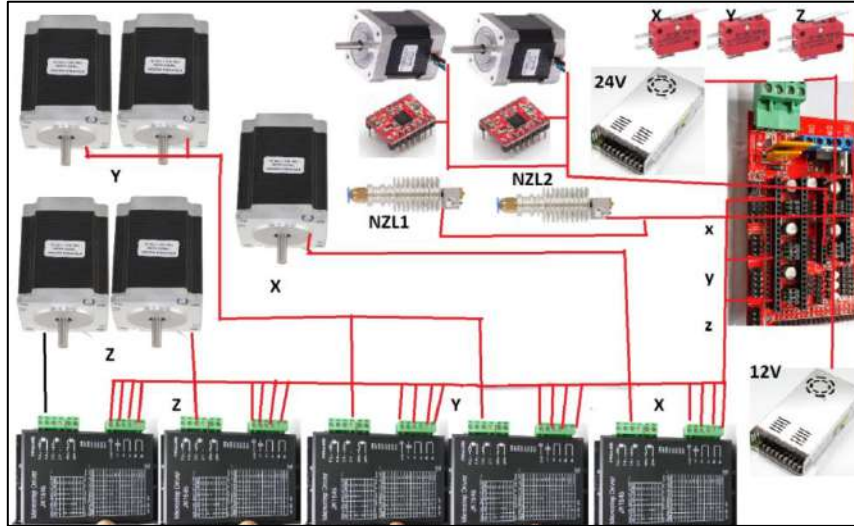
Şekil.4 Üç boyutlu yazıcı tabla ve hareket eksenleri montajı

Yazıcı tablası alüminyum plakalardan ve yüzeyi delikli sacdan oluşmuştur. Tablası silikon rezistanslar ile ısıtmıştır. Baskı tablası 220V ile çalışmaktadır. Üç boyutlu yazıcıdan harici bir sistem olarak üretilmiştir. Çalışmada üretilen yazıcıdaki adet nozul bulunmaktadır. Nozul içerisine filament malzemeyi transfer edecek olan ekstruder sistemleri ise gövdenin arka bölümüne montajlanmıştır. Şekil.5 de üç boyutlu yazıcı yazdırma elemanları görülmektedir.



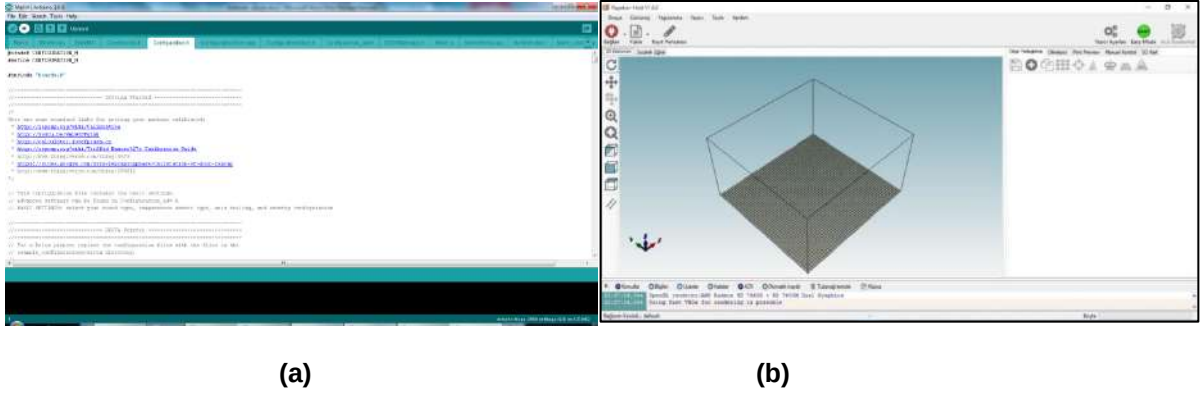
Şekil.5 Çift başlı nozle sistemi

Sistemde elektronik elemanların küçük açık kaynaklı üç boyutlu yazıcılarda da kullanılan arduino omega ve ramps 1.4. kartları ile A4988 ve JK1545 adım motor sürücülerini kullanılmıştır.



Şekil.6 Endüstriyel boyutlarda çift başlı yazıcı elektronik parçaları

Çalışmada eksenleri hareket ettiren adım motorları yüksek torklu büyük motorlar olması sebebiyle A4988 motor sürücülerini yeterli gelmemektedir. Bu nedenle sisteme motor sürücü olarak nema23 adım motor sürücüsü olan JK1545 adım motor sürücülerini kullanılmıştır. Arduino kartı çalışmada dağıtıcı kart olarak görev almıştır. Arduino üzerinden eksen çıkışları JK1545 motor sürücülerine oradan da adım motorlara bağlanmıştır. Sistemde nema17 adım motorları ise filamentekstruder ünitesinde kullanılmıştır (Şekil.6).



Şekil.7a) Arduino yazılımı yazıcı komut satırı b) Repetier Host yazıcı kontrol programı

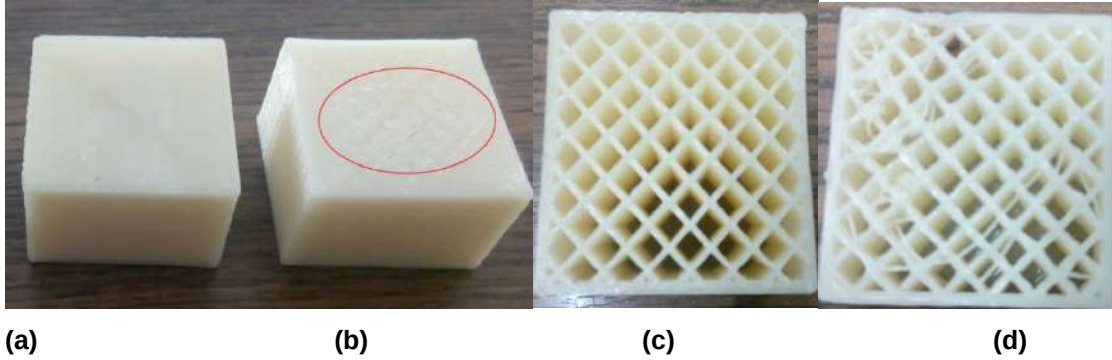
Çalışmada yazıcı kontrolü arduino yazılımı ile yapılmıştır (Şekil.7a). Arduino yazılımı adım motorlarını, çift nozul ve ekstruder kontrolünü de sağlamıştır. Repetier Host programı da (Şekil 7b) Çalışmada baskı öncesi model dilimleme ve üç boyutlu yazıcıyı bilgisayar üzerinden kontrol amacıyla kullanılmıştır.

3. DeneySEL Çalışmalar

3.1. Üç Boyutlu Yazıcı Hız Testleri

Çalışma kapsamında endüstriyel üç boyutlu yazıcı prototipi ile farklı hızlarda numuneler yazdırılmıştır. Yazdırılan numuneler 30 x 30 x 20 mm ölçülerinde kare prizma şeklinde parçalardır. Birinci numune 40 mm/sn hız ile yazdırılmıştır. Baskı işlemi 38 dakika sürmüştür. Basılan numune Şekil.8a da verilmiştir.

İkinci numune 60 mm/sn hızla basılmıştır. Baskı işlemi 32 dakika sürmüştür. Yazdırma işlemi sonucu Şekil.8b de görülmektedir.



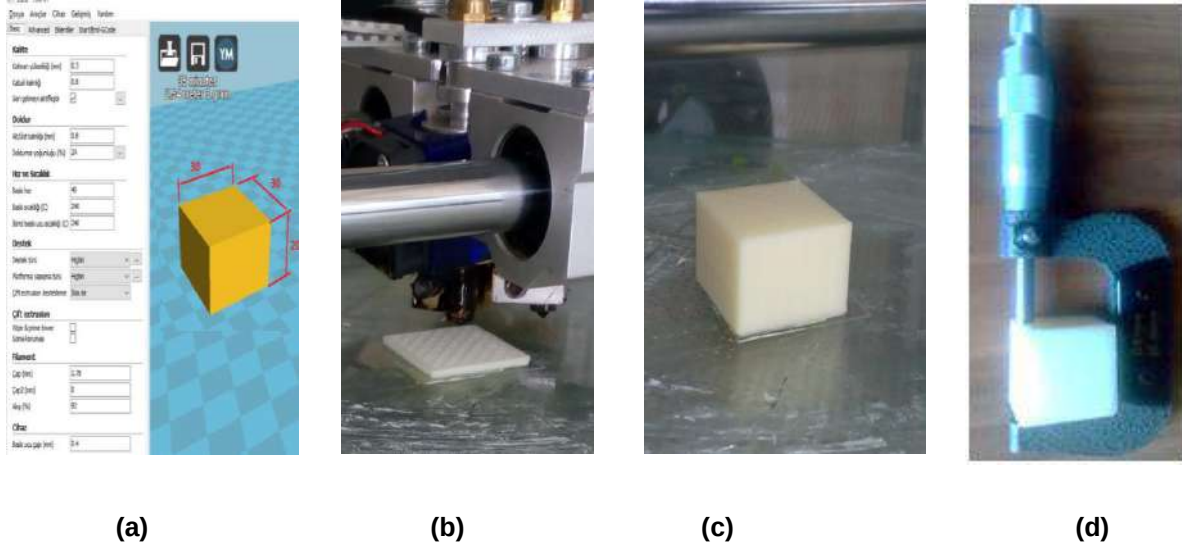
Şekil 8 a) 40mm/sn hız ile yazdırılan numune b) 60mm/sn hız ile yazdırılan numune c) 80mm/sn hız ile yazdırılan numune d) 100mm/sn hız ile yazdırılan numune

Üçüncü numune 80 mm/sn hızla yazdırılmıştır. Baskı işlemi 10. dakikayüzde 40 seviyesinde bitirilmiştir. Parça tablada sabit kalmış ancak yazdırma işlemi sırasında katmanların yapışmadığı görülmüştür. Şekil.9cde 3. modelin %40 aşamasında içyapısı verilmiştir. Dördüncü numune 100 mm/sn hızla yazdırılmıştır. Yazdırma işlemi 6.dakika %20 seviyesine bitirilmiştir. Bu numunede de katmanların yapışmadığı ayrıca daha önceki katmanlarda da iplik şeklinde problemler gözlenmiştir. Şekil.9d de 4. numune verilmiştir.

3.2. Üç Boyutlu Yazıcı Baskı Ölçüsü Doğruluk Testi

Çalışma kapsamında 30x30x20 ölçüleri olan 3 adet kare prizma numune aynı hızlarda yazdırılmıştır.

Numune model görünümü Şekil.9a da verilmiştir. Modelin baskı öncesinde Cura programı ile yapılan ayarları ve dilimlenme işlemi sonucunda baskıya geçilmiştir. Baskı işlemi 40mm/sn hız ile 38 dakika sürmüştür. Şekil.9'da işlem aşamaları görülmektedir.



Şekil.9 a) Test numunesi dilimleme, b) 3B yazdırma işlemi, c) Yazdırılan model, d) Numune ölçüm işlemi

Yazdırılan parçaların 0,01 hassasiyetli mekanik mikrometre ile ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge.2'de verilmiştir.

Çizelge.2 Üç boyutlu yazıcı baskı ölçüleri doğruluk hata payı Çizelgesi

NumuneNo	Model Ölçüleri (mm)	3D Baskı Ölçüleri (mm)	Hata Payı Yüzdesi
1	30 x 30 x 20	30,14 x 30,27 x 19,98	%0,4 - %0,9 - %0,1
2	30 x 30 x 20	30,17 x 30,30 x 19,87	%0,56 - %1 - %0,65
3	30 x 30 x 20	30,11 x 30,26 x 19,92	%0,36 - %0,86 - %0,4

3.3. Üç Boyutlu Yazıcı Tabla ve Kabin Sıcaklık Testi

Çalışmada yazıcı ısıtmalı tablası ile kabin içi sıcaklıklar karşılaştırılmıştır. Sıcaklık göstergelerinde okunan başlangıç tabla değeri 22 °C olmuştur. Tabla ısıtmaya başladığında 22 °C'den 70 °C'ye ısınması 232 saniye sürmüştür. Tabla 70 °C sıcaklıkta yazdırma işlemi sırasında yapılan ölçümlerde kabin kapakları kapalı durumda 34,8 °C iç mekan sıcaklığı ölçülmüştür. Tabla sıcaklığı artırılarak tekrarlanan ölçümler sonrası elde edilen değerler Çizelge.3'de verilmiştir.

Çizelge.3 Isıtmalı tabla ve yazıcı iç ortam sıcaklık karşılaştırma Çizelgesi

	Tabla Kontrolcü Sıcaklığı	Yazıcı İç Ortam Sıcaklığı
1. Ölçüm	70 °C	34,8 °C
2. Ölçüm	80 °C	36,1 °C
3. Ölçüm	100 °C	40,3 °C

3.4. Üç Boyutlu Yazıcı Elektrik Tüketimi Testi

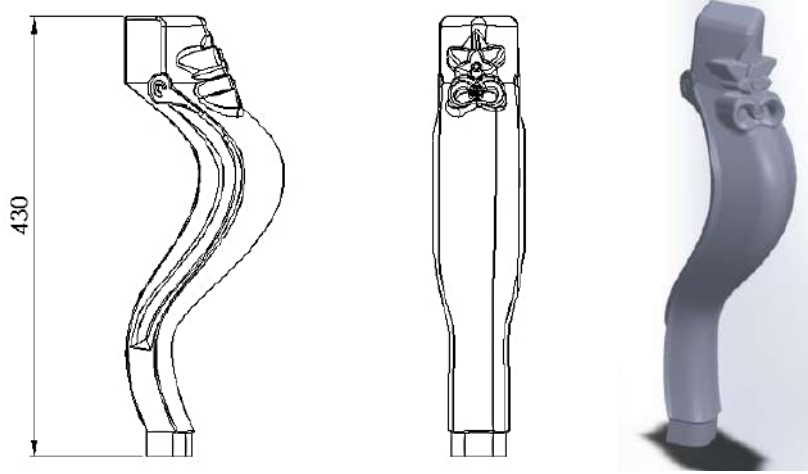
Çalışma kapsamında üç boyutlu yazıcının elektrik sarfiyatı ölçülmüştür. Ölçümler 70 °C tabla sıcaklığı ile yazıcı çalışırken yapılmıştır. Endüstriyel üç boyutlu yazıcı sistemi bir bütün olarak yapılan ölçümlerde Çizelge.4'deki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar elde edilirken tek nozzle çalışmıştır ve nozzle sıcaklığı 240 °C'dir.

Çizelge.4 Endüstriyel boyutlu 3d yazıcı genel elektrik tüketimi

Geçen Süre (t)	Sayaç okunan değer kw/h	Elektrik Tüketimi (watt/saat)
1. Saat	27,548 - 27,967 kw/h	419 watt/saat
2. Saat	27,967 - 28,384 kw/h	411,5 watt/saat
3. Saat	28,384 - 28,803 kw/h	410,8 watt/saat

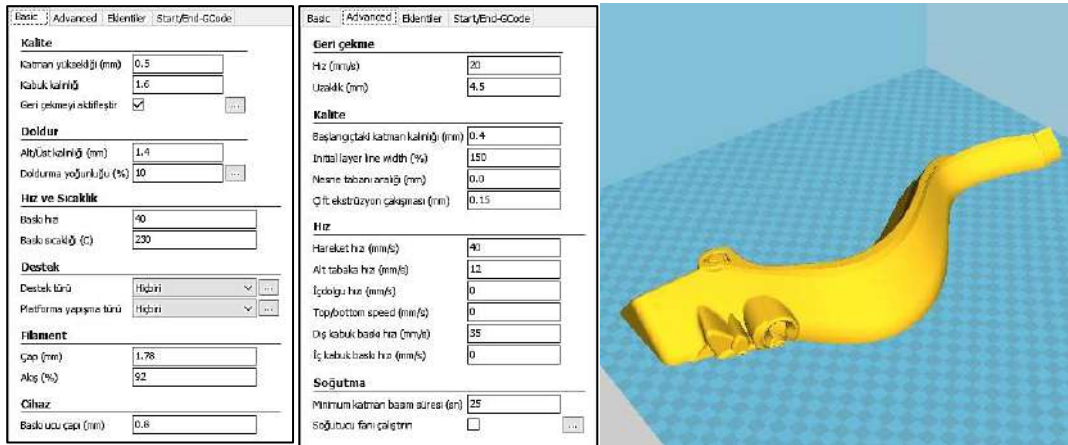
3.5. Sehpa Ayakları Baskı Uygulaması

Üç boyutlu yazıcı endüstriyel boyutları sayesinde büyük parçaları tek seferde yazdırabilme kabiliyetine sahiptir. Bu özelliği 430 mm boyunda olan sehpa ayağı baskı işlemi sırasında test edilmiştir (Şekil.11).



Şekil.10 Sehpa ayağı model ve ölçüleri

Sehpa ayakları referans yüzeyi oluşturmak ve desteksiz yazdırmak için Solidworks programı ile iki parçaya bölünmüştür. Bölünen parçalar sonrasında Cura programı ile dilimleme işlemi yapılmıştır. Dilimlenen model Repetier programı ile yazıcıya aktarılmış ve yazdırılmıştır (Şekil.11).



Şekil.11 Sehpa ayağı dilimleme ayarları ve modeli

Cura programında baskı ayarları Şekil.11 de görülmektedir. Yazdırma ayarları Çizelge.5 de verilmiştir.

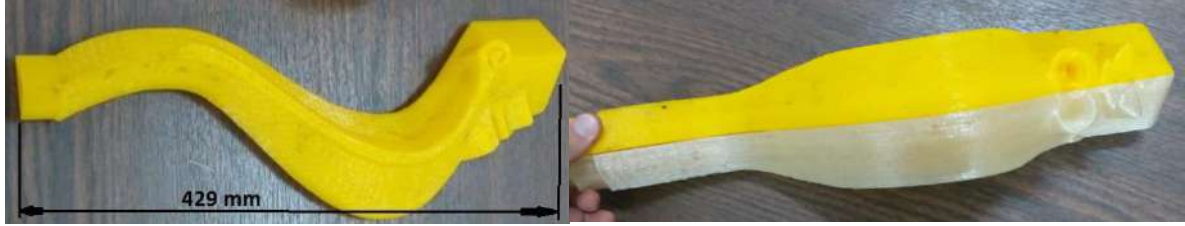
Çizelge.5 Sehpa ayağı baskı özellikleri

Nozzle çapı	0,8 mm
Baskı malzemesi	PLA (Sarı ve Şeffaf)
Katman yüksekliği	0,5 mm
Yazdırma hızı	40, 50, 60 mm/sn
İç doluluk oranı	%10
Yazdırma süresi	6 saat 54 dakika



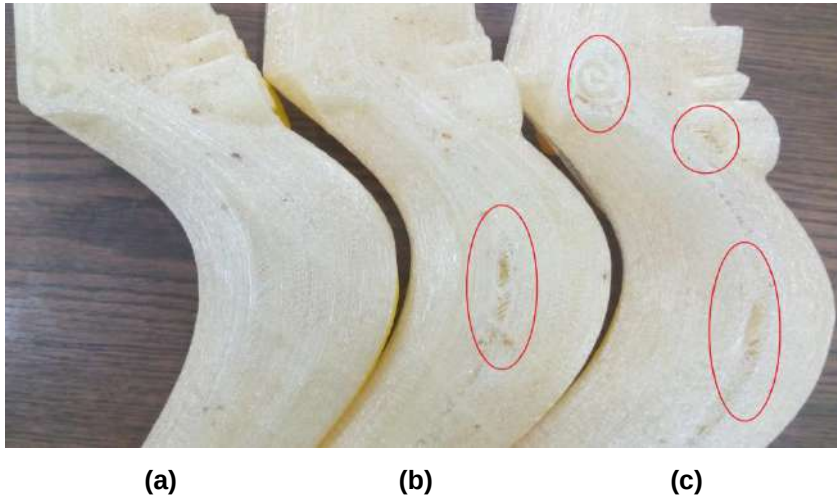
Şekil.13 Sehpa ayakları baskı başlangıç aşamaları görünümü

Çalışmada yazdırılan sehpa ayakları baskı işlemi sırasında 4 adet sarı renk olan parça ve sonrasında 4 adet şeffaf renk olan parça yazdırılmıştır (Şekil.13). Yazdırılan ayaklar 429 mm ölçülmüştür (Şekil.14).



Şekil.14 Sehpa ayakları basım işlemleri sonuçları görünümü

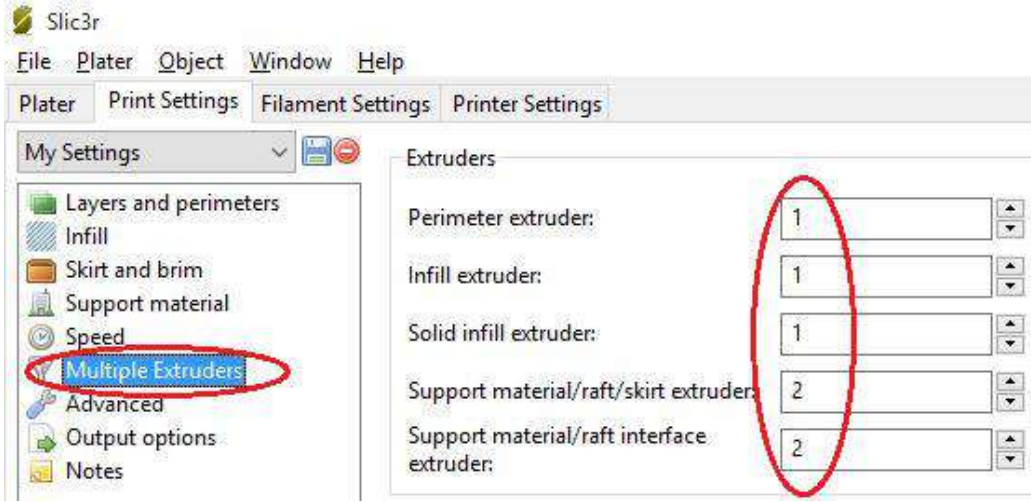
Üç boyutlu yazıcı 27 saat 6 dakika kesintisiz çalışmıştır. Bu çalışma esnasında 4 adet sarı renkli numune yazdırılmıştır. Diğer beyaz numuneler farklı hızlarda basılmıştır. Basım işlemi sırasında karşılaşılan hızdan kaynaklanan sorunlar Şekil.15. de gösterilmiştir.



Şekil.15 Sehpa ayağı baskı numuneleri hataları (a) 40 mm/s yazdırma hızında numune (b) 50 mm/s yazdırma hızında numune (c) 60 mm/s yazdırma hızında numune

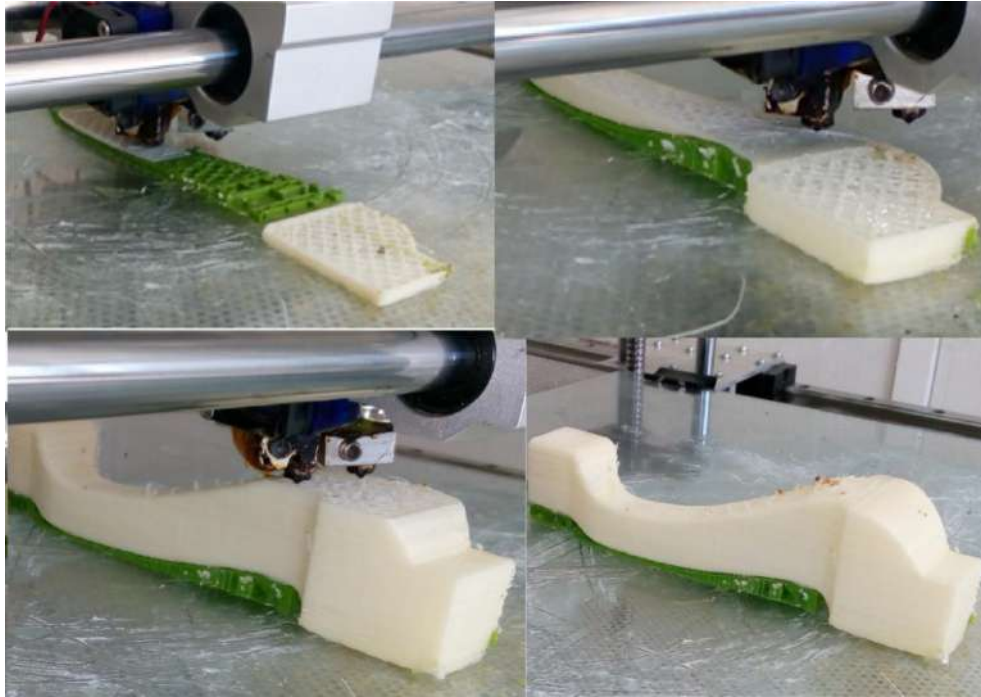
3.6. Üç Boyutlu Yazıcı Çift Kafa Baskı Uygulamaları

Çift kafa özelliği herhangi bir parça yazdırma işlemi sırasında destek malzemeleri atmak için kullanılabilir. Çalışmada bu özellik üzerine uygulama yapılmıştır. Çift kafa baskı ve 2. kafanın destek için kullanılması ayarları Slicer programı ile yapılmıştır. Şekil.16'de Slicer programında bu ayarlar gösterilmiştir.



Şekil.16 Slicer çift kafa destek ayarları

Çift nozzle baskı işlemi iki farklı renkte ABS malzeme ile yapılmıştır. Beyaz ve yeşil renkli filamentler ABS ile yazdırma testinde sehpa ayağı parçası yatay olarak tablaya yerleştirilmiştir ve tablaya temas etmeyen bölgelerin altına destek parçası basılmıştır. Destek parçası ikinci kafa ve ikinci renk ile basılmıştır. Şekil.19 da görülen yeşil renkli bölüm destek, beyaz renkli bölüm modelin kendisidir.



Şekil.17 Çift kafa destek için kullanılması ve baskı işlemi

4. Bulgular ve Tartışma

Yapılan hız testinde 0,4 mm uç ile yazılan numuneler içerisinde 40mm/sn hızla yazdırılan 1. numune problem ile karşılaşmamıştır. Üst yüzey başarılı şekilde kapatıldığı görülmüştür. 50mm/sn hızla yazdırılan 2. Numunede yazdırma anında kenar yüzeylerde kalitenin düşük olduğu ve üst yüzeyde kapatılmamış katmanlar gözlemlenmiştir. 60mm/sn hızla yazdırılmış 3. numune de katman yapışmaması sorunu yaşanmıştır. Numune kenarlarında ve iç dolgusunda pürüzlü yüzey gözlenmiştir.

80mm/sn hızla yazdırılan 4. Numunede katmanların yapışmaması bu numunede de gözlenmiştir. İç dolgu ve kenarlarda dağılmış baskı malzemeleri gözlenmiştir. Yapılan testler sonucu 40mm/sn hızın uygun hız olduğu öngörülmüştür.

Baskı doğruluk testi amacıyla 30mm x 30mm x 20mm ölçülerinde numune modellenmiştir. Üç boyutlu yazıcıda yazdırılan numuneler 0,4 nozzle ucu ile % 40 doluluk ta 38 dakika süre yazdırılmıştır,. Yazdırma işlemleri ardından birinci numune %0,4 - %0,9 - %0,1, 2. numune %0,56 - %1 - %0,65, 3. numune %0,36

- %0,86 - %0,4 oranlarda hata payı ile yazdırılmıştır. Ortalama hata payları 1. Numune için %0,46, ikinci numune için %0,73, üçüncü numune için %0,54 bulunmuştur.

Tabla sıcaklığı ile kabin iç ortam sıcaklığı arasında yapılan karşılaştırmalarda tabla sıcaklığının kabin iç sıcaklığına doğrudan etkisi olduğu görülmüştür. Oda sıcaklığı referans alındığında kabin sıcaklığında 15-20°C bir artış olduğu gözlenmiştir. Elektrik sarfiyatı ölçümleri sonuçlarına göre genel sistem olarak ortalama 418,4 watt/saat elektrik sarfiyatı sonuçları elde edilmiştir.

Büyük boyutlu yazdırma uygulaması olarak sehpa ayağı yazdırılırken yazdırma hızı sonucu karşılaşılan sorunlar incelenmiştir. 0,8mm uç ile 40mm/sn hızla yazdırılan parça üst katmanda sorun oluşmamıştır. 50mm/sn hızla yazdırılan parça üst yüzeyde bazı hatalar gözlenmiştir. 60mm/sn hızla yazdırılan ayak ise üst yüzeyinde kapanmamış bölgeler gözlenmiştir.

Çift kafa yazdırma işlemi testinde yazdırılan parça ve destek parçaları başarılı şekilde yazdırılmıştır. Üst katmanlarda ikinci nozzle ucun parçaya yaklaşması sonucu bazı hatalarla karşılaşmıştır. Bunu engellemek için çift kafa baskı yaparken modelin tabla üzerindeki konumu ve yönünün ikinci kafaya göre ayarlanmasının hataları engellenebileceği öngörülmüştür.

5. Sonuçlar

Çalışma sonucunda 990x1035x1540 mm ölçülerinde üç boyutlu yazıcı prototipi üretilmiştir. Baskı boyutları 600x700x800mm dir. Yazıcı çift yazdırma ucuna vekartezyen gövde eksen yapısına sahip olarak üretilmiştir. Çalışmada üretilen prototip üzerinde yapılan testler ve uygulamalar sonucundakarşılaşılan sorunlar incelenmiş ve çözüm yolları önerilmiştir. Çalışma endüstriyel üç boyutlu yazıcının makul maliyetler ile üretilebileceğini göstermiştir. Gelecekte yapılacak olan benzeri çalışmalara örnek olabilecek ve geliştirilebilecek bir çalışma olmuştur.

Referanslar

1. Prince, D., "3D printing: an industrialrevolution", *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 11 (1): 39-45 (2014).
2. Kruth, J. P.,Leu, M. C. And Nakagawa, T., "Progress in additive manufacturing and rapidprototyping",*Annals of theCirp*, 47 (2): 525-540 (1998).
3. Azari, A. andNikzad S., "The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review",*RapidPrototypingJournal*, 15 (3): 216 - 225 (2009).
4. Hull, C.,Feygin, M., Baron, Y., Sanders, R., Sachs, Lightman, E., A. And Wohlers, T.,"Rapid prototyping: current technology and future potential",*Rapid Prototyping Journal*, 1 (1): 11-19 (1995).
5. Pham, D. T. andGault, R. S., "A comparison of rapidprototypingtechnologies", *International Journal of Machine Tools &Manufacture*, 38 (1): 1257–1287 (1997).
6. Levy, G. N.,Schindel, R. andKruth, J. P., "Rapid manufacturing and rapid tooling with layermanufacturing (lm) technologies",*State of the art andfutureperspectives*, 1 (1): 1-21 (1996).
7. Polzin, C.,Spath, S. andSeitz, H. ,"Characterizationandevaluation of a PMMA-based 3D printingprocess",*Department of MechanicalEngineering*, 19 (1): 37-43 (2013).
8. G. C. Anzalone, B. Wijnenand J. M. Pearce, "Multi-material additive and subtractive prosumer digital fabrication with a free and open-source convertible delta RepRap 3-D printer", *Rapid Prototyping Journal*, Volume 21 · Number 5 · 2015 · 506–519
9. Vaezi, M.,Chianrabutra, S., Mellor, B. andYang, S. ,"Multiplematerial additive manufacturing - Part 1: A Review", *Virtual andPhysicalPrototyping*, 1 (1): 19-50 (2013).
10. C. Duran, V. Subbian, M. T. Giovanetti, J. R. Simkinsand F. R. BeyetteJr, "Experimentaldesktop 3D printing using dual extrusion and water-solublepolyvinyl alcohol", *Rapid Prototyping Journal*, Volume 21 · Number 5 · 2015 · 528–534
11. B. Stephens, P. Azimi, Z. El Orch, T. Ramos, "Ultra fine particle emissions from desktop 3D printers" *Atmospheric Environment*, 79 (2013) 334-339
12. Rayna, L. Striukova, "From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changingbusiness model innovation", *TechnologicalForecasting&SocialChange*, 102 (2016) 214–224

KARBON FİBER TAKVİYELİ ABS FİLAMENT ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

H. Kürşad SEZER^a, Oğulcan EREN^b ve H. Rıza BÖRKLÜ^c

*a, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, kursadsezer@gazi.edu.tr
b, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Müh. YL Öğrencisi, Ankara/TÜRKİYE, ogulcan.eren@gazi.edu.tr
c, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, rborklu@gazi.edu.tr*

Özet

Eklemeli imalat yöntemleriyle bilgisayar ortamında var olan CAD dosyaları etkili ve hızlı bir şekilde somut hale getirilerek 3 boyutlu prototipler oluşturulabilir. Eklemeli imalat geleneksel yöntemlere kıyasla karmaşık şekillerin kolay, ucuz ve hızlı üretilmesine olanak vermektedir. Eklemeli imalat yöntemleri arasında birçok uygulamada kullanılan en popüler yöntem Ergiyik Biriktirerek Modelleme (Fused Deposition Modelling –FDM)'dir. FDM genel anlamda termoplastik malzemenin katman katman yarı ergiyik halde serilmesine dayanan bir yöntemdir. Eklemeli imalat yöntemleri, enjeksiyon kalıplama ve döküm gibi geleneksel imalat yöntemleri ile kıyaslandığında; mekanik özelliklerinin daha düşük olmasından dolayı ABS filament kullanan FDM ile kullanıma hazır son parça imalatı yapmak zordur. Bu nedenle, ABS matris içerisine karbon fiber gibi takviye edici malzeme eklenerek oluşturulan kompozit filamentler ile son parça imalatına yönelik mekanik özellikleri artırılmış parçalar üretmek mümkündür. Karbon fiber takviyesi, parça dayanımını önemli derecede arttırmasına rağmen, filamentin esnekliğini ve işlenebilirliğini düşürmüştür. Bu durumun önüne geçmek için az miktarda plastikleştirici ve bağdaştırıcı, kompozit malzeme karışımı içine eklenmelidir. Günümüze kadar karbon fiber takviyeli ABS filament üretimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında kompozit filament elde etme yöntemleri ve elde edilen filamentlerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hızlı prototipleme, 3B Baskı, Kompozit filament

CARBON FIBER REINFORCED ABS FILAMENT MANUFACTURING AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES

Abstract

Additive Manufacturing (AM) can be effectively used to rapidly generate 3D prototypes and models by converting CAD files in computer environment to tangible objects. It allows easy, cost effective and rapid manufacture of complex shapes as compared to conventional methods. Among the additive manufacturing technologies, the most popular method used in many applications is Fused Deposition Modelling (FDM). Broadly FDM is a method based on depositing a thermoplastic material layer by layer in semi-molten form. It is difficult to manufacture final, ready for use parts using FDM technology due to lower mechanical properties as compared to conventional manufacturing methods such as casting and injection moulding. However, composite filaments formed by adding reinforcing materials such as carbon fibre into ABS matrix, can be used to manufacture final parts with improved mechanical properties. Although part strength can be significantly improved with carbon fibre reinforcement, flexibility and processability of the fibres is reduced. It is suggested that a small amount of plasticizer and compatibilizer must be added into a mixture of composite material to avoid this situation. There has been a number of studies on the production carbon fibre reinforced ABS filaments. This paper studied the composite filament manufacturing methods and their mechanical properties.

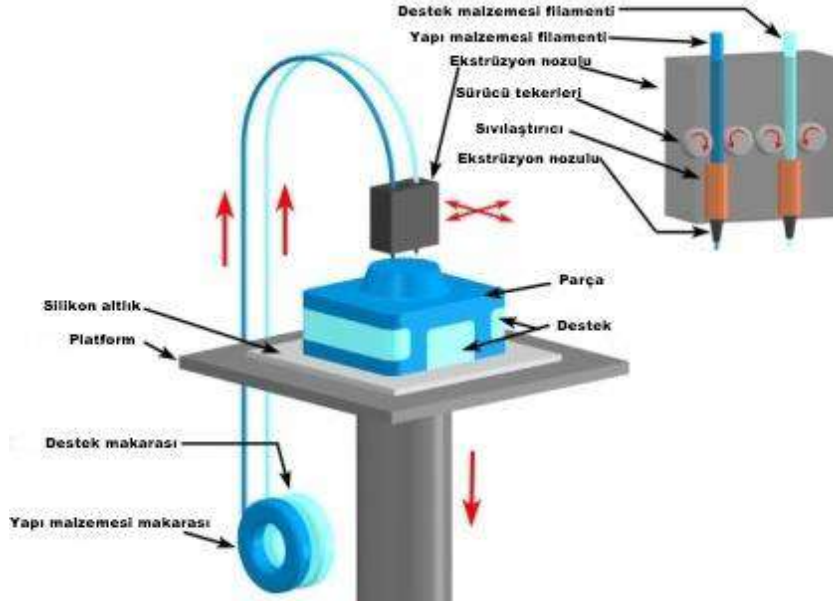
Keywords: Rapid prototyping, 3D Printing, Composite filament

1. Giriş

1.1. Eklemeli İmalat ve Malzemeleri

Eklemeli imalat; genel olarak bilgisayar destekli tasarım (CAD) modelinin katman katman basılarak katı parça üretme yöntemidir. Bu yöntem, geleneksel imalat yöntemlerine göre daha kolay, hızlı ve ucuz bir şekilde gerçek parça / bunlara ait modelleri oluşturabilmektedir [1-3]. Böylece hızlı prototip oluşturma son yıllarda başta uzay, otomotiv, medikal [4-5] olmak üzere mimari [6], eğitim [7] ve moda [8] vb. gibi birçok alanda kullanımı hızla artmaktadır [9]. Birçok farklı eklemeli imalat yöntemi mevcuttur ve bu yöntemler arasında; foto polimer reçineyi katılaştıran SLA (Stereolithography Apparatus) [10], plastik filament yarı ergiyik halde biriktiren FDM (Fused deposition modelling) [11], kağıt/plastik/metall tabakaları bağlayan LOM (Laminated object manufacturing) [12] ve metal tozları sinterleyen SLS (Selective Laser Sintering) [13] bulunmaktadır. Bunlardan plastik malzeme kullanan en uygun teknoloji olarak ise düşük maliyet, minimum atık ve çok malzeme çeşidi içeren FDM'dir [14-16].

FDM tekniği ile parça üretimi bilgisayar ortamındaki CAD modelin STL dosyasına dönüştürülmesiyle başlar (yatay dilimler oluşturulur). Katman kalınlıkları, geometrik hassasiyet ve işlem hızına göre belirlenir. Daha sonra program işlenmiş verileri nümerik kontrol kod olarak (g-code) FDM prototip oluşturma makinesine aktarır (Şekil. 1). Burada nozul ısıtılarak plastik filament yarı ergiyük hale getirilir ve tabaka şeklinde tablaya serilir. Nozul x-y, tabla z yönünde hareket edebileceği gibi bazı 3B hızlı prototip oluşturma cihazlarında nozul x-z, tabla y yönünde hareket eder. Ayrıca Chakraborty ve diğerleri (vd.), kavisli yol izleyerek katmanlar arası iz ve katman sayısını azaltan, dayanımı yükselten yeni bir teknikten de bahsetmişlerdir [17].



Şekil 1. FDM işlem şematiği [18].

Çift nozullu sistemlerde ikinci nozul suveya bazı kimyasal maddelerle çözünebilen destek malzemeleri de çıkarmaktadır. Ana malzeme ise ABS (Akrilonitril bütadien stiren), PC (Polikarbonat), PLA (Polilaktik asit), PA (poliamid) ve bu malzemelerden ikisine ait çeşitli karışımlar olabilir [19-20]. Genelde FDM teknolojilerinde kullanılan ABS filament dayanımları düşüktür. Bu durum FDM ile son parça imalatını engellemektedir. FDM ile oluşturulan parça dayanımını arttırmak için polimer malzeme içine karbon fiber vb. malzemeler eklenerek polimer kompozitler oluşturulabilir [9-21]. Kompozitler iyi dayanım ve düşük öz kütle özelliklerine sahiptir ve plastik endüstrisinde kullanımları hızla artmaktadır [16]. Kısa karbon fiber takviyeli polimerler; kolay işlenmesi, ucuz ve yüksek mekanik özelliklere sahip olmaları ile gittikçe önem kazanmaktadır. Bunları üretmek, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama gibi yöntemlerle yapılmakla birlikte bu tür işlemler, uzun süre, fazla enerji ve işgücü gerektirir [22-28].

1.2. FDM Kompozit Parça Üretimi

FDM ile üretilen parçanın mekanik özelliklerini geliştirmek ve performans yüksek termoplastik parça üretmek için bazı araştırmacılar mevcut FDM ekipmanı ile birlikte kullanılabilen termoplastik kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Burada belirli termo-fiziksel, mekanik ve katman oluşturma özellikleri gösteren takviyeli termoplastik filament üretilmesi gereklidir. Termo-fiziksel özellikleri şu şartları sağlamalıdır:

- Uygun erime ve katılaşma sıcaklığı
- Düşük termal genleşme katsayısı
- Minimal büzülme
- Yüksek ısı direnci olması ve
- Katı halde faz değişimi olmaması [1].

Zhong vd., FDM malzemesi olarak kullanılmak üzere kısa fiber-glass takviyeli ABS (GFABS) polimer kullanmıştır [1]. Bu birleşim, kırılma nedeniyle filament haline getirilememiştir. Doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) katkısının daha iyi esneklik ve süneklik sağladığı görülmüştür. LLDPE ve ABS matris arasındaki faz ayrımından dolayı ABS ve LLDPE molekül zincirleri arasındaki bağlantıyı güçlendirecek dengeleyici madde eklenmiştir. Böylece ağırlık oranı %18 fiber-glass olan güçlendirilmiş filament elde edilmiştir. Daha fazla fiber-glass eklenmesi ile doğrusal yükleme açısından yüksek gerilme direnci sağlanmıştır. Buna karşın fiber-glass eklemek, saf ABS ile karşılaştırılırsa, katmanlar arasındaki

yapışma kuvvetini zayıflatmıştır. Bazı araştırmalar ise bitişik katmanlar arasındaki bağ düzenine fiber etkisini ele almıştır [1, 29].

Shofner vd., FDM takviye malzemesi olarak karbon nanotüp ve karbon nanofiber içeren termoplastik kullanımını incelemiştir [21, 30]. Mekanik özellikleri arttırmak için polimer matris içinde nanofiberleri düzenleme amaçlı yürütülen araştırmalar da vardır [30, 31]. Polimer içindeki nano-partiküller polimerin makro moleküllerin hareketini önlediği ve darbe dayanımını azaltmadan gerilme modül ve dayanımı arttırdığı görülmüştür [31]. Kompozit malzeme özellikleri içindeki fiber şerit uyumuna bağlı olarak geliştirilebilir. Nanofiber dağılımı ve uyumu, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenebilir. Fiberlerin uyumlu bir şekilde düzenlenmesi ile mukavemet artmaktadır. Ayrıca kompozit örneklerde elastik uzama miktarının oldukça azaldığı ve süneklikten kırılma özelliğe de geçildiği görülmüştür. Bu etki katman içindeki dayanımı artırmış ama bunlar arası bağlantıyı azaltmıştır [30].

Gray vd., termotropik sıvı kristal polimerlerin (TLCPs) ticari FDM 1600 (Stratasys) makinasında kullanımını araştırmıştır [32]. Sıvı kristal polimer, uygun sıcaklık, basınç ve yoğunlukta sıvı kristal mezofaz olarak bulunabilen (çözelti içinde kristal halde) veya ergimiş halde kristal düzende sıralanabilen makromoleküllerdir. Bu tür sıvılar anizotropik davranış gösterir ve bunlara ait düzenli bölgelere 'mezofazlar' denir. Termotropik sıvı kristal polimerler, çeşitli sıvı kristal fazların bazı sıcaklık aralıklarında oluştuğu polimerlerdir. Üretilen basit parçaların mekanik özellikleri saf ABS ile üretilen parçalar ile karşılaştırılmış ve %40 TLCP takviyesi içeren kompozit gerilme modülü saf ABS ile üretilen parçadan %100, polipropilen ile üretilenden %150 daha fazladır. Katmanlar içi dayanım artmakla birlikte bitişik katman ve yollar arası dayanım (yapışma zayıf olduğu için) değişmemiştir [32].

Li vd., kısmi kontrol edilebilen özelliklere sahip prototip imalatı için FDM prototip model mekanik özellikleri konusunda çalışmışlardır. Teorik ve deneysel analizlere dayalı elastikiyet sabitlerini hesaplayacak denklem kümesi önerilmiştir. Bu sabitler FDM parça yapısal modellerini belirlemede kullanılmıştır. Fiberlerin farklı yığılma yoğunlukları, yönleri ve kombinasyonları; imal edilecek parça sertlik özelliklerini sağlamada kullanılabilir. Ardışık katmanlardaki desenin farklı açılı kombinasyonları, üretilen katman küme çeşitliliğini arttıracaktır [33].

Masood vd., yeni metal/polimer kompozit filament kullanarak FDM tekniği ile parça üretmiş ve test etmişlerdir. Bu yeni malzeme FDM sistemi ile doğrudan fonksiyonel parça ve kalıp üretmede gerekli mekanik özellikleri sağlamıştır. Bu özellikler, kompozit filament kullanmada partikül boyutu ve dolgu malzemesinin hacim oranı gibi hususları belirlemeyi sağlar. Kompozite ait büyük dolgu parçaları ve yüksek hacim oranı, düzenli kompozit malzeme partikül büyüklüğü durumunda, düşük çekme modülü, çekme dayanımı ve deformasyonu gösterir. Aynı hacme sahip büyük dolgu partikülleri (50-80µm) ve küçük dolgu partiküllerinden (<30µm) oluşan kompozitler karşılaştırılırsa; büyük boyuta sahip kompozitin çekme modülü ve dayanımının daha iyi olduğu görülür (Çizelge 1). Küçük dolgu partiküllerine sahip kompozit ise çok daha iyi çekme deformasyonuna sahip olduğu görülmüştür [34].

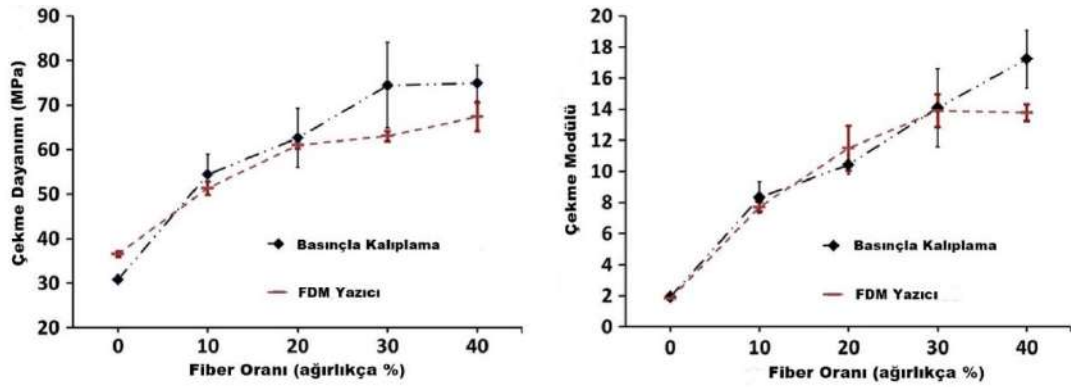
Çizelge 1. Demir/naylon kompozit filament çekme özellikleri [34].

Numune no	İçeriği (hacimsel)	Çekme modülü E (MPa)	Çekme dayanımı σ (MPa)	Çekme deformasyonu ϵ (%)
1	%30 Fe (büyük partikül) %70 naylon	54.52	3.87	16.82
2	%40 Fe (büyük partikül) %60 naylon	42.23	2.76	12.94
3	%40 Fe (küçük partikül) %60 naylon	37.18	2.44	74.61

Sa'ude vd., FDM filamentleri olarak bakır-ABS kompozit kullanmak için bunun dinamik mekanik özelliklerini araştırmışlardır. ABS matris malzeme içine farklı oranlarda toz bakır karıştırılarak elde edilen polimer matris kompoziti (PMC) deneysel olarak incelemiştir. Temel olarak bakır takviye oranının depolama modülü (E') ve $\tan \delta$ 'ya etkileri incelenmiştir. Depolama modülü (E') ve $\tan \delta$, bakır miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Yani, bu tür ABS matrisin dinamik mekanik özelliklerinin bakır miktarından oldukça etkilendiği gözlenmiştir [35].

Onagoruwa vd., polipropilen (PP) bağlayıcı ile seramik tozun karışımından üretilen filament FDM sisteminde kullanmışlardır. Mullit, ergiyik silis ve titanya tozu içeren filamentler, FDM 1650 makinesinde kullanılarak gözenekli seramik parçalar üretilmiştir. Daha sonra ise bağlayıcı madde parçadan çıkartılmış ve sinterleme işlemi uygulanmıştır. Bazı gözenekli parçalar Al ile infiltrasyon işlemine tabi tutulup metal seramik kompozitler üretilmiştir [36].

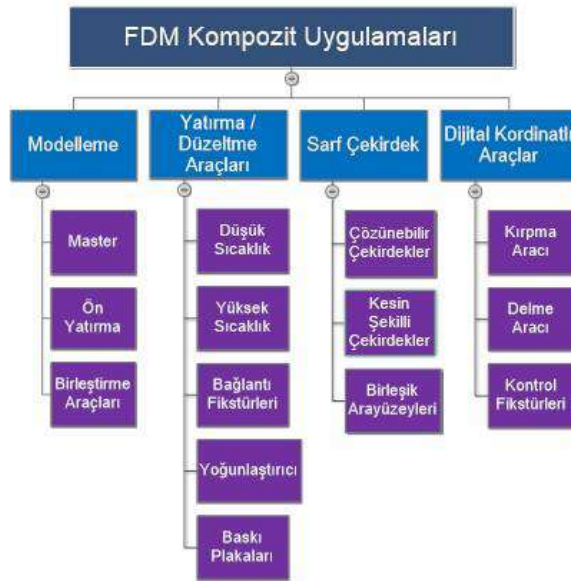
Tekinalp vd., kısa fiber (0.2-0.4mm) ile takviye edilmiş ABS matrisi işlenebilirlik, mikroyapı ve mekanik performans açısından araştırmış ve geleneksel basınç kalıplama (CM) ile üretilmiş bir kompozit ile karşılaştırmışlardır. 3B yazıcı ile üretilen numunelerin çekme dayanımı %115 ve modülü ise %700 dolayında artmıştır. 3B yazıcı, baskı doğrultusunda yüksek fiber yönelimine (%91.5 civarı) sahip numune üretmiştir. Buna karşın basınç kalıplama ile üretilen numune çok düşük fiber yöneliminesahiptir. Mikroyapısal mekanik özellikler ilişkilendirildiğinde ise 3B yazıcı ile üretilen numune basınç kalıplama ile üretilene göre büyük gözenekli yapıya sahiptir. Her ikisi de benzer çekme mukavemeti (Şekil 2) ve modülü göstermektedir. Bu olgu fiber yönlendirilmesi, dağılımı ve gözenek biçimine göre açıklanabilir [9].



Şekil 2. Basınç kalıplama ve FDM yöntemleri ile üretilen kompozit parçanın çekme özellikleri [9].

Su'ade vd., enjeksiyon kalıbı veya FDM için filament üretmede kullanılan ekstrüzyon makinesine ait yeni polimer matris kompozit geliştirmişlerdir. Burada ABS matrisine farklı oranlarda demir tozu ve bağlayıcı eklenerek mekanik özellikleri test edilmiştir. Temel olarak demir tozu oranındaki artış; sertlik, çekme ve eğilme mukavemetini arttırmaktadır. Hızlı polimer kompozit yığma işlemi ile ürün geliştirme zamanı, kalıp ve araç masrafı ile atık malzeme miktarı azaltılmaktadır [37].

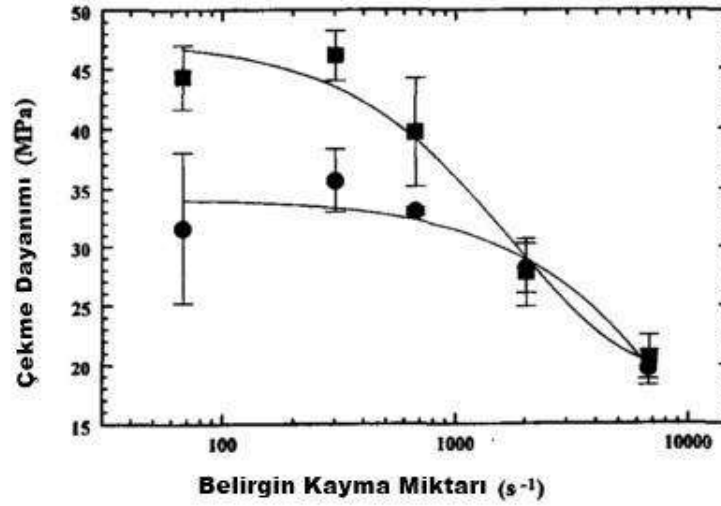
Stratasys'den Bill Macy dolayı üretimle kompozit parça üretimi konusunda FDM'in sağladığı kolaylık ve avantajlar konusunda çalışmıştır. Şekil 3'te de görüldüğü gibi FDM, farklı tip kompozit uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 3. FDM Kompozit uygulamaları [38]

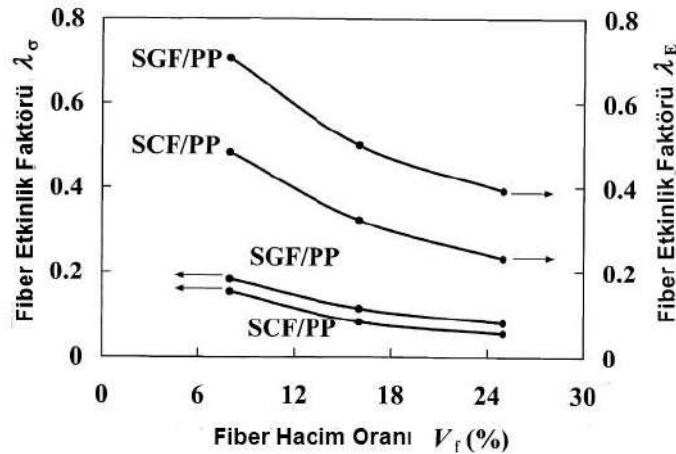
FDM kalıplama, işlevsel olmamakla birlikte ergonomik açıdan birçok avantajlara sahiptir. FDM kalıplama, geleneksel yöntemlerden daha hafif olduğu için, yük kaldırma ve destek performansı düşüktür. Buna karşın geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor, karmaşık ve pahalı parçaların hızlı ve ucuz bir şekilde yapılması mümkündür [38].

Gray vd., FDM'de kullanılacak termotropik sıvı kristal polimer (TLCP) lifleri ile takviye edilmiş polipropilen (PP) demetleri üretmek için yeni çift ekstrüder işlemi üzerine çalışmışlardır. İşlem PP'nin erime sıcaklığı olan 165 °C'de yüksek erime sıcaklığına sahip (283 °C) TLCP liflerini karıştırmaya dayanmaktadır. Demetler sonra FDM işlemi ile tekrar ekstrüde edilir. Şekil 4'de takviye edici TLCP liflerinin yönelimi ve L/D oranının (ekstrüder vida uzunluğu/vida çapı) mekanik özelliklere etkisi görülebilir [39].



Şekil 4. %28 TLCP ve %72 PP karışımı çekme dayanımı, L/D = 12.5 (○) ve L/D = 18.5 (◻) [39].

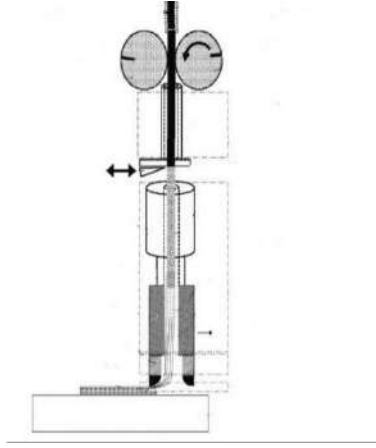
Fu vd., kısa fiber glas (SGF) ve kısa karbon fiber (SCF) takviyeli polipropilen (PP) kompozitin ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmesini ele almışlardır. Sonra bu malzemelerin çekme özellikleri incelenmiştir. Sonuçta Şekil 5'de de görüldüğü gibibu iki kompozitin de fiber etkinlik faktörü, fiber hacim oranı artışına ters orantılı olarak azalmış ve daha kırılğan olan karbon fiber, fiber glasa göre daha düşük fiber etkinliği göstermiştir [3].



Şekil 5. SGF/PP ve SCF/PP Dayanımı ve modülü için fiber etkinlik faktörü [3](λ_E kompozit modülü için fiber etkinlik faktörü, λ_σ kompozit dayanımı için fiber etkinlik faktörü).

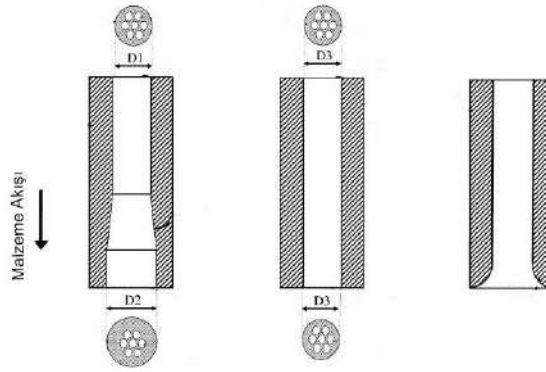
Karslı vd., karbon fiber (CF) takviyeli poliamid 6 (PA6) ile kompozit malzemelerde fiber miktar ve uzunluğunun; mekanik, termal, morfolojik özellikler üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Mekanik sonuçlar, artan CF oranının çekme dayanımı, çekme modülü ve sertliği artırırken; kompozitin kırılma dayanımını azalttığı görülmüştür. Diferansiyel taramalı kalorimetre analiz (DSC) sonuçları, cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve ergime sıcaklığının (T_m) karbon fiber içeriği ve uzunluğuna bağlı önemli bir değişiklik göstermediği belirlenmiştir. Dinamik mekanik analiz (DMA) sonuçları ise depolama ve kayıp modülünün karbon fiber oranına bağlı olarak arttığını göstermiştir [5].

Mark ise sürekli karbon fiber takviyeli filament geliştirerek, yine kendi geliştirdiği MorkForced adlı FDM yöntemine dayanan Şekil 6'dagörünen 3B yazıcıda kullanmıştır.



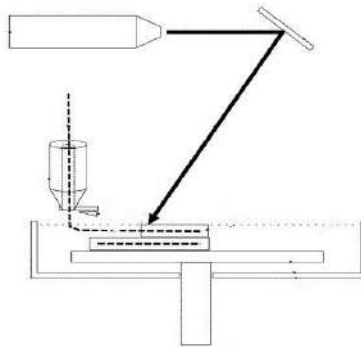
Şekil 6. Sürekli çekirdek güçlendirmeli filament kullanan 3B yazıcının şematik gösterimi [40].

Mark, patentinde sürekli karbon fiber takviye yığılmasında tıkanma veya fiber kırılmalarına sebebiyet vermeyen yeni nozul çeşitleri geliştirmiştir. Bu yeni nozuldaki ek düzeltici kısım yüzey düzgünlüğünü (kalitesini) artırırken gözenek oluşumunu biraz azaltmaktadır.



Şekil 7. Çeşitli nozul başlıkları [40].

Bu çalışmada çift nozullu bir sistem, önce seçili alan desenlerineergiyik dolgu malzemesi(dayanımı az kompozit, saf reçine naylon gibi) serer. Arkasından sürekli karbon fiber takviyeli kompozit ile kabuk oluşturularak dayanımı yüksek kompozit parça üretebilir. Ayrıca patent çalışmasında stereolitografi ve/veya seçici lazer sinterleme teknikleriyle birlikte kullanılan karma bir sistemde de tanıtılmaktadır. Burada sürekli akışkan reçine veya toz şeklindeki malzemeler tabakalar şeklinde serilip gerekli katman özellikleri için radyasyon ışını ile katılaştırma yapılır [40].



Şekil 8. Takviyeli fiber biriktirebilen karma stereolitografi 3B yazıcı [40].

2. Kompozit Filament Üretimi

2.1. Malzeme ve Ekipmanlar

Çalışma kapsamında kompozit filamenti üretmek amacıyla ABS granül (performance ABS, Oo-Kuma) matris malzeme, kısa karbon fiber (6mm epoksi bazlı 1101, DowAksa) takviye malzeme, LLDPE (doğrusal düşük yoğunluklu polietilen) (Plasmar) sünekliliği artıracak plastik oluşturucu ve parafin (1802, Baykim) yağlayıcı olarak kullanılmıştır. Çift vidalı ekstrüder (Krauss Maffei) malzemeleri homojen olarak karıştırmada kullanılmıştır. Çift vidalı ekstrüder, ABS matrisi yarı ergiyik hale getirip, karbon fiber takviye malzemeyi matris içinde homojen karıştırarak ekstürzyon sağlar. Ayrıca tek vidalı masaüstü filament ekstrüder (Wellzoom C) kompozit malzemeyi filament haline getirmek için kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan FDM 3Byazıcı(3Dison Pro) ise birçok farklı malzeme kullanarak 3B parça üretim olanağı sağlamaktadır. Bakalit içerisine alınan parçalara ait yüzeyler de parlatılmış ve optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir.

2.2 Filament Hazırlama

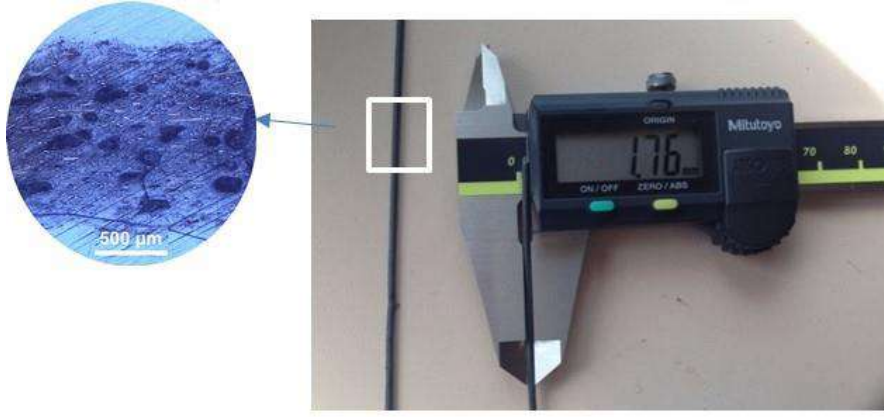
Granül halinde bulunan ABS, LLDPE ve parafin ile kısa karbon fiber Çizelge 2'de gösterilen oranda çift vidalı ekstrüder ile 180 °C ön ısıtma 215 °C çıkış sıcaklığında karıştırılarak ekstrüde edilmiştir. Malzemeler çift vidalı ekstrüder ile homojen karıştırılarak, granül halden filament haline geldiğinde (istenilen filament çapına sahip olmadıkları için) masaüstü tek vidalı ekstrüderden tekrar işlem den geçirilerek 1.75 mm çaplı filamanet haline getirilir. Filament ekstrüzyonunda ekstrüderin ön ısıtıcı ve çıkış sıcaklıkları ile ekstrüzyon hızı, filament kalite ve çapını önemli oranda etkilemektedir. Çalışma kapsamında ön ısıtıcı ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 215 °C ve 235 °C olarak ayarlanmıştır. Sıcaklık filamentin yüzey kalitesini ve filament içerisindeki gözenek oranını etkilemektedir. Ekstrüzyon hızı ise 2000-2200mm/dk olarak optimize edilmiştir. Devir ve filament çekme hızı, filament çapını doğrudan etkilemektedir.

Çizelge 2. İncelenen filament numunesinin malzeme içerikleri.

Numune no	Karbon fiber (g)	ABS (g)	LLDPE (g)	Polietilen (g)	Karbonfiber oranı
1	26	187	25	5	%10,6
2	40	187	25	5	%15,5
3	54	187	25	5	%20,0

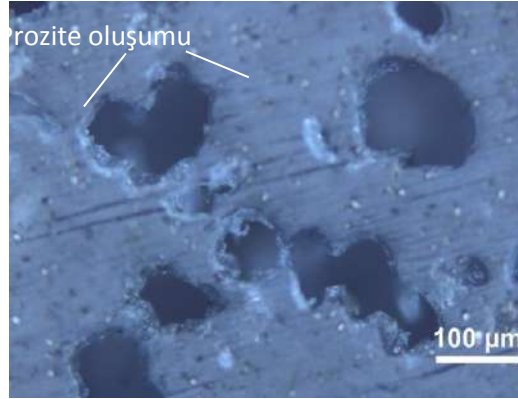
3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada FDM 3D yazıcılarda kullanılacak kompozit filament üretilmiş vemevcut FDM yazıcıya uygunluğu incelenmiştir. Kısa karbon fiber takviyeli ABS filamentin saf ABS'ye göre dayanımının önemli ölçülerde değiştiği daha önceki çalışmalarda da saptanmıştır [6, 19, 41, 42]. Kısa karbon fiber takviyeli ABS filamentin üretiminde olası sorunlar ve optimum oranlar bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Çalışma kapsamında ağırlık olarak %10 %15 ve %20 oranlarında karbon fibere sahip filamentler üretilmiştir (Şekil 9). Sünekliliği arttırmak üzere karışıma bir miktar LLDPE ve yağlayıcı olarak polietilen eklenmiştir. Sonuçlar ekstrüzyon sıcaklık ve hızının filament kalitesinde önemli rol oynadığını göstermiştir. ABS 250 °C derecede bozulmaya başlamaktadır. 200 °C altı sıcaklıklarda ise yarı ergiyik özellikte olamadığı için ekstrüzyon zordur. Bu durum pürüzlü yüzey oluşmasına yol açar. Ayrıca ekstrüder ön ısıtıcısı nozul çıkış sıcaklığından 5-10 °C daha düşük olmalıdır. Ekstrüzyon ve filament çekme hızları, filament çaplarını etkiler ve eşit değerde olmaları gerekir. Aksi takdirde filament çapında dalgalanmalar görülebilir. Filament çekme hızı, ekstrüzyon hızına göre ayarlanabilen bir sarıcı makara yardımıyla belirlenebilir. Çalışma kapsamında 1.75 mm çapa sahip filamentler 2000-2200mm/dk ekstrüzyon hızında üretilmiştir.



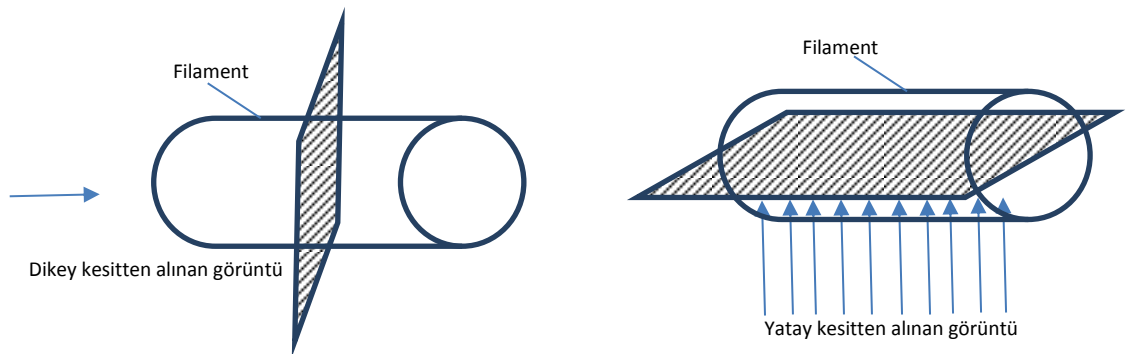
Şekil 9. Üretilen kompozit filament.

Karbon fiber katkısı; malzemenin çekme dayanımı, elastikiyet modülü, tokluk ve süneklik gibi mekanik özelliklerini etkiler. Karbon fiber miktarının artması çekme dayanımını genel olarak arttırmaktadır [5-9]. Fakat daha çok karbon fiber eklenmesi her zaman daha iyi sonuçlar verecek anlamına gelmemektedir. Çeşitli karbon fiber özelliklerine göre belirli miktarın üzerindeki karışımlarda çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Çünkü artan fiber oranıyla fiber-ABS arası katmanlar tam birleşmediği için daha sık boşluk oluşur ve böylece gözenekli yapı ortaya çıkar ve dayanımda azalır (Şekil 10).

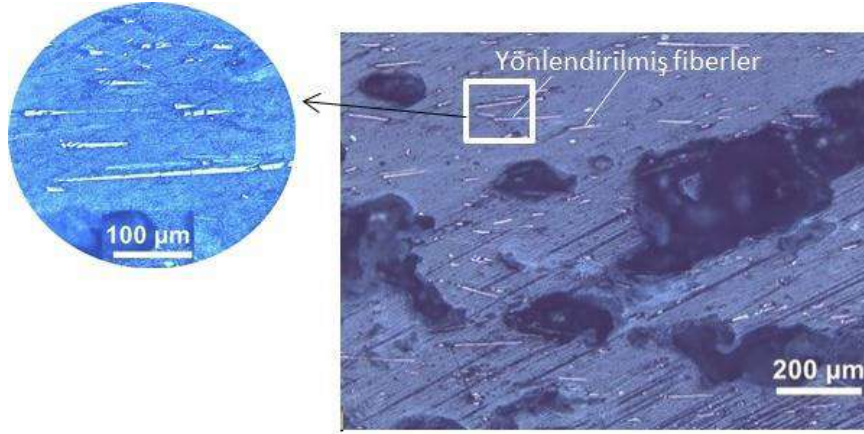


Şekil 10. Üretilen karbon takviyeli kompozit filament içerisinde oluşan boşluklar (porozite).

Homojenliği sağlamak için yapılan yoğun karıştırma işleminde fiberlerin kırıldığı görülmüştür. Fiber boyu ise dayanımı arttırmada önemli bir etkidir. Deneylerde 6 mm uzunluğunda kullandığımız kısa karbon fiberler kırılarak 0,4 mm veya daha küçük boyutlara ayrılmışlardır.

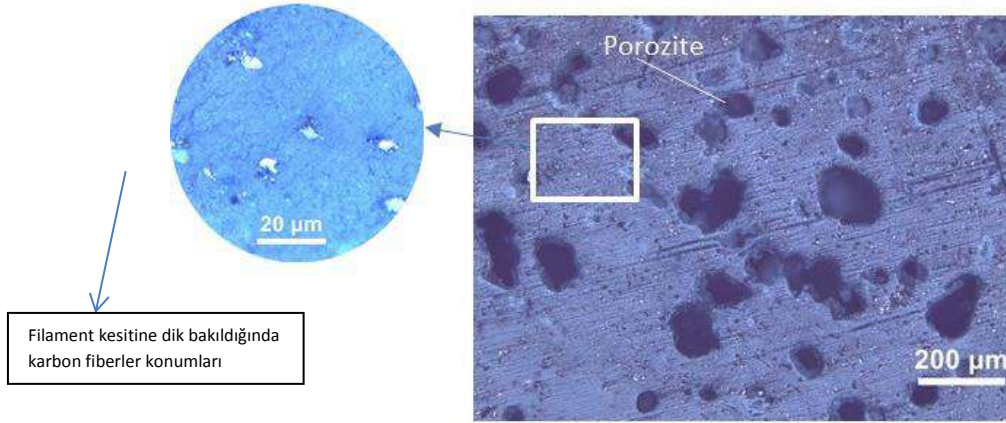


Şekil 11. Optik mikroskopta alınan yatay ve dikey görüntüler.



Şekil 12. %15 Karbon fiber içeren filament yatay kesiti.

Üretilen filamentlerin Şekil 11’de şematik olarak gösterilen yatay ve dikey kesitlerine optik mikroskop yardımı ile bakılmıştır. Şekil 12’de görüldüğü gibi ABS matris içerisine karbon fiberler düzgün ve yönlendirilmiş bir şekilde dağılırken büyük boşluklar oluştuğu da gözlemlenmiştir. Şekil 13’de filament kesitine dik bakıldığında ise kısa fiberlerin oldukça homojen dağılımı ve yüzeye dik yönelimleri görülmektedir.



Şekil 13. Karbon fiber içeren filament dik kesiti.

Karbon fiber oranının artması çekme dayanımı yanında kırılabilirliği de arttırmaktadır [9]. Bu durum filamentin FDM yazıcılarda kullanılmasını zorlaştırır. Zhong vd. kırılabilirliği önleyerek sünekliği ve esnekliği arttırmak için kompozit karışım içerisine bir miktar LLDPE (Doğrusal düşük yoğunluklu polietilen) eklemiştir [2]. LLDPE miktarının %10’dan fazla olması ABS ve LLDPE arasında geniş faz ayrımlarına neden olmaktadır. Zhong vd. karışım bir miktar yapısal (bütadien ve akrilonitril içeren) olarak ABS’ye ana zincir yapısı $((CH_2)_n)$ olarak LLDPE benzeyen HNBR (Hidrojen nitril kauçuk) ekleyerek faz ayrımlarının önlemeye çalışmışlardır [2].

Ayrıca ağırlık olarak %20 üzerindeki karbon fiber miktarı FDM makinasında nozul tıkanmalarına sebebiyet vermektedir. Nozul tıkanmalarını engellemek için geliştirilen farklı nozul geometrik biçim tasarımlarından Mark’ın patentinde bahsedilmiştir [40]. Tam homojen karışım olmaması halinde karbon fiber miktarının yoğun olduğu yerlerde nozul yine tıkanacağı için baskı işlemi yarım kalabilir. Kısa karbon fiber uzunluğu dayanımı arttırmakla birlikte nozul tıkanmalarına yol açabilir.

Referanslar

1. Sood AK, Ohdar RK, Mahapatra SS., Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts, Mater Des., 2010;31:287–95.
2. Zhong W, Li F, Zhang Z, Song L, Li Z., Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling, Mater Sci. Eng. A., 2001;301:125–30.
3. Fu SY, Lauke B, Mader E, Yue CY, Hu X. Tensile properties of short-glass-fiber- and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites. Composites Part A 2000;31:1117–25.
4. Nikzad M, Masood SH, Sbarski I. Mater Des 2011;32:3448–56.

5. Karsli NG, Aytac A. Tensile and thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites. *Composites Part B* 2013;61:270–5.
6. Botelho EC, Figiel L, Rezende MC, Lauke B. Mechanical behavior of carbon fiber reinforced polyamide composites. *Compos Sci Technol* 2003;63:1843–55.
7. Tezcan J, Ozcan S, Gurung B, Filip P. Measurement and analytical validation of interfacial bond strength of PAN-fiber-reinforced carbon matrix composites. *J Mater Sci* 2008;43(5):1612–8.
8. Vautard F, Ozcan S, Poland L, Nardin M, Meyer H., Influence of thermal history on the mechanical properties of carbon-acrylate composites cured by electron beam and thermal processes. *Composites Part A* 2013;45:162–72.
9. Tekinalp HL, Kunc V, Velez-Garcia GM, Duty CE, Love LJ, Naskar AK, et al. Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing. *Compos Sci Technol* 2014;105(10):144e50.
10. West AP, Sambu SP, Rosen DW. A process planning method for improving build performance in stereolithography. *Comput Aided Des* 2001;33(1): 65e79.
11. Dudek P. FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements. *Arch Metall Mater* 2013;58(4):1415e8.
12. Park J, Tari MJ, Hahn HT. Characterization of the laminated object manufacturing (LOM) process. *Rapid Prototyp J* 2000;6(1):36e50.
13. Kruth JP, Wang X, Laoui T, Froyen L. Lasers and materials in selective laser sintering. *Assem Autom* 2003;23(4):357e71.
14. Kai CC, Fai LK, Chu-Sing L. *Rapid prototyping: principles and applications in manufacturing*. 2nd ed. Singapore: World Scientific Publishing; 2003.
15. Gibson I, Rosen DW, Stucker B. *Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*. 2nd ed. New York: Springer; 2010.
16. Ning F, Cong W, Qiu J, Wei J, Wang S. Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling. *Composites Part B* 80 (2015) 369e378
17. Chakraborty, Debapriya, Aneesh Reddy, B., Roy Choudhury, A.: *Extruder path generation for Curved Layer Fused Deposition Modeling*, 2008
18. <http://www.3dparts.co.uk/how-it-works/> 03/2016
19. Comb, J.W., Priedeman, W.R., Leavit, P.J., Skubic, R.L., Batchelder, J.S.: High-precision modeling filament, patent
20. Marcincinova LN, Marcincin JN, Barna J, Torok J. Special materials used in FDM rapid prototyping technology application. In: *Proceedings of IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, Lisbon; 2012. p. 73e6.
21. Shofner ML, Lozano K, Rodríguez-Macías FJ, Barrera EV. Nanofiber-reinforced polymers prepared by fused deposition modeling. *J Appl Polym Sci* 2003;89(11):3081e90.
22. Bader MG, Collins JF. The effect of fibre-interface and processing variables on the mechanical properties of glass-fibre filled nylon 6. *Fibre Sci Technol* 1983;18:217–31.
23. Bijsterbosch H, Gaymans RJ. Polyamide 6-long glass fiber injection moldings. *Polym Compos* 1995;16:363–9.
24. Biolzi L, Castellani L, Pitacco I. On the mechanical response of short fibre reinforced polymer composites. *J Mater Sci* 1994;29:2507–12.
25. Curtis PT, Bader MG, Bailey JE. The stiffness and strength of a polyamide thermoplastic reinforced with glass and carbon fibres. *J Mater Sci* 1978;13:377–90.
26. Denault J, Vu-Khanh T, Foster B. Tensile properties of injection molded long fiber thermoplastic composites. *Polym Compos* 1989;10:313–21.
27. Doshi SR, Charrier JM. A simple illustration of structure-properties relationships for short fiber-reinforced thermoplastics. *Polym Compos* 1989;10:28–38.
28. Friedrich K. Microstructural efficiency and fracture toughness of short fiber/thermoplastic matrix composites. *Compos Sci Technol* 1985;22:43–74.
29. Gaard A, Krakhmalev P, Bergstrom J. Microstructural characterization and wear behavior of (Fe,Ni)–TiC MMC prepared by DMLS. *J Alloys Comp* 2006;421(1–2):166–71.
30. Shofner, M.L, Rodríguez-Macías, F.J, Vaidyanathan, R, Barrera, E.V: Single wall nanotube and vapor grown carbon fiber reinforced polymers processed by extrusion freeform fabrication, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*
31. Kim J, Creasy TS. Selective laser sintering characteristics of nylon 6/clay reinforced nanocomposite. 2004
32. Robert W. Gray IV, Donald G. Baird, Jan Helge Bøhn.: Effects of processing conditions on short TLCP fiber reinforced FDM parts, *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 4 Iss: 1, 1998 pp.14 – 25

33. L. Li, Q. Sun, C. Bellehumeur: Composite Modeling and Analysis for Fabrication of FDM Prototypes with Locally Controlled Properties, *Journal of Manufacturing Processes*
34. S.H. Masood , W.Q. Song: Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using Fused deposition modelling, *Materials and Design* 25 (2004) 587–594
35. Sa'ude, N., Masood, S. H., Nikzad, M., Ibrahim, M., Ibrahim, M. H. I.: Dynamic Mechanical Properties of Copper-ABS Composites for FDM Feedstock, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* ISSN: 2248-9622 Vol. 3, Issue 3, May-Jun 2013, pp.1257-1263
36. Seyi Onagoruwa, Susmita Bose ve Amit Bandyopadhyay: Fused Deposition of Ceramics (FDC) and Composites, *WA* 99164-2920
37. N. Sa'ude, M. Lbrahim, ve M. H. Ibrahim: Mechanical Properties of Highly Filled Iron-ABS Composites in Injection Molding for FDM wire Filament, *Materials Science Forum* Vols. 773-774 (201a) pp 456-461 (2014)
38. Macy, B.: Rapid/Affordable Composite tooling strategies utilizing Fused Deposition Modeling
39. R. W. Gray, D. G. Baird, J. H. Bohn: Thermoplastic Composites Reinforced With Long Fiber Thermotropic Liquid Crystalline Polymers for Fused Deposition Modeling, *Polymer Compisite*, August 1998, Vol. 19, No. 4
40. Gregory Thomas Mark: Methods for fiber reinforced additive manufacturing, patent, 5 Haz 2014
41. Gordeyev SA, Ferreira JA, Bernardo CA, Ward IM. A promising conductive material: highly oriented polypropylene filled with short vapour-grown carbon fibers. *Mater Lett* 2001;51:32–6.
42. Sy Fu, Lauke B. Effect of fiber length and fiber orientation distributions on the tensile strength of short-fiber-reinforced polymers. *Compos Sci Technol* 1996;56:1179–90.

ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA BASKI PARAMETRELERİ VE KONUMLANDIRMANIN ÇIKTI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Birhan IŞIK^a, Halil İbrahim DEMİRCİ^b, Süleyman SEMİZ^c

a, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük/TÜRKİYE, birhanisik@karabuk.edu.tr

b, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Karabük/TÜRKİYE, hdemirci@karabuk.edu.tr

c, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Karabük/TÜRKİYE, ssemiz@karabuk.edu.tr

Özet

Klasik imalat yöntemleri (delme, kesme, tornalama, frezeleme, taşlama, ekstrüzyon, pultrüzyon vs..) halen oldukça yaygın kullanıma sahip olmalarına karşın zaman ve maliyet olarak genelde olumsuz karşılanmaktadır. Üç boyutlu yazıcıların ortaya çıkmasından sonra araştırmacılar, hep daha farklı malzemeler için bu yöntemin kullanılması için araştırmalarını odaklamışlardır. Böylece klasik imalat yöntemlerine alternatif oluşturmayı da amaçlamışlardır.

Bu çalışmada PLA malzeme, üç farklı baskı parametresi ile (sıcaklık, baskı hızı, katman kalınlığı) elde edilen yazıcı çıktıların yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar incelenerek en iyi yüzey kalitesi için optimum parametrelerin elde edilmesi sağlanmıştır. Buna ilaveten, alınacak çıktılara değişken konumlama yöntemi uygulanarak baskı çıktıları zamansal olarak kıyaslanmaktadır. Konumlandırmanın baskı zamanı üzerindeki etkileri sunulmaktadır. Sonuç olarak CAD verilerinin baskı çıktısı almadan önce üç boyutlu yazıcı üzerine nasıl konumlandırılması gerektiği sorusuna cevap aranmaktadır.

Anahtar kelimeler: Tersine mühendislik, PLA, baskı parametreleri, yüzey pürüzlülüğü, konumlandırma

INVESTIGATION OF EFFECTS OF PRINTING PARAMETERS & POSITIONING ON SURFACE ROUGHNESS USING 3D PRINTER

Abstract

Traditional manufacturing methods (drilling, cutting, turning, milling, grinding, extrusion, pultrusion, etc. ...) is still quite widespread despite having time and cost are met generally negative. After the emergence of three-dimensional printers researchers, they always focus their research for the use of this method for different materials. Thus, they aim to create an alternative to conventional manufacturing methods.

In this study, surface roughness results of PLA material using the three different printing parameters (temperature, printing speed, layer thickness) have been measured. Obtaining optimum parameters are provided for examining surface quality of the experimental results. However, applying positioning of print-outs produced by different materials are compared temporally. Positioning roll effects on printing time are presented. As a result, how to answer the question should be positioned on the three-dimensional printer before the print-out of CAD data is required.

Keywords: Reverse engineering, ABS, PLA, printing parameters, surface roughness, positioning.

1. Giriş

3D baskı teknolojisi, yeni bir üretim teknolojisi süresiz / yığıntı şekillendirme mantığına dayanan yeni bir imalat teknolojisidir [1]. Üç boyutlu (3D) baskı (stereolitografi, hızlı prototipleme ve eklemeli imalat olarak adlandırılır) bir bilgisayardaki 3D dosyadan tek bir öğenin düşük maliyetli üretimini sağlayan bir teknolojidir [2–4]. Lanzetta ve Sachs [5] bimodal toz dağılımı kullanımı ile 3D baskı sürecinin yüzey kalitesini geliştirmişlerdir. STUPP ve ekibi [6] 3D yazıcı kalibrasyonu ve parça doğruluk artışı için yeni bir yaklaşım sunmuştur. Dimitrov ve ekibi [7] 3D baskı sürecinin ulaşılabilir en iyi boyutsal doğruluğunu elde etmeye çalışmıştır.

Bu çalışmada PLA malzeme, üç farklı baskı parametresi ile (sıcaklık, baskı hızı, katman kalınlığı) elde edilen yazıcı çıktıların yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar incelenerek en iyi yüzey kalitesi için optimum parametrelerin elde edilmesi sağlanmıştır. Buna ilaveten, alınacak çıktılara

değişken konumlama yöntemi uygulanarak baskı çıktıları zamansal olarak kıyaslanmaktadır. Konumlandırmanın baskı zamanı üzerindeki etkileri sunulmaktadır. Sonuç olarak CAD verilerinin baskı çıktısı almadan önce üç boyutlu yazıcı üzerine nasıl konumlandırılması gerektiği sorusuna cevap aranmaktadır.

2. Malzeme ve Metot

2.1. Malzeme

Deneylerde, PLA (PolylacticAcid) malzeme kullanılmıştır. PLA, en çok kullanılan 3D yazıcı malzemesidir. PLA, çarpılma ihtimalinin düşük olması nedeni ile ısıtıcı bir platform gerektirmemektedir. PLA'nın teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir. PLA malzemeler 30x20x10 mm ebatlarında modellenerek uygun baskı parametrelerinde çıktıları alınmıştır.

Çizelge1. PLA ve ABS'nin mekanik özellikleri [8]

Yoğunluk	1.25 gr/cm ³
Elastik (Young) modülü	3.5 Gpa
Kırılma uzaması	% 6
Eğilme modülü	4 Gpa
Eğilme mukavemeti	80 Mpa
Erime sıcaklığı	160°C
Çekme mukavemeti (UTS)	50 Mpa

2.2. Yazıcı ve Yazılım

Deneylerde Ultimaker2 yazıcı kullanılmıştır. Bu yazıcıya ait teknik özellikler Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Ultimaker 2 yazıcının teknik özellikleri [9]

Teknoloji	FDM
Baskı alanı	23x23x20.5 cm
Katman kalınlığı	20 µm
Hız	30-300 mm/s
Ham madde	PLA / ABS / CPE / NAYLON / FLEX / Tüm özel filamentler (açık filament sistemi)
Kafa sayısı	1
Ham madde çapı	2.85 mm
Nozzle çapı	0.25 / 0.4 / 0.6 / 0.8 mm (Değiştirilebilir nozzle sistemi)
Platform	Isıtmalı
Güç kaynağı	200 W
Yazılım formatı	STL / OBJ / DAE / AMF

Yazılım olarak Cura 15.02.1 kullanılmıştır. Baskı için parçalar öncelikle Solidworks 2015 programında modellenmiştir. Daha sonra bu modeller STL formatında Cura 15.02.1 programında gerekli baskı parametreleri ile yazmaya hazır hale getirilmiştir.

2.3. Baskı Parametreleri

Deneylerde elde edilecek çıktılar için değişik kesme parametreleri kullanılmıştır (Çizelge 3). İki farklı baskı sıcaklığı, üç farklı katman yüksekliği, üç farklı baskı hızı temel değişkenler olarak seçilmiştir.

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan baskı parametreleri

Malzeme	PLA
Filament çapı	1.75 mm
Baskı sıcaklığı	200 - 230°C
Katman yüksekliği (t)	0.1 - 0.2 - 0.3 mm
Baskı hızı	30 – 40 – 50 mm/s
Doldurma yoğunluğu	% 20
Nozzle çapı	0.4 mm

2.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Yüzey pürüzlülük ölçümleri MarSurf PS1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır (Şekil 1)

**Şekil 1.** Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin tespiti için ISO 4287/1 baz alınarak ölçümler yapılmıştır. Cut-off değeri 0,8 mm ve toplam ölçüm uzunluğu (Cut-off x 5) 4 mm'dir.

2.4. Konumlama Değişimi

Deneylerde elde edilecek çıktılar için değişik baskı parametreleri kullanılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Deneylerde kullanılan baskı parametreleri

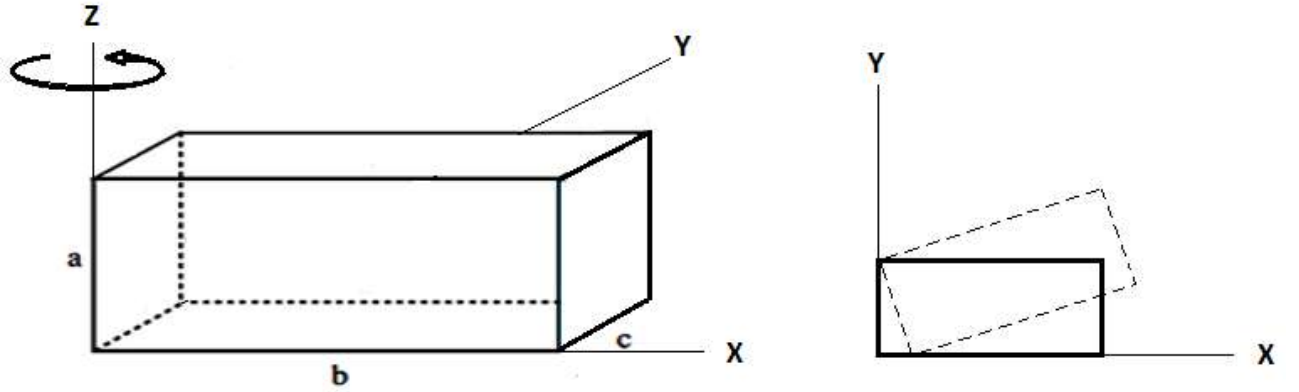
Malzeme	PLA
Filament çapı	1.75 mm
Baskı sıcaklığı	200°C
Katman yüksekliği	0.1 mm
Baskı hızı	40 mm/s
Doldurma yoğunluğu	% 20
Nozzle çapı	0.4 mm
İlk konumlama geometrisi	6 geometri
Dönme açıları	0°-15°-30°-45°-60°-75°-90°

Çıktısı alınacak model printer üzerine ilk konumlama 6 farklı geometri baz alınarak yapılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Çıktıya ait tablaya ilk konumlama geometrileri

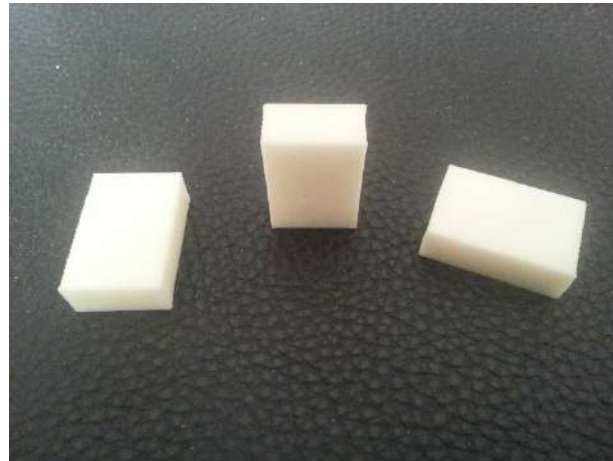
	a [mm]	b [mm]	c [mm]
Geometri 1	10	20	30
Geometri 2	10	30	20
Geometri 3	20	20	30
Geometri 4	20	30	10
Geometri 5	30	10	20
Geometri 6	30	20	10

Baskı alınacak modelin, 0° - 15° - 30° - 45° - 60° - 75° - 90° olmak üzere Z doğrultusu etrafında 7 farklı konumda çıktısı alınarak. Zaman ve ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu konum değişikliğine ait detaylar Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Modelin Z ekseninde döndürülerek konumlandırılması

PLA malzemenin 40x20x10 mm ebatlarında modellenerek uygun baskı parametrelerinde çıktıları alınmıştır (Şekil 3).



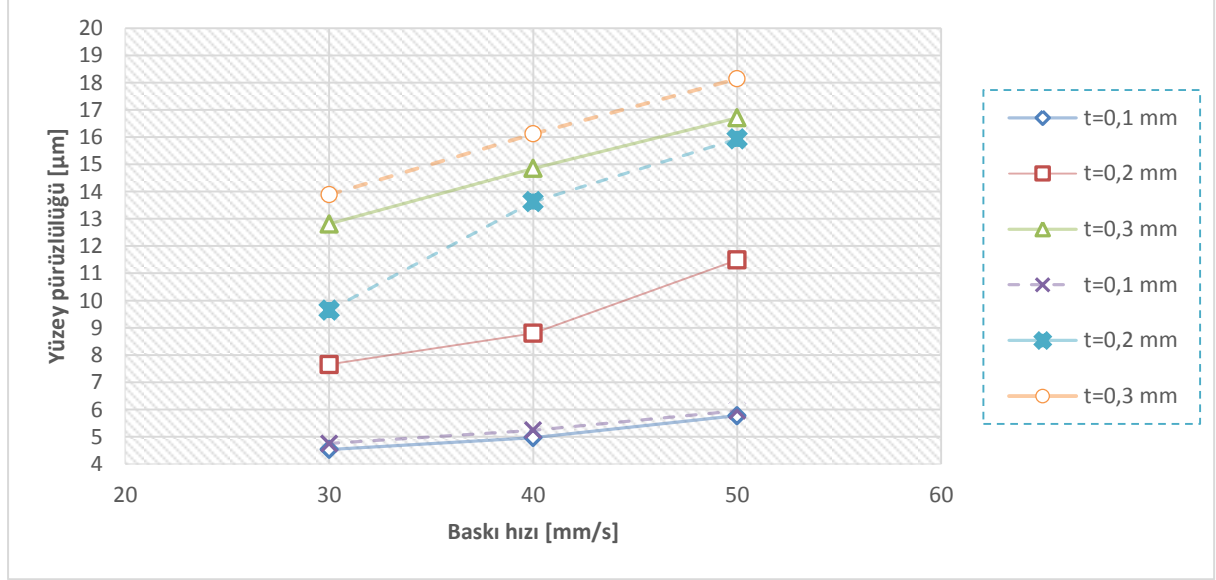
Şekil 3. Deneyler neticesinde elde edilen yazıcı çıktıları örnekleri

3. DeneySEL Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmektedir. Bu sonuçlara göre;

- Baskı hızı arttıkça, yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır.
- Katman yüksekliği arttıkça, yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır.
- Genel olarak baskı sıcaklığı arttıkça, yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır.

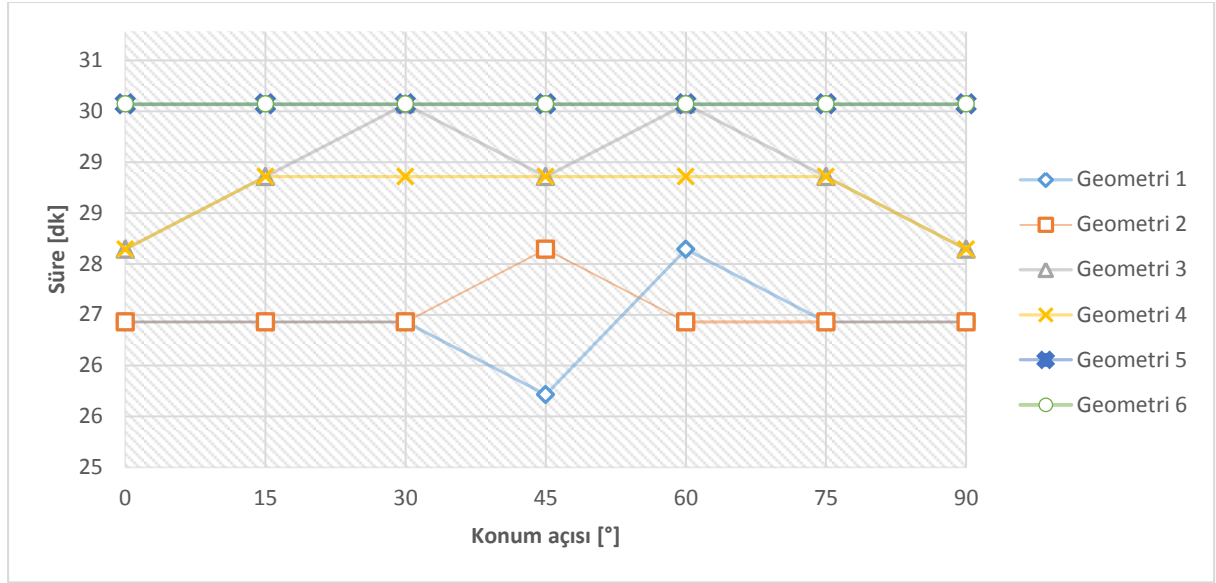


Şekil 4. PLA malzemenin baskısında Yüzey pürüzlülüğü-Baskı hızı karşılaştırma grafiği
(Baskı sıcaklığı : ——— 200°C , - - - - 230°C)

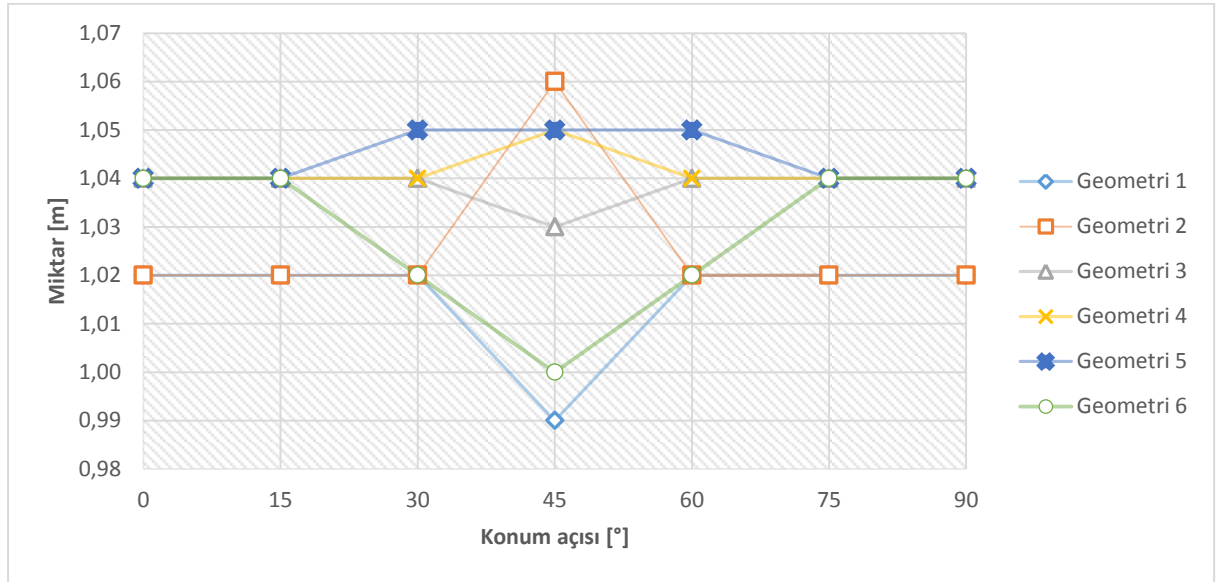
3.2. Konumlama Değişimi Sonuçları

Deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve 6'te verilmektedir. Bu sonuçlara göre:

- Geometri 1 ve Geometri 2 ile daha düşük süreler elde edilmiştir.
- Geometri 5 ve Geometri 6 ile daha yüksek süreler elde edilmiştir.
- Geometri 5 ve Geometri 6 ile aynı sürelerde çıktı alınmıştır.
- Geometri 1 ve Geometri 2 ile daha düşük miktarda filament tüketilmiştir.
- Geometri 4 ve Geometri 5 ile daha yüksek miktarda filament tüketilmiştir.
- Geometri 6 da 45°'lik konumlama açısı ile en düşük miktarda filament tüketmiştir. Geometri 2 ise 45°'lik konumlama açısı ile en yüksek miktarda filament tüketmiştir.
- En az zaman Geometri 1 de 45°'lik konumlama açısı ile elde edilmiştir.
- En az zaman ve en az miktar Geometri 1 de 45°'lik konumlama açısı ile elde edilmiştir.



Şekil 5. Konumlama açısı – Süre kıyaslama grafiği



Şekil 6. Konumlama açısı – Miktar kıyaslama grafiği

4. Sonuçlar

PLA malzemenin baskıları neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri göz önüne alınarak şu sonuçlara ulaşılabilmektedir:

- Katman yüksekliği yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır.
- Baskı sıcaklığı arttıkça yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır.
- Baskı hızı yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır.
- Yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu şart; 200°C baskı sıcaklığında, 30 mm/s baskı hızı ve 0,1 mm katman yüksekliğidir.

Soğumanın geç gerçekleşmesi yüzey pürüzlülüğüne olumsuz yansımaktadır. Özellikle daha yüksek katman yüksekliklerinde bu fark açıkça görülebilmektedir.

Konumlama değişimi ile ilgili olarak şunlar söylenebilir:

- Kısa zamanda çıktı elde etmek istendiğinde ilk konumlama yapılırken X doğrultusuna uzun taraf, Y doğrultusuna da daha kısa taraf getirilmelidir. Z doğrultusunda ise en kısa taraf

konumlandırılmalıdır. Daha sonra bu pozisyona 45° açı verilmesi ile elde edilen yeni konumda zaman ve miktar olarak en iyi sonucun elde edildiği görülmektedir. Z yönüne en uzun kısım X yönüne ise en kısa kısım konumlandırıldığında tüm açı değişimlerinde zaman ve miktar olarak en kötü sonuçlar elde edilmektedir.

- İllaki uzun tarafın Z yönünde olması gerekiyorsa daha kısa olan kısım X yönünde konumlanmalı ve 45° Z yönünde açı verilerek filament tüketiminin daha az olması sağlanmalıdır.

Referanslar

1. Hod L, Melba K, 3D printing: from vision to reality. Published by Citic, Beijing, 2013
2. Kumar S et al. Reinforcement of stereolithographic resins for rapid prototyping with cellulose nanocrystals. ACS Appl Mater Interfaces., 4(10):5399–407. doi:10.1021/am301321v., 2012
3. Kumar S, Kruth JP. Composites by rapid prototyping technology. Mater Des., 31(2):850–6, 2010.
4. Picariello P. ASTM international committee F42 on additive manufacturing technologies. 2014. Available from: <http://www.astm.org/Standards/F2792.htm>. Accessed October 2015
5. Lanzetta M, Sachs E (2003) Improved surface finish in 3D printing using bimodal powder distribution. Rapid Prototyping J 9:157–166
6. Stopp S, Wolff T, Irlinger F, Lueth T (2008) A new method for printer calibration and contour accuracy manufacturing with 3D print technology. Rapid Prototyping J 14:167–172
7. Dimitrov D, Wijck WV, Schreve K, de Beer N (2006) Investigating the achievable accuracy of three dimensional printing. Rapid Prototyping J 12:42–52
8. www.makeitfrom.com, 2016
9. www.ultimaker.com, 2016

EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN STL DOSYALARININ HATALARI VE ONARIM YÖNTEMLERİ

Burhan DUMAN^a, M. Cengiz KAYACAN^b

a, Süleyman Demirel Üniversitesi, Uluborlu MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta/TÜRKİYE, burhanduman@sdu.edu.tr

b, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta/TÜRKİYE, cengizkayacan@sdu.edu.tr

Özet

Günümüzde tıp, havacılık ve hassas kalıpcılık alanlarında Eklemeli İmalat(Eİ) teknolojilerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Tasarımla ya da farklı yöntemlerle elde edilen model Eklemeli imalat yazılımları ile ön işlemlerden sonra(onarım, dilimleme vb.) Eİ makinelerinde imal edilebilmektedir. Elyazılımlarının kullanmış olduğu standart dosya formatı STL' dir. İmalatı yapılacak model CAD programları ile tasarımdan, BT ile elde edilen verilerden ya da 3B tarayıcılardan elde edilen nokta bulutundan sonra STL dosya biçimine dönüştürülür. STL dosyaya dönüşüm esnasında bazı hatalar meydana gelebilmektedir. Geometrik şekil olarak doğru bir imalat yapılabilmesi için de bu hataların düzeltilmesi gerekmektedir. Çalışmada STL dosyada meydana gelebilecek hatalar ve bu hataların onarım yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak araştırılması amaçlanmıştır. Farklı onarım yöntemleri incelenmiş ve geometrik doğruluğu koruyarak onarım yapan yöntemler tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Eklemeli imalat, STL dosya, üçgen yüzey, üçgenleştirme

THE DEFECTS OF STL FILES WHICH ARE USED IN ADDITIVE MANUFACTURING AND THEIR FIXING METHODS

Abstract

Using Additive Manufacturing (AM) technologies in the field of medicine, aviation and delicate die-sinking has gradually become widespread nowadays. The model which can be made by design or different methods can be manufactured in Additive Manufacturing (AM) machines after pre-treatment (like fixing, slicing etc.) by Additive Manufacturing programs. The standart format of the file which Additive Manufacturing programs use is STL. The model to be manufactured is converted to STL file format after the design by CAD programs, data gotten by BT or point cloud which is gotten from 3D printers. It is likely to come across some defects during the process of converting to STL file format. To be able to manufacture the most accurate geometrical shape, it is necessary to fix these defects. In this study, it is aimed to comparatively research the estimated defects which can occur in STL files and the methods to fix these defects. Different fixing methods have been analyzed and the methods which repair by keeping the right geometry have been discussed.

Keywords: Additive Manufacturing, STL file, triangular facet, triangulation

1. Giriş

Alışılmamış imalat yöntemlerinden biri olan eklemeli imalat (Eİ) teknikleri, 80'li yılların sonlarına doğru gelişmeye başlamıştır. Bu teknik, başlangıçta prototip yapmak için kullanıldığından "Hızlı Prototipleme" adıyla anılmıştır [1]. Sonraları 90'lı yıllarda hızlı prototipleme sistemlerindeki gelişmelerle prototip yapmak amaçlı kullanımının yanında son kullanım direkt fonksiyonel parçaların imalatında kullanılmaya başlanmıştır. Tanımlamadaki farklı terimler ve fikirler sebebiyle teknik, farklı isimlerle ortaya çıkmıştır [2]. Literatürde bu isimlerden; Eklemeli İmalat, Üç Boyutlu Yazıcı (3B-Y) Eklemeli Üretim (EÜ), Katmanlı İmalat (Kİ), Katmanlı Üretim (KÜ), Hızlı İmalat (Hİ), Direkt İmalat (Dİ), Sayısal İmalat (Sİ), Masaüstü İmalat (Mİ), Katı Serbest Şekilli İmalat (KSSİ), Serbest Şekilli İmalat (SSİ), e-İmalat (e-İ), e-Üretim (e-Ü) olarak bahsedilmektedir [3,4,1].

Eklemeli imalat, üç boyutlu (3B) geometrik verileri kullanarak malzemenin bir biri ardına katman katman eklenmesiyle, karmaşık geometriye fiziksel parçaların hızlı bir şekilde imalatını gerçekleştiren bir imalat tekniğidir. Bu teknikte parça, bilgisayar destekli tasarım (BDT) programları ile çizim, tersine mühendislik (TM), bilgisayarlı tomografi (BT) gibi farklı yöntemlerle elde edilen 3B modelden inşa edilir. 3B model çok sayıda ince katmanlara ayrılır (dilimlenir) ve imalat sistemleri, parça tamamlanıncaya kadar her bir katmanı ardışık biçimde inşa etmek için bu geometrik veriyi kullanırlar [5-9].

İmalatı düşünülen 3B modelçoğu durumda doğrudan imalat makinesine gönderilmemektedir. Model ilk olarak, eklemeli imalat standart arabirimi olan STL biçimli dosyaya dönüştürülür. STL dosya hatalarının tespiti ve varsa onarılması, modelin tablaya yerleşimi ve inşa yönü, ihtiyaç halinde destek yapılarının oluşturulması gibi bazı ön işlemlerden geçirilir. Ön işlemlerden geçirilen model dilimlenerek (katmanlara ayrılarak) imalata hazır hale getirilir ve imalat makinesine gönderilir (Şekil 1).

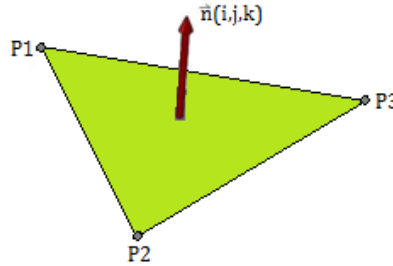


Şekil 1. Eklemeli imalat işlemi veri akışı

Eklemeli imalatla genellikle STL dosya formatı kullanılmaktadır. STL dosya formatı, bütün BDT formatları ile yüksek çözünürlüklü 3B yazdırma arabirimi için *de facto* standardı haline gelmiştir [7,10-12]. STL dosya, basit olarak geometrik modeli tanımlayan üçgen yüzeylerden oluşmaktadır. İmalat verisi hazırlamak için 3B modelin STL dosyaya dönüşümü esnasında veya daha sonraları STL dosya hataları oluşabilmektedir[13]. Hatalı STL dosyadan imal edilecek bir parçada da geometrik tutarsızlık ve düşük hassasiyet gibi hataların olması kaçınılmazdır. Bundan dolayı, son kullanım parçada oluşabilecek STL dosyadan kaynaklı imalat kusurlarının olmaması için STL dosya hatalarının düzeltilmesi gerekliliği doğmaktadır.

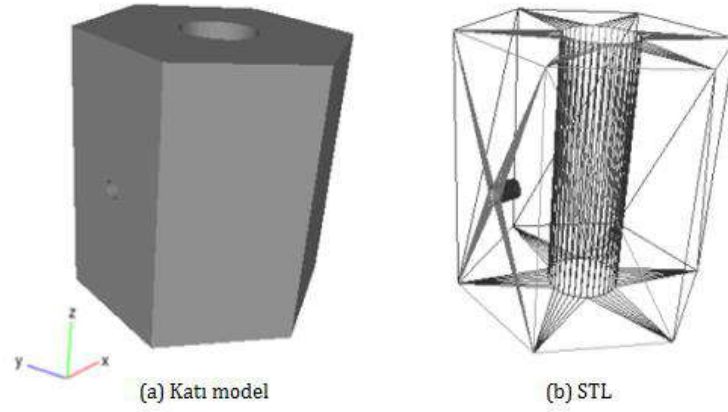
2. Stl Dosya Formatı (Biçimi)

STL dosya formatı modelin dış yüzeyini temsil eden sıralanmamış bir üçgen yüzey listesinden ibarettir. ASCII ve ikili (binary) olmak üzere iki tür STL dosya formatı vardır [14]. ASCII STL dosyası ikili formattan yaklaşık olarak iki kat daha çok yer kaplamasına rağmen kişi tarafından okunabilir, görüntülenebilir ve düzenlenebilir özelliktedir [15]. Dosya büyüklüğü ve zaman tasarrufu açısından en çok kullanılan türü ikili STL formatıdır [10]. Bir STL dosyası, üç köşe noktasını belirten x, y, z koordinatları ve yüzeye dik bir normal vektörle tanımlanan üçgen yüzey (Şekil 2) listesinden oluşmaktadır.



Şekil 2. Tipik bir üçgen yüzey elemanı [11]

STL dosya formatıyla çalışmanın; üç boyutlu BDT verilerinin basit bir şekilde temsil edilmesi, çoğu Eİ ve BDT sisteminde kullanılabilmesi ve geometrik şekillerin veri transferi için basit dosyalar sağlaması gibi birçok belirgin avantajları vardır [16]. Şekil 3'de örnek bir katı model ve STL dosya üçgen yüzey görünümü verilmiştir.



Şekil 3. Tipik bir katı model ve STL formatındaki görüntüsü

2.1. ASCII STL Formatı

ASCII formatı başlıca yeni CAD ara yüzlerini test etmek için tasarlanmıştır. Dosya büyüklüğü sebebiyle genel kullanım için çok kullanışlı değildir. ASCII formatındaki STL dosyanın bir üçgen yüzey eleman için sözdizimi aşağıdaki gibidir [14]:

solid*isim*

facet normal *ni nj nk*

outer loop

vertex*v1_x v1_y v1_z*

vertex*v2_x v2_y v2_z*

vertex*v3_x v3_y v3_z*

endloop

endfacet

endsolid*isim*

ASCII dosya “solid” satırı ile başlar ve “endsolid” satırı ile sona erer. Her bir üçgen yüzey eleman “facet normal-endfacet” satırları arasında ifade edilir. Bir üçgen yüzey eleman ilk olarak yüzey normal vektörü ve devamında köşe koordinatları ile ifade edilir. Sözdizimindeki *n* ve *v* değişkenlerinin değerleri tek duyarlıklı float sayısal veri türündendir.

2.2. İkili (binary) STL formatı

ASCII STL dosyalarının boyutunun çok büyük olması sebebi ile ikili STL formatı bulunmaktadır. İkili (binary) formatındaki STL dosyanın bir üçgen yüzey eleman için sözdizimi aşağıdaki gibidir [14,17]:

Byte	Veri Tipi	Açıklaması
80	ASCII	Başlık
4	unsigned long int	Dosyadaki yüzey sayısı
4	float	i yüzey normali
4	float	j yüzey normali
4	float	k yüzey normali
4	float	x 1.kenar için
4	float	y 1.kenar için
4	float	z 1.kenar için
4	float	x 2.kenar için
4	float	y 2.kenar için

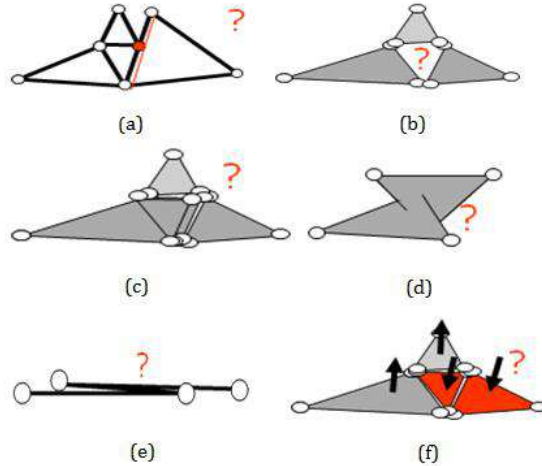
4	float	z 2.kenar için
4	float	x 3.kenar için
4	float	y 3.kenar için
4	float	z 3.kenar için
2	unsigned integer	genel olarak sıfırdır.

STL dosyanın 80 byte boyutundaki başlık bölümünden hemen sonra gelen 4 byte boyutundaki kısmında tutulan değer ise katı modelin yüzeylerinin tanımlanmasında toplam kaç üçgen eleman kullanıldığı bilgisini içermektedir. Bu değer koordinat bilgisi okuma döngüsünde kullanıldığı için önemlidir. Veri yapısının geri kalan kısmında, birbirini takip eden 4 byte'lık veri kümeleri vardır. Ardışık 12 adet 4 byte'lık veri bir üçgen yüzey elemanının tanımlanması için gerekli olan koordinat bilgilerini içerir. Bu 4 byte büyüklüğündeki verilerden ilk 3 tanesi üçgen yüzey elemanın yüzey normali vektörü $n=[i,j,k]$ 'yı ifade eder. Geriye kalan 9 adet 4 byte büyüklüğündeki verinin her biri ise üçgen yüzey elemanının her bir köşe elemanının sırasıyla x,y ve z koordinat değerlerini içerir.

3. STL Dosya Hataları ve Onarım Yöntemleri

STL dosya oluşumu, üçgenleme olarak da bilinmektedir. STL dosya oluşurken, üçgen yüzeyler iki kurala uymak zorundadır. Bu kurallar, üçgen yüzey yönü ve köşe paylaşımıdır. Model yüzeyini tanımlayan üçgenlerin yönü tutarlı iki yolla belirlenir. Birinci yol; yüzey normali dışa doğrudur, ikinci yol ise dışarıdan bakıldığında köşeler saat yönünün tersi yönünde sıralanmalıdır. Köşe paylaşım kuralına göre de bir üçgenin köşesi diğer komşu üçgenin kenarı üzerinde olmamalıdır[18].

BDT yazılımı ile modelin STL dosya oluşumunda veya daha sonra üçgen yüzeyler arasında delikler(boşluklar), kötü kenarlar (T-birleşme), özdeş üçgenler, üst üste binme, kesişme, kıvrımlanmalar-kırıksıklıklar ve ters çevrilmiş normaller gibi bazı hatalar oluşabilmektedir (Şekil 4) [2,19-22].



Şekil 4. STL dosya hataları a) kötü kenarlar (T-birleşme), b) eksik üçgenler (delik/oyuk), c) üst üste binme, d) kesişme, e) kıvrımlanmalar ve f) ters yüzey normalleri [19]

STL dosya belirtilen hataların olup olmadığını tespit etmek için taranır. Eğer hata veya hatalara rastlanırsa onarım işlemine geçilir. Literatürde STL dosyalarındaki hataları onarmak için bazı farklılıklarla beraber bir birine benzer yöntemler kullanılmıştır.

Anglada vd. (1999), çalışmasında yönlü uyarlamalı yüzey üçgenleme algoritması önermişlerdir. Algoritma ön tanımlı tolerans ile başlangıç yüzeylerini yaklaştıran üçgenleme gerçekleştirmektedir. Bu yaklaşıma işleminin bir kenarlarda çatlak olmadan (kapalı polihedron kapalı bir başlangıç yüzey olması durumunda elde edilmektedir) uygun olduğu bildirilmiştir. Algoritmada lokal yüzey eğrilerinin yönlü davranışlarının hesaba katılarak daha hassas sınırlara dayandığı ve sonuçta az sayıda üçgen ile üçgenleme yapıldığı ifade edilmiştir. Kesilen yamalar ve kıvrımlı yüzeylerde daha iyi üçgenleme elde edildiği gösterilmiştir [23]. Wang vd. (2007), STL üçgenlemeden yeniden örgü için güçlü ve etkili olarak belirttikleri bir prosedür geliştirmişlerdir [24]. Szilvasi ve Matyas (2003), yüzey temsiliindeki kusurları tarayan ve STL dosyadan polihedral veri yapısı inşası ile yaklaşık yüzey analizi yapan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [25]. Başka bir çalışmada genel yüzey etki alanlarının üçgen yüzey örgüsünün inşası, işlenmesi ve görüntülenmesi için basit, tekbiçimli ve etkili temel işlemleri az-çok yerine getiren bir yöntem geliştirilmiştir. Üç kenar iş

çerçevesi olarak adlandırılan yöntemde, dosyanın az yer kaplaması için, bir kenarın komşuluk bilgilerinden ziyade üçgenin üç bağlantı yüzeyi bilgileri üç kenar koordinatları olarak depolanmıştır [26].

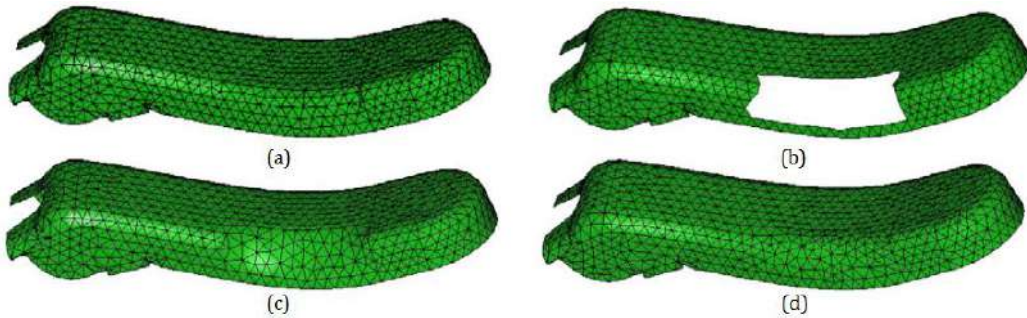
BDT dosyalarında, radyal taban fonksiyonları ile yeniden üçgenlerle örme ve örgü tamiri için özel yaklaşım sunan bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada önerilen algoritmanın boşluklar, terslenen normaller, üst üste binmeler ve T-birleşme gibi ciddi topolojik ve geometrik hataların tamirinde mükemmel sonuç verdiği örneklerle sunulmuştur [22]. Lai ve Lai (2006), bir üçgen model içinde var olabilecek hatalı yüzeyleri algılama ve ortadan kaldırmak için yaklaşım önermişlerdir [21]. Bir algoritma ile bozulmaların, problemlili köşelerin, iç-kesişmelerin, tamamlanmamış bağlantıların ve tutarsız düzlem normallerinin algılanabildiği ve tüm bu hataların otomatik olarak ortadan kaldırılabilirdiği birkaç örnek ile gösterilmiştir. Bi vd. (2013), çalışmalarında ada şeklindeki boşlukları otomatik olarak onaran otomatik bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmanın doğru ve kararlı çalıştığı deneysel olarak gösterilmiştir[27].

Çalışmalarda daha çok STL dosyadaki boşlukların yamanması üzerine odaklanılmıştır. Onarım algoritmaları genelde, yüzey odaklı veya hacimsel olarak sınıflandırılmaktadır[13,28]. Yüzey odaklı algoritmalar, giriş verisi üzerinde işletilir ve doğrudan üçgen yüzeylerdeki hataları belirleyerek çözmeyi amaçlar. Boşluklar, o bölgedeki üçgenleştirme ile yamanır. Kesişimler, üçgen veya kenarların bölünmesi ile yeniden çözümlenerek ve yerleştirilerek ortadan kaldırılır. Yüzey odaklı algoritmalar, giriş modelini en düşük seviyede bozar ve kusurlu bölgenin dışında kalan alanlardaki yapıyı koruyabilir. Sadece kusurlu bölge ele alındığı için daha az sayıda üçgen ile işlem yapılır. Kalite gereksinimlerini garanti edemediği ve otomatik olarak kontrol edilemediği için bu algoritmalar nadiren tam otomatiktir, kullanıcı etkileşimine ve el ile sonraki işlemlere ihtiyaç duyar. Nümeriksel sapmalar nedeniyle büyük ölçekli üst üste binmeler ve kesişimler gibi bazı hatalarda sağlam bir şekilde çözümlenemeyebilir[13].

Hacimsel algoritmalar giriş modelini, çıkış modelinden çıkartılan ara hacimsel gösterime çevirir. Burada hacimsel gösterim boşluğun, içeride yada dışarıda olarak sınıflandırılan her bir hücreye bir tür bölümlendirilmesidir. Model hata onarımında kullanılan hacimsel gösterimin örnekleri; düzenli kartezyen ızgaralar, adaptif octree, kd-ağaçlar, BSP-ağaçlar ve Delaunay üçgenleme'dir. Doğası gereği hacimsel gösterim kesişimler, boşluklar, üst üste binmeler yada tutarsız normal yönlendirmeler gibi hatalara izin vermez. Hacimsel gösterimde çıkış modelindeki üçgen sayısı giriş modelinden daha fazla olduğu için sonraki işlemlerle azaltılması gerekebilir. Oldukça yoğun bellek kullanımı vardır ve yüksek çözünürlükte çalıştırmak zordur[13].

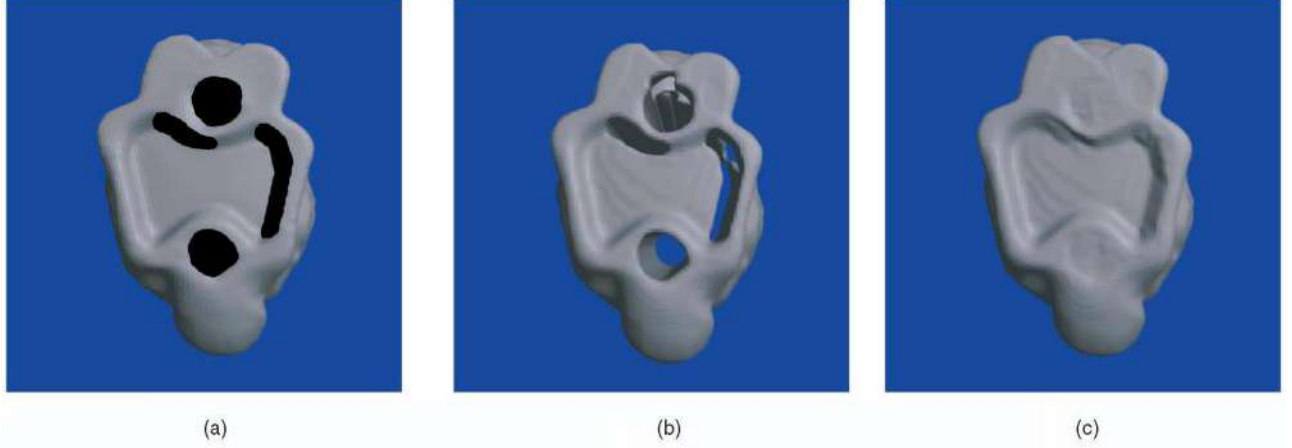
Liepa (2003), üçgenleştirilmiş örgüdeki boşlukların doldurulması üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, yapısal olmayan üçgenleştirilmiş örgüdeki boşlukların doldurulması için bir metod tanımlanmıştır. Sınırı belirlenmiş üçgen yüzey örgüsünün yamanması sonucunda çevreleyen üçgen yüzey örgüsünün yoğunluğu ve şeklinde interpolasyon yapılmıştır. Önerilen metod, sınır belirleme içeren bir boşluk doldurma işlemi, boşluğun üçgenlenmesi, hassaslaştırma ve kaplama adımlarını içermektedir. Fakat metod, iç kesişimleri, ada içeren boşlukları tespit edemez veya önleyemez [29]. Liepa (2003)'nin çalışması, yüzey odaklı algoritmaların temeli olarak görülmektedir [13].

Hu vd.(2012), çalışmalarında yama bölgesinde yama işleminden sonra oluşan üçgenler, tekrar farklı bir üçgenleştirme ile iyileştirme yapılarak elde edilmiş ve bi-leteral filtre uygulanmıştır. Çalışmada Liepa (2003)'nin onarım metodu esas alınmıştır [30]. Çalışmada geliştirilen metod karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir (Şekil 5). Şekil 5a' da test edilen model ve Şekil 5b' de ise modelde oluşturulan boşluk gösterilmiştir. Liepa (2003)' nin metodu ile yama işlemi sonucunda (Şekil 5c) geometrik şekil doğruluğu tam olarak sağlanamamakta fakat Hu vd. (2012)' nin metodu ile yama işlemi sonucunda (Şekil 5d) geometrik şekil doğruluğu hemen hemen sağlanmaktadır.



Şekil5. Yama yapma işlemi sonucu a) test edilen model, b) boşluk oluşturulmuş hali, c) Liepa (2003)'nin metodu ile yama işlemi, d) Hu vd. (2012)'nin metodu ile yama işlemi [30]

Hacimsel algoritmaların başlangıcı olarak Nooruddin ve Turk'un 2003'de yapmış oldukları çalışma gösterilmektedir [13]. Bu çalışmada [31] hacimsel alanda morfolojik işlemler ile topolojik yüzey basitleştirme tekniği gösterilmiştir. Tekniğin avantajı kontrollü topoloji değişikliği, dahada basitleştirmeye imkan tanınması, girdi olarak rasgele çokgenler kümesini kabul etmesi, çıktı olarak manifold üçgen yüzey örgüsü üretmesi ve renk gibi yüzey özelliklerini korumasıdır. Giriş çokgen modellerinin hacimlere dönüştürülmesinin yararı çok sayıda dejenere olmuş çokgenlerin onarılabilmesidir. Bu onarım yöntemi programlama için basittir ve her yeri manifold olan temiz modeller sunar (Şekil 6).



Şekil6. (a) Tavşan modeli (alt görünüm) 69,451 yüzey (b) bir tarama yönünde eşlik hesabı kullanım sonucu (alt görünüm) 134,920 yüzey (c) on üç tarama yönünde eşlik hesabı kullanım sonucu (alt görünüm) 101,536 yüzey [31]

4. Tartışma ve Sonuç

Şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı yöntemlerle STL dosya (üçgen örgüsü) hataları büyük ölçüde onarılabilir. Her bir yöntemin bir birlerine karşı üstün ve zayıf yönleri bulunmakla beraber birbirine yakın sonuçlar çıkarmaktadırlar. Yüzey odaklı onarım yöntemleri onarım işlemini, kusurlu bölgenin dışında kalan geometrik yapıyı bozmadan göreceli olarak daha kısa sürede ve daha az bellek kullanarak gerçekleştirmektedir. Fakat sağlam değildir ve kullanıcı etkileşimini gerektirmektedir, çok düzgün bir çıktı garanti edilememektedir. Hacimsel yöntemler ara hacimsel gösterimle daha sağlam üçgen örgüsü gerçekleştirmektedirler. Geometrik yapıyı bozabilmekte ve daha fazla zamanda işlemi gerçekleştirmektedir.

Attene vd., (2013)'e göre yüzey odaklı onarım metotları, giriş modelinde az hata var ise ve çok sağlam bir yapıya ihtiyaç yoksa uygundur. Eğer sağlam yapı önemli bir gereklilikse hacimsel metotlar seçilebilir [32].

Referanslar

1. The University of Texas at Austin (UT), Erişim Tarihi: 29.10.2014.
2. http://www.me.utexas.edu/news/2012/0712_sls_history.php#x3dp2, 1883.
3. Yarkinoğlu, O., Computer Aided Manufacturing (CAM) Data Generation For Solid Freeform Fabrication. Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Master Thesis, 110p, Ankara, 2007.
4. Kochan, D., Kai, C.C., Zhaohui, D., Rapid Prototyping Issues In The 21st Century. Computers in Industry, vol. 39, pp. 3-10, 1999.
5. Sofu, M.M., Hızlı Direkt İmalatta Kullanılan Seçici Lazer Sinterleme Ve Ergitme Cihazının Gövde Tasarımı Ve İmalatı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Isparta, 2006.
6. CustomPartNet, Inc., Erişim Tarihi: 20.03.2014, <http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>
7. Society of Manufacturing Engineers (SME), 1970. Erişim tarihi: 20.03.2014.
8. <http://www.sme.org/Tertiary.aspx?id=17485#sthash.gkpsIRmg.dpuf>
9. Stratasys Ltd., 1989. Erişim Tarihi: 19.10.2014. <http://www.stratasys.com>
10. Giannatsis, J., Dedoussis, V., Additive Fabrication Technologies Applied To Medicine And Health Care: A Review, Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 40, pp. 116-127, 2009.
11. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., Duysak, A., Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 31, syf. 53-69, 2013.
12. 3DSYSTEMS, 1986. Erişim Tarihi: 09.09.2014. <http://www.3dsystems.com>

13. Kai, C.C., Jacob, G.G.K., Mei, T., Interface Between CAD and Rapid Prototyping Systems Part 1: A Study of Existing Interfaces. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.13, pp. 566-570, 1997.
14. Wikinettfab, Erişim Tarihi: 18.09.2014. http://wiki.netfab.com/STL_Files_and_Triangle_Meshes, 2014
15. Botsch, M., Pauly, M., Kobbelt, L., Alliez, P., Lévy, B., Bischoff, S., Rössl, C., Geometric Modeling Based on Polygonal Meshes, SIGGRAPH 2007 course, 2007.
16. Fabbers, Erişim Tarihi: 17.02.2016. http://www.fabbers.com/tech/STL_Format
17. Zhang, L.-C., Han, M., Huang, S.-H., CS File – An Improved Interface Between CAD and Rapid Prototyping Systems. Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol.21, pp.15-19, 2003.
18. Özüğür, B., Hızlı Prototipleme Teknikleri İle Kompleks Yapıdaki Parçaların Üretilirliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 117s, Ankara, 2006.
19. EnWikipedia, Erişim Tarihi: 20.02.2016. [https://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))
20. Chen, Y.H., Ng, C.T., Wang, Y.Z., Generation of an STL File from 3D Measurement Data with User-Controlled Data Reduction. Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 15, 127-131, 1999.
21. EOS GmbH, 1989. Erişim:10.09.2014. <http://www.eos.info>
22. Ito, Y., Nakahashi, K., Surface Triangulation For Polygonal Models Based On CAD Data. International Journal For Numerical Methods In Fluids. Int. J. Numer. Meth. Fluids, vol.39, pp.75-96, 2002.
23. Lai, J.Y., Lai, H.C., Repairing Triangular Meshes For Reverse Engineering Applications. Advances in Engineering Software, vol.37, pp.667-683, 2006.
24. Marchandise, E., Piret, C., Remacle, J.-F., CAD And Mesh Repair With Radial Basis Functions. Journal of Computational Physics, vol.231, pp.2376-2387, 2012.
25. Anglada, M.V., Garcia, N.P., Crosa, P.B., Directional adaptive surface triangulation. Computer Aided Geometric Design, vol.16, pp.107-126, 1999.
26. Wang, D., Hassan, O., Morgan, K., Weatherill, N., Enhanced Remeshing From STL Files With Applications To Surface Grid Generation, Commun. Numer. Meth. Engng., vol.23, pp.227-239, 2007.
27. Szilvasi, M., Matyasi, Gy., Analysis of STL Files. Mathematical and Computer Modelling, vol.38, pp.945-960, 2003.
28. Loop, C., Managing Adjacency in Triangular Meshes. Technical Report MSR-TR-2000-24, Microsoft Corporation, Redmond, 22p, 2000.
29. Bi, F.L., Hu, Y., Chen, X.Y., Ma, Y., Island Hole Automatic Filling Algorithm in Triangular Meshes, Applied Mechanics and Materials, vol. 347-350, pp. 3486-3489, 2013.
30. Ju, T., Fixing Geometric Errors on Polygonal Models: A Survey. Journal Of Computer Science And Technology, vol. 24(1), pp. 19-29, 2009.
31. Liepa, P., Filling Holes In Meshes. Proceedings of the 2003 Eurographics/ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing. Switzerland Eurographics Association, pp.200-205, 2003.
32. Hu, P., Wang, C., Li, B., Liu, M., Filling Holes In Triangular Meshes In Engineering. Journal Of Software, vol.7, iss.1, pp.141-148, 2012.
33. Nooruddin, F.S., Turk, G., Simplification and Repair of Polygonal Models Using Volumetric Techniques, IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics, vol.9, no.2, 2003.
34. Larsson, A., Automatic mesh repair, Informationskodning Department of Electrical Engineering, Master Thesis, 108p, Linköping, 2013.

DIKEY EKSTRÜZYON (FİLAMENT) SİSTEMİ TASARIM VE PROTOTİP İMALATI

Mustafa AYDIN^a, Burak GÜLER^b ve Kerim ÇETİNKAYA^c

^aK.Ü. Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, m.aydin@karabuk.edu.tr

^bK.Ü. Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, burakguler@hotmail.com

^cK.Ü. Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, ksetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmanın amacı günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan masa üstü üç boyutlu yazıcılar için granül plastik hammaddeden filament üretebilen dikey tip bir ekstruder tasarımı ve prototip üretimidir. Ekstruder sisteminde granül hammadde gövde içerisine vidalı mil ile iletilmektedir. Granül hammadde sistemin ucundaki rezistans ısıtıcı 1.75 mm nozül çıkışıyla eriyerek filament şeklini almaktadır. Filament çıkış anında fan yardımı ile soğutulur. Sistem dikey bir gövdeye sahip olduğundan eriyen granül malzemenin herhangi bir zorlama kuvvetine gerek olmadan doğal bir şekilde yerçekimi kuvveti ile akması sağlanmıştır. Filament sarma makarası arduino kontrol kartı, adım motoru ve filament uzunluğunu algılayan bir sensör yardımıyla kontrol edilmiştir. Tasarlanan ekstruder ile üretilen PLA filament ve piyasadan temin edilen ticari filamentler kullanılarak çekme testi deneyi numuneleri basılmış ve çekme testi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistemin saatte tükettiği toplam elektrik enerjisi, hammadde işleme kapasitesi ve malzeme başına tükettiği enerji ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Granül, PLA filament, Ekstruder.

VERTICAL EKSTRUSION (FILAMENT) SYSTEM DESIGN AND PROTOTYPING

Abstract:

The aim of this study is to design a desktop and small scale extruder which works on vertical axis and produces filaments using thermoplastic granules. Thermoplastic materials were moved into nozzle by screwed shaft in designed extruder. After granules were melted at the outlet of the nozzle by heating band, 1.75mm diameter filaments were produced and cooled by fan. Flowing of the melted plastic materials was achieved without any external force due to the natural gravity when the extruder placed on vertical axis. Arduino control card, stepped motor and sensors that measures the length of the filaments were used to control and trigger the reel holder of the filaments. Produced PLA filaments by this extruder and commercial PLA filaments were used to print tensile test specimens and tensile experiments were performed with these specimens. Consumed electrical power per hour, produced amount of the filaments and consumed energy per raw material were measured.

Keywords: Granules, PLA filament, Extruder.

1. Giriş

Endüstriyel alanda oldukça yaygın olarak kullanılan üç boyutlu yazıcılar gelişen teknolojiyle birlikte fiyat ve boyut olarak küçülerek ev tipi ve bireysel kullanıma açılmış ve bu alana gösterilen ilgi giderek artmıştır. Günümüzde hemen herkesin kolaylıkla alabildiği ve ya yapabildiği üç boyutlu yazıcılar ile hayal edilen ya da ihtiyaç duyulan bir malzemenin kısa bir sürede üretilmesi mümkün olmaktadır. Üç boyutlu yazıcılarda üretim yaparken hammadde olarak Polilaktik asit (PLA), AkrilonitrilButadienStiren (ABS), Nylon ve Reçine gibi birçok malzeme kullanılabilen ancak bu malzemelerden çoğunlukla PLA ve ABS filament tercih edilmektedir. Bu malzemelerin geri dönüşüm kabiliyetlerinin yüksek olması ve kolayca temin edilebilmesi bu ürünlerin popülerliğinin artmasına neden olmuştur.

Üç boyutlu yazıcı filament malzemesi plastik ekstrüzyon makineleri ile üretilmektedir. Ekstrüzyon sistemleri bir huni içerisine konulan plastik granül parçacıklarından vidalı mil yardımı ile huni ucundaki ısıtıcı nozül tarafına taşınması burada ısı işleminden geçerek eritilmesi mantığı ile çalışmaktadırlar. Burada eritilerek akışkanlık özelliği kazandırılan hammadde istenilen çapta (genellikle 1.7mm ya da 3mm) çıkartılarak üç boyutlu yazıcıda kullanıma hazır bir film şerit haline getirilmektedir.

PLA filamentlerinin üretiminde filament çapının stabil olması, kırılmaya karşı dayanıklı olması ve mekanik özelliklerinin bozulmaması istenir. Yapılan çalışmalarda ekstruder tasarımının iyileştirilmesi ve PLA malzemesine ilave edilen katkı maddeleri ile filament kalitesi artırılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda genel olarak üretilen filamentin çapının stabil olması ve filament malzeme ile üretilen deney numunelerinin mekanik özellikleri araştırılmaktadır.

Karakuş vd.2010 yılında plastik ekstrüzyon yöntemi ile farklı dolgu maddeleri kullanılarak üretilen polimer kompozitlerin bazı mekanik özellikleri üzerine etkisi incelemiştir. Çalışmalarında, yarfıstığı ve ceviz kabuklarının atık polipropilen yoğurt kapları içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılması ile polimer kompozit üretiminde değerlendirilebileceğini belirlemiştir. Plastik içerisine katılan dolgu maddelerinin genel olarak elastikiyet modüllerini artırdığını ancak çekme, eğilme ve darbe direnci değerlerini azalttığını ifade etmişlerdir [1].

Tuna ve Özkoç yaptıkları çalışmada, geri kazanım esnasında PLA'nın özelliklerinin iyileştirilmesi için zincir uzatıcılarını kullanmışlardır. Reaktif ekstrüzyon tekniği ile izosiyanat, anhidrit ve epoksi esaslı zincir uzatıcılar PLA ile reaksiyona sokularak geri kazanılan PLA'nın özelliklerinin iyileştirilmesi için bir model çalışma yürütmüşlerdir. Zincir uzatıcı türü, yükleme oranı ve süreç değişkenlerinin elde edilen ürünlerin mekanik, termal ve reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir [2].

2010 yılında yapılmış diğer çalışmada ise Gören vd. ekstrüzyon ile plastik boru üretimi amacıyla spiral kanallı ekstrüzyon kalıbı sistematik tasarımı yapmışlardır. Spiral kanallı kalıbın geometrik parametrelerini, basınç kaybının düşük olması ve kalıp çıkışında üniform hız dağılımının sağlanabilmesi amacıyla elektrik şebekesi yöntemini kullanılarak optimize etmişlerdir [3].

Koyun ve Akdoğan plastik ekstrüzyon sistemlerinde kullanılan vidalı millerde mekanik aşınma ve yorulma hatalarının nedenleri ve çözüm önerileri üzerine yaptıkları çalışmalarında; uygun mil tasarımı ve montaj işlemleri sırasında uygun yağlayıcılar ile yağlama tekniklerinin seçilmesiyle ekstruder millerinin yorulma hata davranışları azaltılarak kullanım ömürlerinin arttırılabileceğini belirlemiştir [4].

Ulutan vd. tarafından yapılan çalışmada ekstrüzyon yöntemi ile yüksek yoğunluklu polietilenden geri dönüşüm sonrası üretilen boruların mekanik ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Daha önce kullanılmayan polietilen malzeme tekrar tekrar ekstrüzyon işlemine tabi tutularak uygulanan ısı ve mekanik işlemlerin ve süreç koşullarının polietilende neden olduğu yapısal değişimler araştırılmıştır. Yeniden işleme sırasındaki ısı ve mekanik etkilerin polietilenin yapısında oksitlenmeye bağlı bozunmalara yol açtığını, kristal oranını artırdığını, tekrarlanan ekstrüzyon işlemleri sonunda verimin orijinal malzeme kullanımına göre daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir[5].

Oktay yaptığı yüksek lisans çalışmasında tek filament süren ekstruder ile yapılan üretimde, ekstruder tek filament sürebildiği için hem ana yapının hem de destek yapının aynı filament malzemesi ile üretilmesi zorunluğna dikkat çekmişlerdir. Ana yapının ve destek yapının aynı malzemeden yapılmasının, parçanın temizlenmesi esnasında ayrılacak destek kısmının anlaşılmasını zorlaştırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca iki yapının da dayanımının aynı olmasından dolayı destek yapının temizlenmesi esnasında ana yapının da zarar görebileceğinden bahsetmişlerdir. Bu problemleri ortadan kaldırabilmek için çift filament süren bir ekstruder tasarımı gerçekleştirmişlerdir [6].

Sayer ve Özkan tarafından yapılan çalışmada seramik ve polimer malzeme üretimi için ekstrüzyon yöntemi kullanılmış ve bu iki malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen seramik-polimer kompozit malzemenin avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Elektriksel yalıtıcılık ve yüksek korozyon dayanımları bu iki malzeme grubunun önemli avantajları ve ortak özellikleri olduğunu ancak mekanik özellikler bakımından bu iki malzeme grubunun çok büyük farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. Seramiklerin sertliği ancak kırılganlığı, polimerlerin ise esnekliği ancak düşük sertlikleri bu iki malzeme grubunun başlıca avantajları ve dezavantajları olduğunu ifade etmişlerdir [7].

Yang et al. yaptıkları çalışmada odun talaşı içeriğinin PLA malzemenin termal ve mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla bir mikroextruder tasarımı yapmışlardır [8].

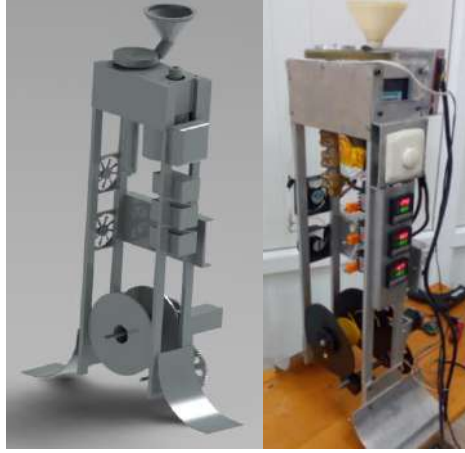
Namiki et al. yaptıkları çalışmada PLA filamentinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için takviye materyali olarak karbon fiber termoplastik malzeme kullanmışlardır. Isıtıcı nozülucuna kadar ayrı olarak beslemesi yapılan iki malzeme ısıtıcıda birleştirilerek filament üretimini gerçekleştirmişlerdir. PLA üretiminde takviye materyali olarak karbon fiber termoplastik malzeme kullanımının gerilme sertliği ve direncini artırdığını ifade etmişlerdir [9].

Jonoobi et al. çift vidalı ekstrüzyon sisteminde selüloz nanofiber takviyeli PLA malzemenin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarında nanofiber takviyesinin PLA malzemenin gerilme direncini ve elastikiyetini iyileştirdiğini belirtmişlerdir [10].

Bu çalışmada granül hammaddeden 3B yazıcılarda üretim malzemesi olarak kullanılan filament üretebilen masaüstü bir dikey ekstrüzyon sistemi tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Extrüzyon sistemi ile granül hammaddeleri bulunan değişik türdeki filamentler üretilmektedir.

2. Tasarım ve Prototip

Çalışmada dikey tip bir filament üretim sistemi tasarımı yapılmış ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’ de filament üretim sistemi model tasarımı ve prototipi görülmektedir.



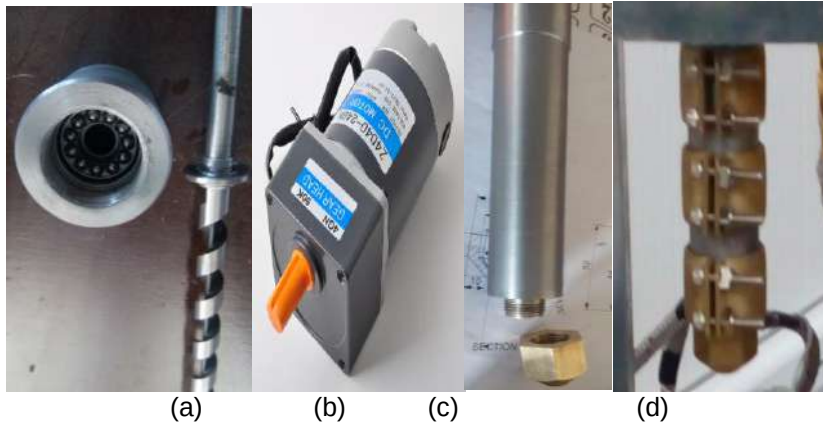
Şekil 1. Dikey filament üretim sistemi tasarım ve prototipi

Ekstruder filament üretim sistemi şasesi alüminyum malzemeden yapılmıştır. Sistem ölçüleri Şekil 2’ de verilmiştir.



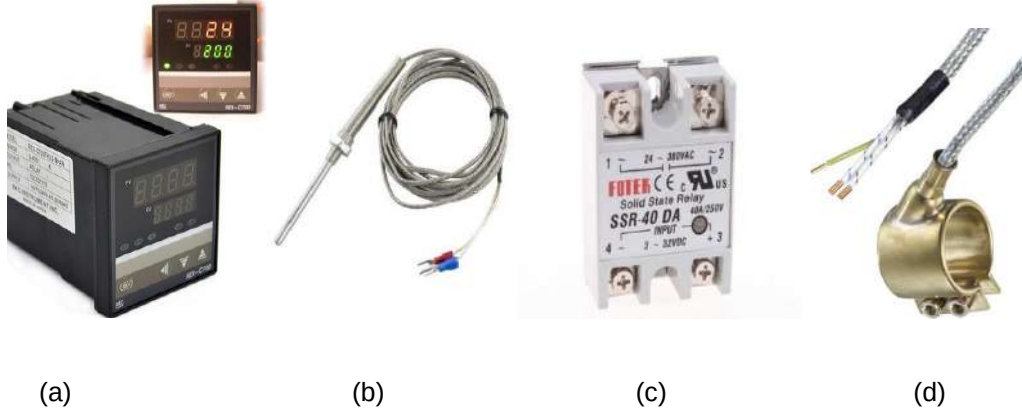
Şekil 2. Extruder filament üretim sistemi ölçüleri

Filament üretim sisteminde; plastik malzemenin ısıtılarak transferini sağlayan bölüm olan ekstrüzyongövdesi, vidalı mil, elektrik motoru ve rezistanslar Şekil 3’te görülmektedir. Ekstrüzyon vidası olarak 12mm çapında bir vida kullanılmıştır. Ekstrüzyon vidasına tahrik veren eleman ise direkt olarak 220V ile çalışan 26 d/d devire sahip bir redüktörlü motordur. Isıtıcı boru etrafına yerleştirilen rezistanslar boru içinde hareket eden granül malzemenin eriyik haline getirilmesi işlemini gerçekleştirmektedir.



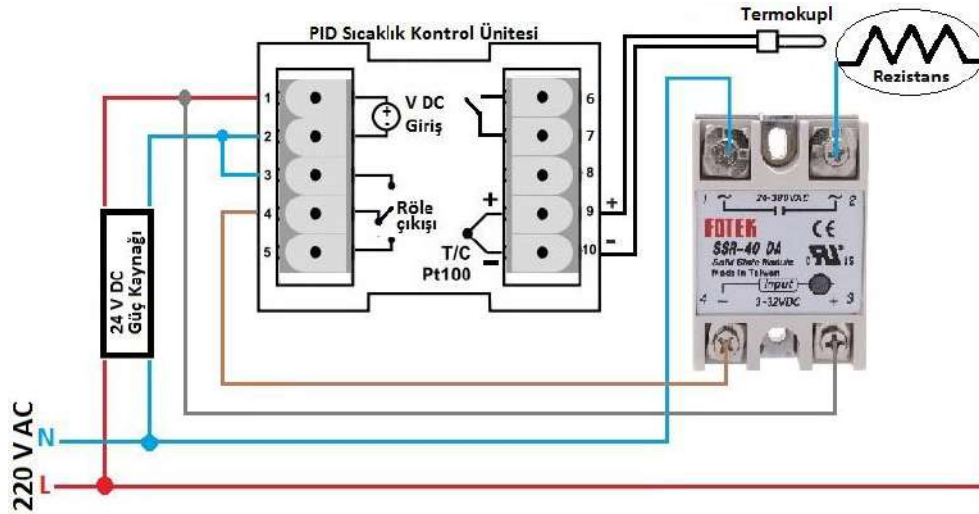
Şekil 3. Ekstrüzyon sistemi elemanları a)Vidalı mil b)Redüktörlü motor b) Extrüzyon gövdesi c)Rezistanslar

Ekstrüzyon gövdesi ve ekstrüzyon vidası ısıtma işlemi için 3 adet meme rezistans kullanılmıştır. Bu rezistansları kontrol etmek amacıyla PID sıcaklık kontrol ünitesi ve 220V SSR röle kullanılmıştır. Şekil 4' te sistemde kullanılan PID sıcaklık kontrol ünitesi, termokupl, sıcaklık kontrol rölesi ve ısıtıcı rezistans, görülmektedir.



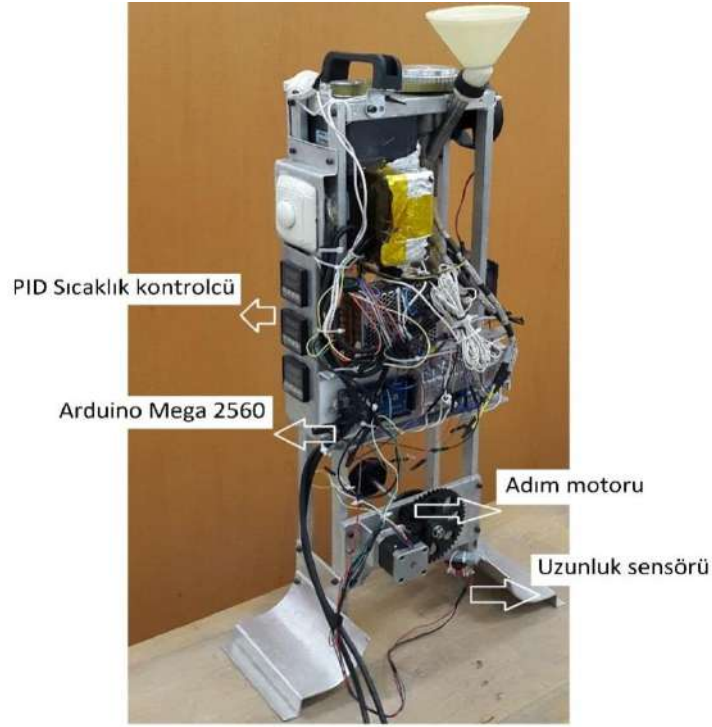
Şekil 4. (a) PID sıcaklık kontrol ünitesi (b) Termokupl (c) Sıcaklık kontrol rölesi (d) Rezistans

Sistemde PID sıcaklık kontrol ünitesi, sıcaklık kontrol röleleri ve ısıtıcı rezistansları arasındaki bağlantı şeması Şekil 5' te verilmiştir. Sistem bağlantı şeması ile doğrudan 220V ile beslenmiştir.



Şekil 5. Filament üretim sistemi sıcaklık kontrolcü, sıcaklık kontrol rölesi ve rezistans bağlantı şeması

Extruder sisteminde filament makarası ve filament sarma sistemi yer aldığı alt bölümde ise şerit haline dönüştürülen PLA filament malzeme makaraya sarılmaktadır. Sistemde üç boyutlu yazıcıda üretilmiş dişli çarklar ile bir adet adım motoru filament makarasını döndürmek için kullanılmıştır. Isıtıcı nozül ucundan çıkan filament uzunluğu sensör yardımıyla algılanmakta, yeterli uzunluğa ulaştığı esnada Arduino Mega 2560 kartı tarafından kontrol edilen bir adım motoru vasıtası ile makaraya sarılmaktadır. Arduino kart filamentin doğal akışını zorlamayacak şekilde adım motorunu kontrol etmekte, belirlenen uzunlukta sarma işlemi tamamlandığında adım motorunu durdurmaktadır. Şekil 6' da ekstruder filament üretim sisteminde kullanılan elemanlar ve yerleşimleri görülmektedir.



Şekil 6. Extruder filament üretim sistemi adım motor dişli çarklar ve makara

Filament üretim sistemi teknik özellikleri ve sistemin maliyeti Çizelge 1'de verilmiştir. Oluşturulan sistem masaüstü ve bireysel kullanıma uygun boyutlarda olup ekonomik bir bütçe ile yapılabilmektedir.

Çizelge 1. Filament üretim sistemi teknik özellikleri ve maliyeti

Sistem Ölçüleri	838 x 508 x 156 mm
Nozul Çapı	1,7 mm
Ekstrüzyon Vidası Çapı	12 mm
Motor Özellikleri	220V - 40w – 26d/dk
Isıtıcıların Özellikleri	220V – 125w
Sistemin Maliyeti	1600 TL

3. Deneysel Çalışmalar

Filament üretimi için PLA granül malzeme kullanılmıştır. Şekil 7'de granül malzeme ve eritilmiş granülün filament şeklini alarak makaraya sarılmış hali görülmektedir. Üretim anında ve sonrasında filament özellikleri ve sistemin çalışmasını incelemek için çeşitli testler yapılmıştır.

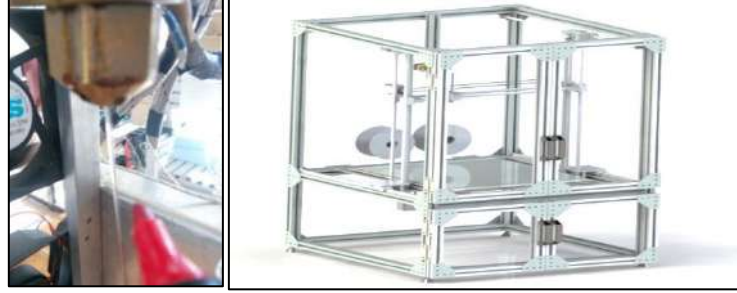


(a) (b)(c)

Şekil 7. PLA filament üretim adımları a) Granül hammadde, b) Eritilerek oluşturulan filament c) Filamentin makaraya sarılması

3.1. PLA Filament Üretimi Hız Testleri

Filament üretim sisteminde granüllerden filament üretmesi aşama aşama ölçülmüştür. Bu ölçüm sürekli devam eden filament üretimi sırasında çıkan ürün üzerine 10 saniyelik aralıklarla kırmızı işaret konularak yapılmıştır. Üretilen filament üzerine koyulan işaretler 10 dakikalık bir süre boyunca sürekli işaretlenmiştir. Bu süre sonunda filament üzerinde işaretlenen noktalar arası uzunluk kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 8’ de filament üretimi sırasında işaretleme ve ölçüm işlemleri görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 8. Filament üretim hızı ölçümü a) İşaretleme b) Ölçüm

Filament üretim sisteminde üretim aşamasında yapılan ölçümler sonunda hesaplanan üretim hızları Çizelge 2’ de verilmiştir. 10 ar saniye ve 1 er dakikalık aralıklarla 6 adet ölçüm sonucuna ait üretim hızları hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Filament üretim sistemi 10 ar saniyelik filament uzunluk ölçüleri

Sıra	Ölçümler (s)	Filament Uzunluğu(mm)	Ölçümler (dk)	Filament Uzunluğu(mm)
1	10	39,5	1	256,1
2	20	41,7	2	258,4
3	30	42,3	3	260,1
4	40	44,2	4	262,7
5	50	44,6	5	265,2
6	60	43,8	6	265,8

Filament üretim hızının değişik sürelerde ölçülmesi sonucu filament üretim sistemi genel kapasitesi belirlenmiştir. 10 saniyede üretilen ortalama filament uzunluğu 42,6 mm, 1 dakikada üretilen ortalama filament uzunluğu ise 261,3 mm olarak hesaplanmıştır. Bu veriye göre sistemin saatteki üretim kapasitesi 15,67 m olarak hesaplanmıştır.

3.2. PLA Filament Üretimi Çap Testleri

Filament üretim sistemi ile filament üretimi sırasında 10 ar saniyelik ve 1 er dakikalık zaman periyotlarında belirli bir süre boyunca filament çapı ölçülmüştür. Ölçülen çap değerleri ve çap değişimleri Çizelge 3’te görülmektedir.

Çizelge 3. Filament üretim sistemi 10 ar saniyelik filament çap ölçüleri

Sıra	Ölçümler	Filament Çapı(mm)	Ölçümler	Filament Çapı(mm)
1	10 sn	1,76	1 dk	1,71
2	10 sn	1,72	1 dk	1,48
3	10 sn	1,69	1 dk	1,73
4	10 sn	1,62	1 dk	1,75
5	10 sn	1,58	1 dk	1,84
6	10 sn	1,55	1 dk	1,9
Sıra	Ölçümler	Filament Çapı(mm)	Ölçümler	Filament Çapı(mm)

Yapılan ölçümler sonucunda test aşamasında 1'er dakikalık periyotlarda ortalama filament çapı 1,73 mm elde edilmiştir. 10'ar saniyelik periyotlarda ise ortalama 1,65 mm çap değeri elde edilmiştir.

3.2. PLA Filament Üretim Malzeme Sıcaklık Değerleri

Filament üretimi için çalışmada PLAganül malzeme kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri için standart erime sıcaklığı değerleri baz alınmıştır. Filament üretimi için gerekli olan sıcaklıkları sağlamak için sistemde üç adet rezistans kullanılmıştır. Bu rezistanslardan iki tanesigranül malzemenin erimesi için gerekli olan sıcaklığı sağlamak içiniekstrüzyongövdesini ısıtmaktadırlar. En alt kısımda yer alan rezistans iseeriye granül malzemenin filament olarak çıkmasını sağlayan nozül elemanı ısıtmakla görevlidir ve çıkış sıcaklığını ayarlamaktadır. Filament üretim sistemi PLA üretim aşamasında kullanılan sıcaklık değerleri Çizelge 4' te görülmektedir.

Çizelge 4. PLA erime sıcaklıkları karşılaştırması Çizelgesu

PLA standart erime sıcaklığı	Sistemde PLA filament üretim sıcaklığı
210 – 220 °C	190 – 200 °C

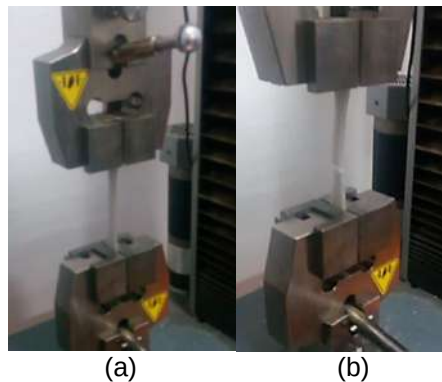
3.3. Çekme Deneyi Testleri

Çalışmada filament üretim sistemi ile üretilmiş PLA filament ve ticari PLA filament kullanılarak 3B yazıcıda çekme testi deneyi numuneleri basılmıştır. Deney numunelerine ait çekme testi deneyiile ilgili veriler bu kısımda yer almaktadır. Çalışmada extruder filament üretim sistemi ile üretilen PLA filament ve piyasadan temin edilen ticari PLA filament malzeme kullanılarak 3B yazıcıdanbaskı alınmış çekme testinumuneleri Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. 3BYazıcıdan baskı alınan üretilmişve ticari PLA malzeme çekme numuneleri

Çekme numuneleri sırası ile 1, 2, 3 nolu numuneler filament üretim sistemi tarafından üretilen PLA filament ile basılmış numunelerdir. 4, 5, 6 nolu numuneler ise hazır olarak satın alınan ticari PLA filament ile basılmış numunelerdir. Bu numuneler Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında bulunan (Zwick/Roell z050) çekme testi ünitesi ile çekme testlerine tabi tutulmuştur. Numuneler sırası ile cihaza bağlanarak çekme testi deneyi gerçekleştirilmiştir. Çekme işlemleri sonucunda PLA malzeme gevrek kopmaya uğrayarak kopmuş ve test sonuçlanmıştır. Bu işlem her bir numune için tekrarlanmış ve 6 adet çekme deneyi yapılmıştır. Şekil 10' da çekme test başlangıç ve bitiş aşaması görülmektedir.



Şekil 10. Çekme testi başlangıç ve bitiş numune görünüşleri (a) numune bağlı başlangıç pozisyonu (b)Numune kopmuş bitiş pozisyonu

Çekme testi sonucu elde edilen değerler kullanılarak ticari PLA filament ile üretilen PLA filament mekanik özellikleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Numunelere ait çekme testi deneyi sonucu elde edilen değerler Çizelge 5'te verilmiştir.

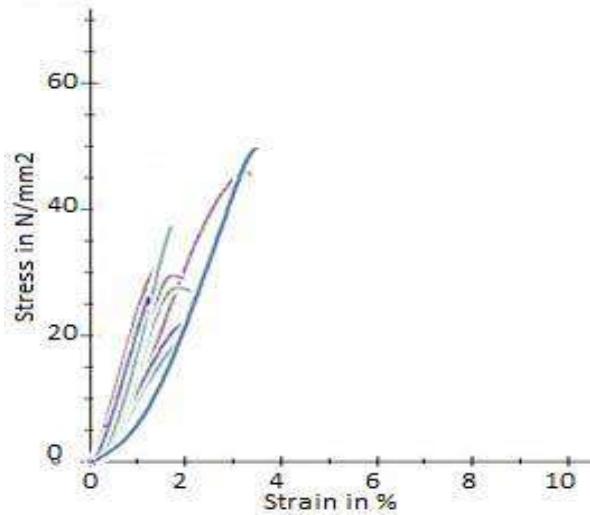
Çizelge 5. Üretilen ve hazır alınan PLA malzemelere ait çekme testi sonuçları

		a0	b0	L0	Fmax	F{lo Break}	{epsilon}Break	{epsilon}-F max
	Nr	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	%	%
Üretilen PLA	1	3,8	13,2	220,36	8,87	8,78	1,42	1,38
	2	3,8	13,2	220,04	32,64	31,2	1,35	1,34
	3	3,8	13,2	220,09	38,41	38,38	1,65	1,65
Ticari Hazır PLA	4	3,8	13,2	220,08	37,1	36,4	2,11	1,8
	5	3,8	13,2	220,05	46,8	46,77	1,91	1,9
	6	3,8	13,2	220,11	33,7	32,95	2,13	1,8

İlk üç numune üretimi yapılan test numunesidir. Bu değerler sonucunda en yüksek kuvvet değeri ticari PLA ile basılmış olan 5. Numuneden gelmiştir. Fmax 46,8 N/mm² Aynı şekilde en yüksek kopma kuvvet değeri 46,77 N/mm² olmuştur. En yüksek uzama değeri ve en yüksek kopma uzama değeri yine 5 Numaralı numune den gelmiştir.

Test sonuçlarına göre filament üretim sistemi ile üretilen PLA malzemelerin ortalama kopma dayanım kuvvetleri ile ticari PLA malzemenin kopma değerleri ortalamaları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre ticari PLA malzeme daha yüksek ortalama değer göstermiştir. Ortalama Fmax kopma değeri 39,2 N/mm² elde edilmiştir. Üretilen PLA filament ile alınan baskılar sonucunda elde edilen ortalama Fmax ise 26,12 N/mm² olarak ölçülmüştür. İlk test numunesi hatalı olması ile ortalamadan çıkarıldığında üretilen PLA filament kopma Fmax değeri 35,525 N/mm² olarak ölçülmüştür.

Uzama değerlerine bakıldığında yine ticari hazır PLA filament malzeme daha fazla uzama göstermiştir. Fmax % uzama değerleri değerlendirildiğinde, ortalama uzama değeri üretilen PLA malzeme için % 1,45 ortalama uzama değeri elde edilmiştir. Ticari hazır PLA malzeme % uzama değerleri ise % 1,83 olarak elde edilmiştir. Şekil 11'de çekme testi sonucu elde edilen grafik görülmektedir.



Şekil 11. Çekme testi grafiği

3.4. Filament Üretim Sistemi Elektrik Tüketim Testleri

Filament üretim sistemi üzerinde bulunan elektrik motoru ve üç adet ısıtıcı rezistanslar ile birlikte elektrik tüketim değeri yüksek olabilecek elemanlar içermektedir. Çalışmada filament üretimi sırasında sistemin tükettiği elektrik enerjisi değeri ölçülmüştür. Sistemin elektrik beslemesi üzerine doğrudan bağlanan bir elektrik sayacı kullanılarak sistemin tükettiği toplam elektrik enerjisi ölçülmüştür. Ölçümler kapalı kabin halinde sistemin 200 °C sıcaklıkta üç rezistansın da çalıştığı durumda PLA filament üretimi

esnasındayapılmıştır. Sistemin 1 saat boyunca çalıştırılması sonucu okunan sayaç değerleri Çizelge 6'da görülmektedir.

Çizelge 6. Filament üretim sistemi elektrik tüketim değerleri

Sadece Isıtıcılar Çalışırken	Geçen Süre (t)	Sayaç okunan değerler (kw/h)	Elektrik Tüketimi (watt/saat)
	1. Saat	30,912 – 30,972	60
Motor ve Isıtıcılar Çalışırken	Geçen Süre (t)	Sayaçta okunan değerler(kw/h)	Elektrik Tüketimi (watt/saat)
	1. Saat	31,080 - 31,270	190

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada dikey çalışan ekstrüzyon vidası ve bu vida ve sıcaklık yardımı ile nozül uçtan çıkan iplik filament ürün alınmasıyla devam etmiştir. Filament ürün üretiminde ve sonrasında testler yapılmıştır. Bu testler içerisinde çekme testi deneyi sonuçlarına göre filament üretim sistemi ile üretilen filament hazır satın alınan ticari filamente göre daha gevrek olmuştur. Daha düşük kopma kuvveti ve daha düşük uzama miktarı gevrek olduğunu gösteren değerlerdir.

Diğer yapılan testlerde ise filament üretim hızı ölçülmüştür. Filament malzemenin nozül uçtan çıkış hızı takip edilmiştir. Bu sonuçlara göre oluşan değişimler ve çap küçülmeleri Filament üretimi aşamasında sürekli manuel olarak besleme yapılmıştır ve bunun sonucunda hız değişimi olabilmektedir. Filament üretim sisteminin dikey olan yapısı ve ekstrüzyon vidasının ve nozülün dikey yapısı sonucu çıkan filament çıktığı andan itibaren aşağıya doğru uzama eğilimi göstermiştir. Bu aşağıya uzama ve çekme sonucu çap küçülmesi ya da kopma sorunu yaşanmıştır. Ayrıca sistemi besleme kısmında da oluşan farklar direkt olarak filament çapını ve miktarını etkileyebileceği görülmüştür.

5. Sonuçlar

Yapılan çalışmada dikey filament üretim sistemi tasarımı ve prototipi üretilmiş ve sonrasında sistemin çalışması gözlenmiştir. Filament üretimi sonrasında çeşitli testler ile prototipin ürün ve çalışma sistemi yorumlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ve ölçümler dikey olan yapının üretilebilir ve çalışabilir olduğunu göstermiştir. Üretilen prototip küçük boyutları, makara sarma sistemi ve dikey olan yapısı ile benzer sistemlerden ayrılmaktadır.

Referanslar

1. K. Karakuş, T. Güleç, A. Kaymakçı, T. Aksu, A. Kirit, M. E. Özder, F. Mengeloğlu, "Ekstrüzyon Yöntemi İle Farklı Dolgu Maddeleri Kullanılarak Üretilen Polimer Kompozitlerin Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi", 3. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi, 12 – 14 Mayıs 2010, Kocaeli
2. B. Tuna, G. Özkoç, "Geri Kazanılmış PLA'nın Özelliklerinin Reaktif Ekstrüzyon Yöntemi ile İyileştirilmesi: "Model Çalışma"", IV. Ulusal Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi, 5-8 Eylül 2012 Çanakkale PIR-1
3. G. Gören, M. Balaban, O. Yılmaz, K. Kırkköprü, M. Doğu, "Plastik Boru Üretimi İçin Spiral Kanallı Ekstrüzyon Kalıbının Sistematiği Tasarımı", 3. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi, 12 – 14 Mayıs 2010, Kocaeli
4. A. Koyun, A. N. Akdoğan, "Plastik Ekstrüzyon Vidalarında Aşınma ve Yorulma Davranışlarının Nedenleri Ve Çözüm Önerileri", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2006 (3) 65-71
5. S. Ulutan, G. B. İzmirli, E. Göktepe, "Yüksek Yoğunluklu Polietilenden Geri Dönüşüm Sonrası Üretilen Boruların Mekanik ve Yapısal Özellikleri", 6. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 7-10 Eylül 2004, İzmir
6. Oktay, K. 2015. "Ergitmeli yığılma yöntemiyle üretim yapan 3D yazıcılarda çift filament süren ekstruder tasarımı". *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
7. S. Sayer, E. Özkan, "Seramiklerin ve Polimerlerin Üretimindeki Benzerlikler ve Kombinasyonları", *Bilim – Teknoloji Dergisi*, Eylül-Ekim / 2007/ No.22
8. Yang, W., Fortunati, E., Dominici, F., Kenny, J. M., & Puglia, D. (2015). "Effect of processing conditions and lignin content on thermal, mechanical and degradative behavior of lignin nanoparticles/poly(lactic acid) bionanocomposites prepared by melt extrusion and solvent casting". *European Polymer Journal*, 71, 126-139.
9. Namiki, M., Ueda, M., Todoroki, A., Hirano, Y., & Matsuzaki, R. (2014). "3D Printing of Continuous Fiber Reinforced Plastic". *Proceedings of the Society of the Advancement of Material and Process Engineering*.
10. Jonoobi, M., Harun, J., Mathew, A. P., & Oksman, K. (2010). "Mechanical properties of cellulose nanofiber (CNF) reinforced poly(lactic acid) (PLA) prepared by twin screw extrusion". *Composites Science and Technology*, 70(12), 1742-1747.

DÖKÜM İÇİN EPS KÖPÜK MODELLERİN ÜRETİLMESİNDE LAMİNASYON BASKI TABANLI YÖNTEMİN ADAPTASYONU: OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEN ÖRNEK BİR KALIP ÜZERİNDE UYGULAMASI

Bülent KAYA ve Zeycan DUVARCI

Erciyes Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Melikgazi, Kayseri.

Özet

Dökümde kaybolan köpük yöntemi için parçanın EPS köpük modeli gereklidir. Günümüzde köpük modeller emek yoğun bir çalışma ile zahmetli bir şekilde imal edilir. Bu çalışmada, hızlı prototipleme yöntemlerinden biri olan nesne laminasyonu tekniğinden ilham alınarak, EPS modellerin katman katman imal edildiği bir yöntem tanıtılmıştır. Yöntem ile altta kalan yüzey analizi ile değişken kalınlıkta katmanlar oluşturulmakta ve bu katmanlar CNC freze ve tel kesme işlemleri ile şekillendirilmektedir. Tanıtılan bu yöntem ile otomotiv sektöründe kullanılan örnek bir kalıp geometrisinin ölçeklendirilmiş bir modeli üretilmiştir.

Anahtar kelimeler: EPS köpük model, laminasyon, prototipleme.

APPLICATION OF LOM FOR PRODUCTION OF EPS MODELS FOR CASTING: A CASE STUDY WITH SAMPLE DIE DESIGN USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract

Polystyrene (EPS) model making is necessary for casting parts manufactured by lost foam casting method. Today, EPS models are produced with a labor intensive work. This study presents an approach for manufacturing the EPS models layer by layer, with the inspiration of LOM (Laminated Object Manufacturing) which is one of the rapid prototyping techniques. According to presented technique, layers are determined at variable thickness by undercut region analysis and formed by using CNC router and hot-wire cutter. Based on introduced technique, a case study was conducted on a scaled sample die model from automotive industry.

Keywords: EPS model, lamination, prototyping.

1. Giriş

Döküm insanlık tarihinin en eski imalat yöntemlerindendir. Günümüzde bu yöntemin seri imalata uygun hale getirilme fikri ise esasen çok eskilere dayanmaz. İlk defa Shroyer 1958 ve 1964 yılında T.R. Smith tarafından tanıtılarak, “boşluksuz kalıp yöntemi”, “kaybolan köpük yöntemi”, “buharlaştıran köpük yöntemi” “kapalı kalıp yöntemi” gibi isimlerle literatüre geçen döküm alanındaki bu çok önemli yöntemin 1980’li yıllarda seri imalata uygulanması ile dökümcülük farklı bir boyuta taşınmıştır.

Döküm işlemi göreceli olarak basittir. Öncelikle metalin eritilmesi, sonra bu eriyiğin kalıp adı verilen boşluğa doldurulması ve metalin bu boşlukta (kalıpta) katılaşmaya bırakılması, dökümün aşamalarıdır. Ancak özellikle kalıp hazırlamak oldukça zahmetli bir iş ve hatta dökümde modelcilik adı verilen farklı bir uzmanlık gerektiren faaliyettir. İşte bu noktada bu çalışmanın amacı, kapalı kalıplarda kullanılan polistiren (EPS-Köpük) modellerin zahmetsiz bir şekilde CAD modelden doğrudan imalatını kapsamaktadır. Dökümler köpük modelin tam bir temsili olduğu için kaybolan köpük döküm yöntemindeki ilk ve en önemli basamak düzgün köpük model üretimidir.

Birçok döküm yöntemi arasından, kaybolan köpük döküm yöntemi yüksek boyutsal doğruluk, düşük maliyet, daha iyi döküm kalitesi ve daha az döküm hatası üretme gibi çok önemli avantajlar sağlar. Ancak en önemli avantajı, yöntemde kalıp ayırma yüzeylerini belirlemeye dolayısıyla üst ve alt kalıp yarısını (alt derece ve üst derece) tasarlamaya ihtiyacın olmamasıdır.

Hacim kalıpcılığı uygulamalarında alt ve üst bölüm (ayırma) yüzeylerinin belirlenmesi 3 boyutlu bilgisayar (CAD) ortamında bile tam bir kâbus olabilirken, gerçekte model ayırma yüzeylerinin kum üzerinde yapılması tam anlamıyla ustalık isteyen bir zanaattır. EPS- köpük kullanımı tek parçalı derece (kapalı kalıp) tasarımını imkân verir. Böylelikle döküm prosesi otomatize edilerek birçok problemin ortadan kaldırılmasına imkân tanınır. EPS- Kaybolan köpük yönteminde, maça kullanılmasına gerek olmadığı için

maça makinasına, maça bağlayıcılarına, maça kumuna gerek duyulmaz ve maçadan kaynaklanan döküm hataları ve çevre kirliliği ortadan kalkar 1).

Kaybolan Köpük Döküm Yönteminde, metalden üretilen hedef modelin birebir aynısı (elbette çekme payı telafisi ile) polistiren malzemeden üretilmesi gerekir. Polistiren malzeme, kuma dökümü gerçekleştirecek yeteri dayanıma sahiptir. Polistiren modeller; enjeksiyon, ekstrüzyon, şişirme yöntemleri ile şekillendirilebilir. Özellikle enjeksiyon ile şekil verme yöntemi seri üretim döküm için yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin milyonlarca adet üretilen bir motor bloğunun polistiren modelleri, enjeksiyon kalıplarından tüm detayı ile hassas bir şekilde çıkarılabilmektedir. Yöntemde bir kere polistiren-köpük model elde edildikten sonra, geriye bu modeli döküm kumu içine yerleştirerek üzerine ergimiş metalin dökülmesi takip eder. Kum kalıp içindeki polistiren-köpük, ergimiş halde bulunan metalin sıcaklığı ile eriyecektir. Böylelikle kumun içindeki köpük buharlaşacak ve buharlaşan köpüğün boşluğunu ise ergimiş metal dolduracaktır.

Seri imalatla kaybolan köpük yöntemi, bahsi geçen motor bloğu örneğinde uygulandığı gibi modelin enjeksiyon hacim kalıplarında polistiren köpük malzemeden üretimi hızlı ve pratik bir çözümdür. Ancak kaybolan köpük yöntemi, adetli yani nispeten az sayıda döküm imalatları için uygun değildir. Model oluşturmak için sarf edilen tüm cabalar dökümden sonra buharlaşacak, yeni bir model oluşturulması gerekecektir. Düşük adetlerde üretimde, köpükten model oluşturmak için enjeksiyon kalıbı yapmak ekonomik değildir. Bu nedenle az adetler için dökümcüler ahşaptan yapılan kalıcı modelleri tercih etmektedirler.

Ancak maliyet dezavantajına rağmen, otomotiv sektöründeki sac metal şekillendirme kalıpları gibi döküm parçaların tek adet bile olsa, gerek büyüklük (1500-4500 mm arasında genişlik ve uzunluklar) gerekse karmaşıklık (ayırma yüzeylerinin belirlenmesinin imkânsızlığı) nedeniyle, üretiminin tek çaresi kalıpların köpük modelinin oluşturulmasıdır. Otomotiv sektöründe kullanılan sac kalıpları gibi büyük ve karmaşık tasarımların polistiren modeller, bölge bölge detaylı analiz edilerek, 2B teknik resimlere göre tabaka halindeki polistiren levhaları keserek şekillendirilmesiveya belirlenen dolu kütük şeklindeki köpük blokların CNC frezede işlenerek yapıştırılması suretiyle oluşturulmaktadır. Bu yöntem, CAD ve CAM süreçlerinin çok iyi planlanmasını gerektiren zahmetli bir iştir. Ayrıca tezgahlarda tek tek işlenerek üretilen kalıp parçalarını montajı yine ayrı bir problem olarak karsımıza çıkar. Ayrıca bu üretim yönteminin hiçbir aşaması otomatize edilmeye uygun değildir.

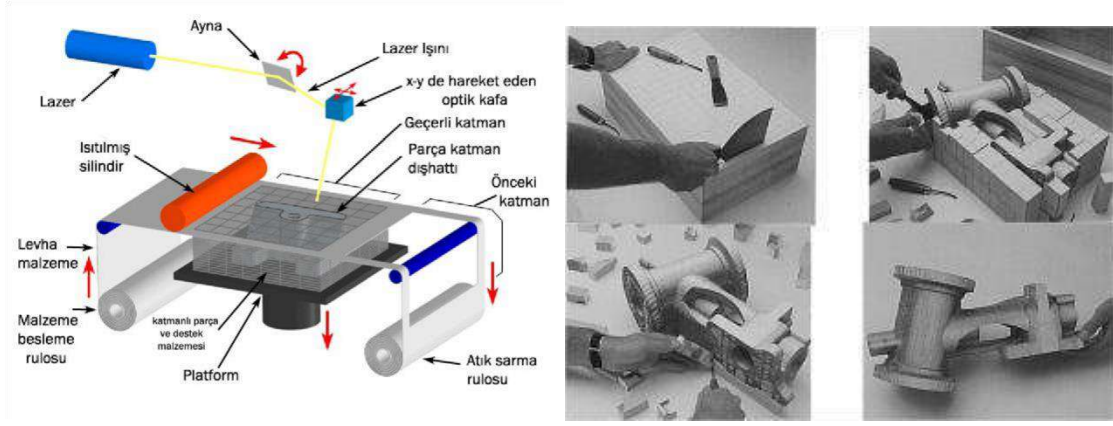
Bu çalışma da özellikle otomotiv sektöründe kullanılan sac metal kalıpları gibi büyük ve kompleks parçaların döküm EPS modelinin oluşturulmasında laminasyon hızlı baskı tekniğinin adaptasyonu tanıtılmaktadır. Sonuçta bu adaptasyon ile hedeflenen, üretilen kalıplara ait CAD modelin katman katman, EPS tabakalarla laminasyonu yapılarak, üretim sürecinin hızlı ve insansız olarak otomatize edilmesidir.

2. 3B Baskı İçin Çok Tabakalı Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing-LOM)

Hızlı prototipleme, bilgisayarda hazırlanan üç boyutlu CAD çizimlerden somut fiziksel modeller elde etmemizi sağlayan imalat teknolojisidir. Hızlı prototip cihazları kendi içinde farklılıklar göstermekle beraber, genel olarak hepsi 'modelde tabandan başlayarak katman katman yüzeylerin üst üste eklenmesi' çalışma prensibini kullanır.

Çok tabakalı nesne üretimi (Laminated Object Manufacturing - LOM) katmanlı üretim yöntemlerinden biridir. 1991 yılında ticarileşen bu sistem, hız ve maliyet etkinliği açısından en popüler hızlı prototipleme tekniklerinden birisidir2). İlk kez ABD'deHelisys tarafından geliştirirken, aynı zamanda Singapur'da Kinergy benzer makineyi geliştirmiştir 3).

Yöntemde kullanılan malzeme sıcaklıkla aktive olan bir kâğıttır. Bu sistemde, kayan bir platform üzerinde ince bir levha ilerletilir, ısıtılmış silindir ile alt katmana bağlanan levhanın dış hatları lazer tarafından kesilir ve her bir levhanın işlenmesinden sonra platform, bir katman kalınlığı kadar aşağıya iner 4).Platform daha sonra hafifçe yükselir ve ısıtılmış silindir besleme mekanizmasına gelen yeni katmanı yapıştırmak için basınç uygular. Lazer parça ile dış hatları kesilir ve bu işlem parça tamamlanana kadar devam eder 5). Parça imalatı makinada tamamlandıktan sonra bir bıçak yardımıyla parça içerisinde bulunduğu bloktan ayrılır 3).



Şekil 2. LOM sisteminin şematik görünümü ve LOM ile üretilen parçanın destek kısımlarının temizlenmesi 3)

LOM'da malzeme olarak kaplanmış kâğıt, plastik köpük kullanılabileceği gibi seramik veya metal tozu emdirilmiş malzemelerde kullanılabilir 5).

Nesne laminasyonu ile üretimin (LOM) en büyük avantajı, hammadde maliyetlerinin düşük olması ve büyük parçaların üretilebilmesidir. Diğer 3B baskı yöntemlerinde tüm parçanın katman içindeki alanı işlenirken, bu yöntemde sadece parçanın kontur hatları işlendiğinden göreceli olarak hızlı bir yöntemdir.

3.Sac Kalıpların Modellenmesi ve Üretim Sürecinde LOM kullanımı

EPS-köpük model kullanımı dökümde uygulama basitliği ile birçok avantaj sunmaktadır. Seri imalatla yoğun olarak kullanılan bu döküm yöntemi için köpük modelin hazırlanmasında enjeksiyon kalıpları kullanılırken, tek veya düşük üretim adetlerinde köpük modelin oluşturulması artan ek maliyetleri gündeme getirir. Tek veya az adetli işlerde köpük model el emeği ile kütle köpük bloklardan CNC tezgâhlarda şekillendirilerek yapıştırılır ve bu iş, parça büyüklüğüne ve karmaşıklığına göre uzun zaman alan emek yoğun bir çalışmayı gerektirir.



Şekil 3. Ütöleme kalıbı ve içi dolu EPS kütükten kalıp çeliğinin işlenmesi (solda), Trim kalıpları için ayrı ayrı işlenen çelik modelleri (sağda)

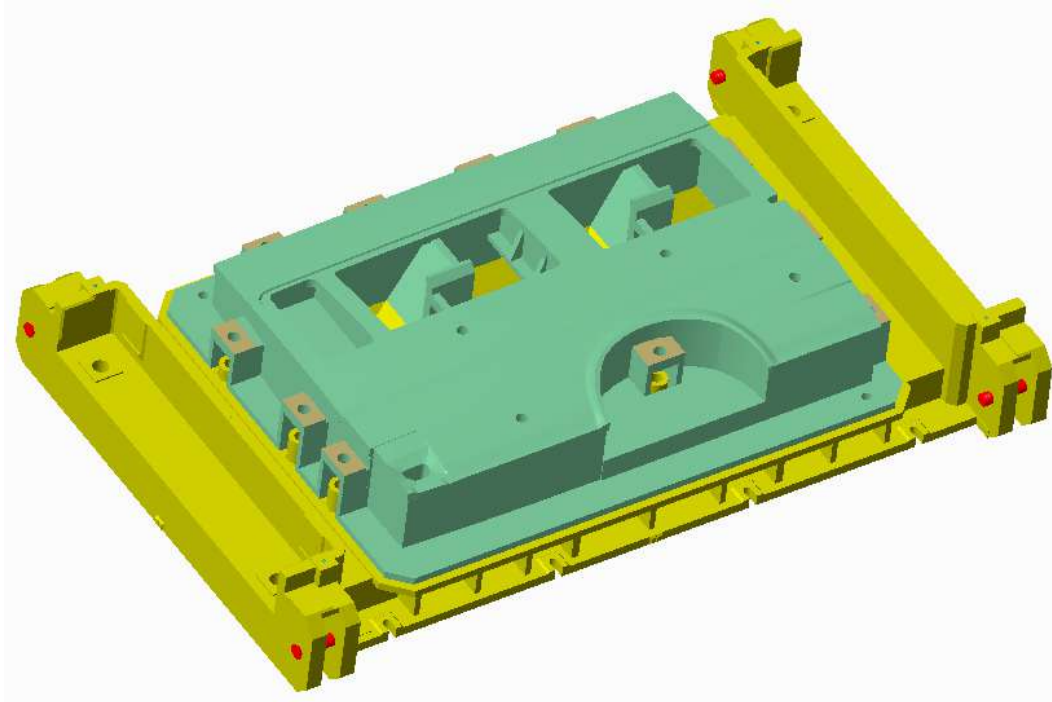


Şekil 4. Çeliklerin yerleştirildiği hamil (üstte), kalıp hamil sol ve sağ düzenleri (altta)

4. LOM Tekniği İçin Kalıp CAD Modelinin İşlenme Stratejisi

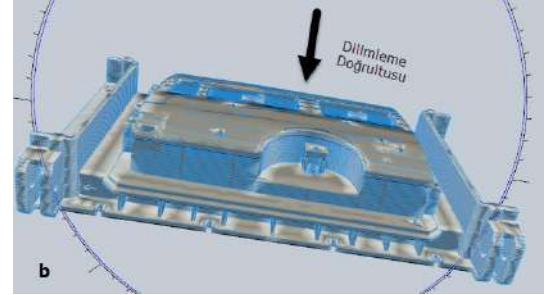
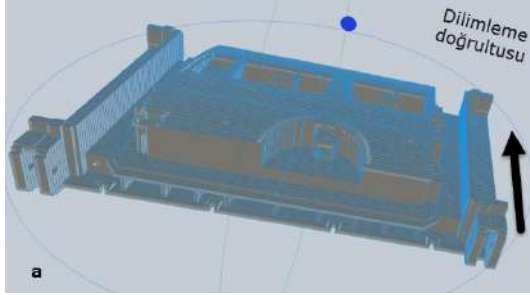
Köpük Model oluşturmak için gerekli laminasyon süreci, çeşitli kalınlıklardaki polistiren levhaların 3B CAD modelde yazılımla belirlenen kesim hatlarında kesilerek üst üste birleştirilmesi ile gerçekleştirilecektir. Bütün bu işlemlerin dökümden beklenen toleranslar dâhilinde belirgin bir hassasiyette yapılmasını gerektirir.

Bu ihtiyacı karşılamak için, söz konusu köpük modelin her bir katmanının şekillendirilmesinde CNC tel kesme ve CNC router kullanılarak hibrid bir işleme stratejisi takip edildi. Örneğin kalıp çekirdeklerini taşıyan hamil genellikle düz ekstrüze tabakalardan elde edildiği için tel ile keserek laminasyonu mümkün kılar. Ancak Şekil 5 ile verilen örnek kalıptaki gibi sacın şekillendirildiği kalıp çekirdekleri genellikle son derece karmaşık yüzeylerden meydana gelmektedir. Bu durumda Laminasyon prosesinde, eğrisel karmaşık yüzeylerintam geometrik formunun verilmesinde ise bir CNC router kullanılması gereklidir.



Şekil 5. Ford Otosan V347 projesinde bir panelin 3Balt kalıp tasarımı

EPS döküm modellerin oluşturulmasında nesne laminasyonu için ücretsiz bir yazılım olan Autodesk Make123D6) yazılımı kullanılabilir. Yazılım bir çok laminasyon türünü desteklerken, aynı zamanda kullanıcının katman kalınlığını ve yönünü değiştirmesine imkan vermektedir. Ayrıca bu işin en önemli kısmı olan hata teşhisi ile dilimlenen parçaların tasnif ve montaj talimatlarını ise yine otomatik olarak kayıt altına almaktadır.



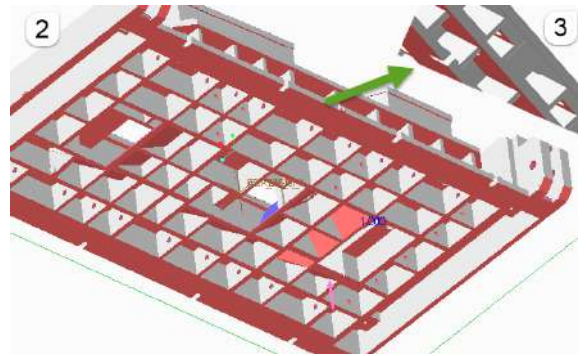
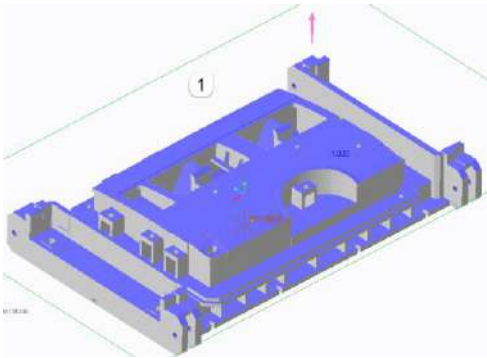
Şekil 6. 20 mm kalınlığındaki EPS için dilimleme doğrultularına göre kalıp düzeni (3D slices algoritması)

Şekil 6 ile verildiği üzere yazılım; 3B modelleri eşit ölçülerde ve yatak veya dikeyde istenen bir açıda dilimleyerek, bu dilimlere ait kontur hattını DXF formatında veya STL formatında çıktı verir. Şekil 6 a ve b için 20 mm kalınlığında EPS tabaka kullanılarak yazılımdaki 3B slices algoritması ile laminasyon katmanları belirlenmiştir.

Yazılımdaki 3B slices algoritması ile kalıp 3B CAD modeli, STL modelin hassasiyetine göre herhangi bir geometrik kayıp olmaksızın katmanlarına ayrılmaktadır. Bu durumda tek yapılması gereken, yazılımın sunduğu katmanlara ait STL verilerini tek tek bir CAM yazılımı vasıtasıyla CNC router ile işlemektir. Buna göre Şekil 6a ile verilen laminasyon düzeni toplamda 36 katmandan, Şekil 6b ise 37 katmandan teşekkül etmektedir.

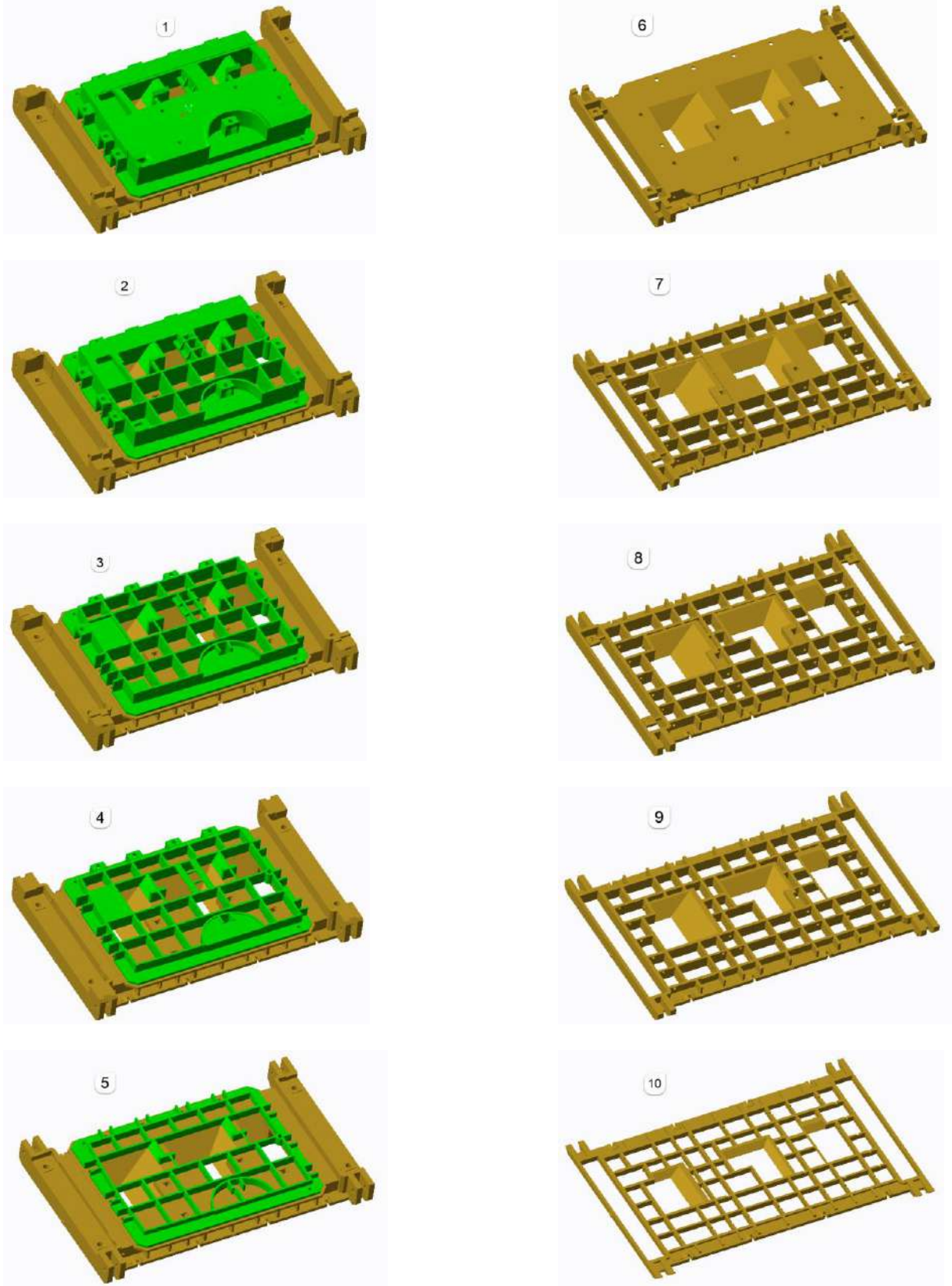
Günümüzde popülaritesi hızla artan Make123D dilimleme yazılımı uygulama da bir takım dezavantajları barındırır. Şekil 5 ve Şekil 6 ile verilen örnek kalıp setinde CNC tel kesme için üretimde kesim yönü eğrisel yüzeyler ile aynı doğrultuda olmalıdır. Yazılım yeterli çözümlemeleri yapamadığından, kesim yönünün eğrisel yüzeylere dik olması halinde bu yüzeylerin formunu tutturmak imkânsızdır. Ayrıca tekrar eden aynı formdaki yüzeyler, dilimleme sırasında kaybolabilmektedir. Bu nedenle seçilen malzeme kalınlığının her parçada değişmesi gerekebilir. Aynı üretilmesi halinde ise tek seferde üretililecek tekrar eden parçaların, ana gövde üzerinde dilimlenmesi halinde, parçaların formu bozulmakta ve kaybolabilmektedir. Bu durum, ayrıca otomatik tasnif için (örneğin robot kullanılması) uygun çözümsunmaz.

Kalıbın LOM tekniği ile üretilmesinde değişken katman kalınlıkları kullanılması, kesim hattının altında kalan yüzeylerin (undercut) eksiksiz bir şekilde üretilmesine imkân verir. Ayrıca bir CNC router için takım boyunun efektif bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu nedenlerle, popüler Maker123D dilimleyicisi yerine çalışmada, kalıpların modellendiği CreoElement/Pro PLM yazılımı kullanılmıştır. Şekil 7 ile verilen resimde değişken katman kalınlıklarının işlenebilen bölge analizine (undercut analiz) göre dilimlenme prosedürü gösterilmektedir.



Şekil 7. Kalıbın ok yönünde undercut bölge analizi, solda (1) mavi yüzeyler takım doğrultusunda işlenebilir, alttan bakışta (2 ve 3) kırmızı bölgeler, undercut göstergesidir.

Kalıp modelinin laminasyon tekniği ile üretilmesinde, Şekil 7 ile gösterilen undercut analizi sonuçlarından faydalanılır. Buna göre, kalıp formunun en az hata ile laminasyonunda değişken katman kalınlıkları, en alt taban haricinde analizin gösterdiği kırmızı yüzeylerden geçmelidir.

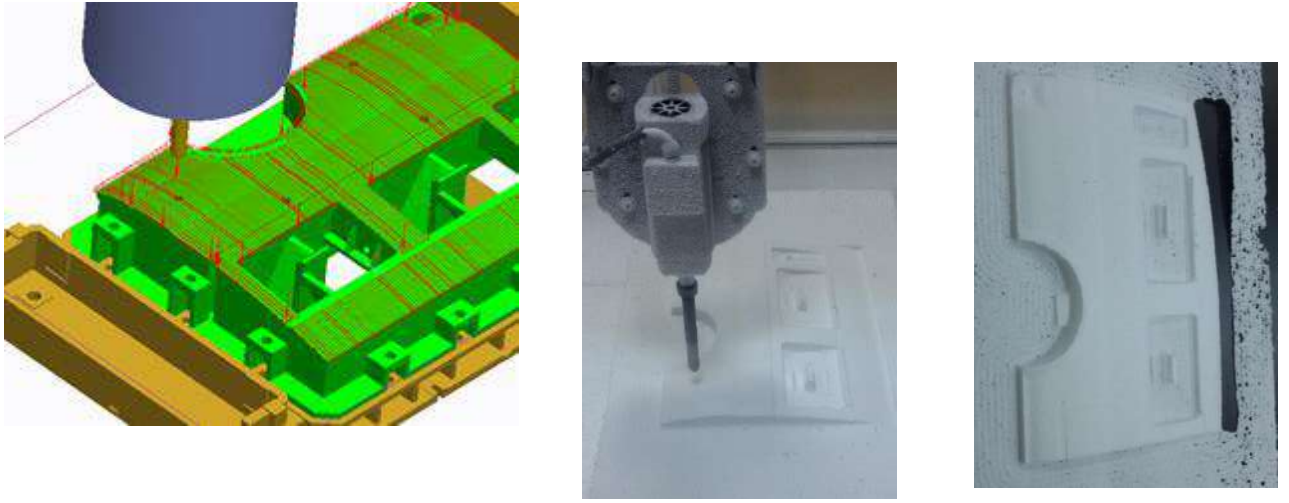


Şekil 8. Undercut analizine göre örnek kalıp modelinin dilimlenmesi

Şekil 8 ile undercut analizine göre kalıbın 10 ayrı katman için laminasyon dilimleri gösterilmektedir. Ancak burada, genellikle kırmızı undercut yüzeylerin esasen kalıbın fonksiyonel olmayan yüzeyleri olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla yer yer karşılaşılabilecek olan sadece birkaç milimetre kalınlıktaki katmanların ihmal edilmesi problem çıkarmayacaktır ancak bu durum kalıbın olduğundan biraz daha ağır olmasını sağlar.

Çalışmada örnek olarak sunulan kalıbın ebatları 4020x2540x729 mm gibi büyük oranlardadır. Bu durumda, gerek piyasada bu büyüklükteki EPS dolu kütük malzemelerin temini ve stok zorluğu gerekse, CNC tezgâh limitlerinin bu ebatlardaki kesimi sağlamasındaki zorluklar nedeniyle kalıp parçalara ayrılarak, analiz edilmelidir. Üstelik bu durumda, değişik dilimleme yönleri seçimiyle katmanların sayısı optimize edilebilir. Örneğin kalıbın bazı bölgeleri için, yatay yönde dilimlenerek katman oluşturulması avantajlı iken, bazı bölgelerin dikeyde kesilmesi avantajlıdır. Ayrıca bu şekilde hibrid yaklaşımla hem CNC tel kesme ve hem de CNC freze kombinasyonu verimli bir şekilde kullanılmış olur.

Şekil 9 ile yukarıda bahsedilen süreçlerin uygulama safhaları gösterilmektedir. Buna göre, karmaşık yüzeye sahip panelin en üst katmanı yüzey frezeleme algoritması (surface milling) kullanılarak CNC freze ile şekillendirilmektedir. Frezeleme işlemi ile ortaya çıkan katman CNC tel ile kesilir ve böylelikle altta kalan yüzeyler (undercut) ortaya çıkarılarak bu prosedür diğer katmanlar için uygulanmaya devam eder.



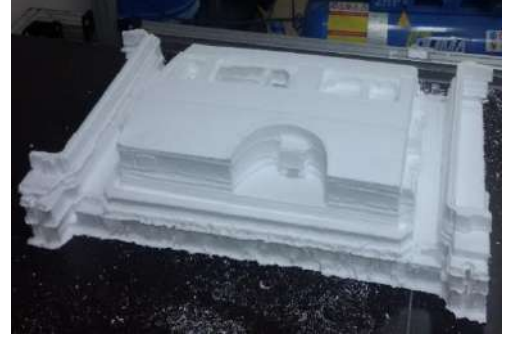
Şekil 9. Örnek kalıbın en üst yüzeyine ait formun (katman 1) şekillendirilmesi, (a) takım yolu oluşturma, (b) CNC router ile işleme ve (c) CNC tel kesme ile katmanın oluşturulması.

Kalıbın en üst yüzeyi karmaşık formlara sahip olduğu için mutlaka radüslü bir takımla yüzey frezeleme algoritmaları ile küçük yan pasolarla (step over) kesilmiştir. Ancak altta kalan yüzeylerin şekillendirilmesinde (undercut) bu kadar uzun süren takım yollarının kullanılmasına gerek kalmaz. Çünkü katman içindeki cepler bir sonraki aşamada CNC tel kesme ile kesildiğinde kendiliğinden ortaya çıkacaktır. Şekil 10 a ile örnek bir katman için sadece kontur dolaşma (profiling) algoritmasının uygulanması gösterilmektedir.



Şekil 10. Kontur dolaşma algoritması ile katmanların 2.5 eksen işleme ile boşaltılması ve katmanın CNC tel ile kesilmesi

Tüm katmanların islenmesi ile artık model Şekil 11 ile gösterildiği üzere basitçe üst üste hizalanarak tamamlanacak bir hale gelir. Tüm katmanlar, zımparalama gibi son bir işlem ile takım izleri ile çapaklarından arındırılmalıdır.



Şekil 11. Katmanlar ile EPS modelin oluşturulması, solda tüm katmanlar, sağda örnek kalıbın montajının temsili

5. Sonuç

Günümüz hızlı prototipyöntemlerinden biri olan LOM nesne laminasyonu tekniğinden alınan ilhamla, özelde bir otomotiv kalıbının döküm modeline uygulanan prosedür ile büyük, küçük basit veya karmaşık geniş bir yelpazedeki tüm tasarımların insansız bir şekilde yapılması hedeflenmiştir. Sunulan yöntemde, bilgisayar ortamında tasarımı yapılan hedef parçanın köpük modelinin undercut analizine göre yukarıdan aşağıya dilimlenmesi ile katmanlar oluşturulmaktadır. Her bir katman, önce dolu EPS kütükten yukarıdan aşağıya CNC router ile islenir ve CNC tel kesme ile kesilerek, üst üste birleştirilir. Modelin tüm detayları ile EPS malzemeden üretilmesinin hedeflendiği bu yöntem ile otomasyon sistemleri desteğiyle insansız imalat gerçekleştirilebilir.

6. Teşekkür

Çalışmayı destekleyen FORD-OTOSAN takım kalıp sorumlusu Ferit Fırat ve Otoform Modellemeden Levent Yüksel'e teşekkür ederiz.

Referanslar

- 1) Yalçın N., Kocatepe K., Tekeli S. Köpük Model Döküm Yöntemindeki Teknolojik Gelişmeler, Politeknik Dergisi, 10, s179-184, 2007
- 2) Y.Y. Chiu., Y.S. Liao., C.C. Hou.,2003."Automatic fabrication for bridged laminated object manufacturing (LOM)process", Journal of Materials Processing Technology, sayfa 179–184,
- 3) Durgun,İ., 2015.Tabakalı Hızlı Prototipleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. XIII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul.
- 4) Kanat E.B.,ÇömlekoğluD.M., ÇömlekoğluE.,Güngör M.A.,2014.Sabit Protetik Restorasyonlarda Kullanılan Güncel Tasarımve Üretim Yöntemleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hek. Fak. Der.sayfa 139
- 5) Çelik,İ., Karakoç,F., Çakır,CM., Duysak,A.,2013.Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları,Dumlupınar Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Kütahya.
- 6) <http://www.123dapp.com/make> Ziyaret Tarihi Mart 2016
- 7) www.ptc.com Ziyaret Tarihi Mart 2016

3D PRİNER İLE İMALATTA ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BOYUTSAL DOĞRULUK VE YÜZEY KALİTELERİNE ETKİSİ

Şükrü ŞEN, Halil İbrahim DEMİRCİ, Birhan IŞIK

Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., End. Tas.Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, sukrusen.kbu@gmail.com
Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, End. Tas.Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, hdemirci@kbu.edu.tr
Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, MekatronikMühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, bisik@kbu.edu.tr

Özet

3B yazıcı teknolojisi ile imal edilen ürünlerin ölçüsel, boyutsal ve yüzeysel olarak hassasiyetlerinin yakalanması, ürün montajı ve hassas ürünlerin üretilebilmesi için gerekli bir husustur. İmalatın her alanında önem arz eden ve kompleks ürünlerin verimli çalışabilmesi için üretilen ürünlerin hedeflenen toleranslar dahilinde olması için bir çok etmen üzerinde durulması gerekmektedir. Ancak üretim aşamasında parametrelerde ve ürün kalitesinde en çok sıcaklık, hız her zaman ürün kalitesinde etkin rol oynamıştır. 3B yazıcı ile üretimde kullanılan PLA malzemenin üretim için gerekli olan kullanım parametrelerinin belirlenmesi gelişmekte olan hızlı prototipleme sektörüne büyük katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, model olarak seçilen parçanın istenen ölçülerdeki tasarımı CAD programında yapılarak, kartezyen tipi 3B yazıcı arayüz programına aktarılmıştır. Farklı sıcaklık, katman kalınlığı ve doluluk oranları girilerek numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numune ölçülerek elde edilen veriler ile hedeflenen ölçüler karşılaştırılmış, hata payları tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda optimum parametreler ile hassasiyeti yüksek, yüzey pürüzlülüğü minimum ürün ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: 3B yazıcı, PLA, Yüzey pürüzlülüğü, Boyutsal doğruluk.

THE EFFECT ON DIMENSIONAL ACCURACY AND SURFACE QUALITY IN MANUFACTURING WITH 3D PRINTER

Abstract

Obtaining precisions of measuremental, dimensional and surface of the products manufacturing with 3D printer technology is an essential issue for product assembly and to be produced precision products. In manufacturing, it is necessary to focus on many factors for efficient operation of product and to be within tolerances targeted. However, in production period, among parameters, the ones that mostly played an active role on product quality have been temperature and speed. Determining the use parameters needed for production, of materials as PLA used in production with 3D printer, will contribute greatly to the rapid prototyping industry in developing. In this study, the design in the desired size of the part selected as model has been made in CAD programming and has been transferred to interface program of 3D Cartesian type printer. By entering different temperature, layer thickness and occupancy rates, sample production has been realized. By measuring the sample produced, it has been compared data obtained with measures targeted and defined error margins. Based on these results, it has been presented optimal parameters and the product having high sensitivity and minimal surface roughness.

Keywords: 3D printer, PLA, Surface roughness, Dimensional accuracy.

1.Giriş

3B yazıcı teknolojisi ile üretilen ürünlerin boyutsal ve yüzeysel olarak hassasiyetin yakalanması, ürün montajı ve hassas ürünlerin elde edilebilmesi için gerekli bir husustur. İmalatın her alanında önem arz eden ve kompleks ürünlerin verimli çalışabilmesi için ürünlerin hedeflenen boyutsal ölçüler dahilinde olması için bir çok etmen üzerinde durulması gerekmektedir[1]. Ancak üretim aşamasındaki parametrelerde ve ürün kalitesinde en çok sıcaklık ve hız her zaman etkin rol oynamıştır. 3B yazıcı ile üretimde kullanılan PLA, ABS, PET malzemelerin üretim için gerekli olan kullanım parametrelerinin belirlenmesi, gelişmekte olan hızlı prototipleme sektörüne büyük katkı sağlayacaktır. İlk üç boyutlu yazıcı 1984 yılında Chuck Hull of 3D Systems firması tarafından üretilmiştir [2]. Hızlı prototipleme süreci 1993 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından patentli bir üretim süreci olarak günümüze kadar ulaşmıştır[3]. Üretim sektöründe özellikle hızlı prototip geliştirmede kullanılan 3B yazıcılar birçok firma tarafından üretilmeye ve satılmaya başlanmıştır.

2015 yılı itibarı ile üç boyutlu yazıcıların market hacmi 4.3 milyar dolara erişmiş ve 2014 yılına göre %40'lık bir artış göstermiştir. Bazı üç boyutlu yazıcılar bilgisayar bağlantısına gerek duymadan hafıza kartı üzerindeki tasarım dosyasını okuyarak baskı yapabilmektedir. Üç boyutlu tasarım dosyaları bilgisayar yazılımı aracılığı ile dilimleme işleminden geçirilir ve üç boyutlu olarak basılabilir dosya formuna dönüştürülür. Bu dosyalar STL dosya formatındadır. Üç boyutlu yazıcının baskı sırasında yapacağı bütün hareketler ve ne zaman ham maddeyi dökmeye başlayacağı bilgisi ve komutları bu dosya içerisinde yer almaktadır. Yazıcının çözünürlüğü katmanın kalınlığına ve x-y eksenleri üzerindeki hareket hassasiyetine bağlıdır. Genelde baskı kalınlığı 100 µm'dir (250DPI(Dots Per Inch)). Bazı yazıcılar ile çok daha yüksek çözünürlükte baskı yapabilmektedir 16 µm gibi (1,600 DPI). Baskı süresi yazıcıya ve basılan tasarıma göre değişkenlik göstermektedir. Kullanılan malzemelerin cinsi ve ısıyla etkileşimi baskıda rol oynamaktadır. Örneğin, PLA (Polilaktik Asit)'nin ısı altındaki dayanımı ABS (AkrilonitrilButadinStiren)'e oranla daha azdır ve 50 °C üzerindeki uygulamalarda kullanmak sakıncalı olabilir. Erime sıcaklık aralığının ABS'ye oranla daha geniş olması çarpılma ihtimalini azaltırken, malzemenin yavaş sertleşmesi nedeni ile yazım hızı artırıldığında kötü sonuçlar vermektedir [4]. Bu süreçte üretilen malzemelerde sıcaklığa bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin değişebileceğinden bu değerlerin incelenip uygun sıcaklık değerlerine karar verilmesi gerekmektedir. Yüzey dokusu, yüzeyin üç boyutlu topografyasının oluştuğu nominal yüzeyden rastgele veya tekrarlı olarak meydana gelen sapmalar şeklinde tanımlanabilir. Bu sapmaların belirlenmesi amacıyla birtakım cihazlar geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur [5]. Bu çalışma ile PLA malzemesinden üretilen geometrik parçaların sıcaklığa bağlı ve farklı katman kalınlığının ve doluluk oranının boyutsal ölçülere etkisi tespit edilip, yüzey pürüzlülüğüne etkisi de incelenmiştir.

2. Amaç

3B yazıcı ile elde edilecek tek ürünün veya montaj edilmek üzere üretilen bir parçanın boyutsal doğruluğu, tasarım boyutu ve imal boyutu arasındaki uyumluluk kabul edilebilir sınırlar içerisinde olmalıdır [7,8,9]. Üretilen parçaların en önemli noktası aynı boyutsal özelliklerde tekrar üretilebilirlik durumudur[6]. 3B boyutlu yazıcılar ile üretimlerde, tasarlanan parçalar ile üretilen parçalardaki boyutsal doğruluğu elde edebilmek için sıcaklık ve katman kalınlığı bu hedefe ulaşmak için önem arz etmektedir. Geçerli boyutlandırma ve tolerans verme standartları şekil, konum ve boyut toleransı olarak değerlendirilir [7,8,9]. Yüzey pürüzlülüğü için yaygın olarak kullanılan pürüzlülük parametreleri ISO-4287, ISO-13565-2 ve Fransa otomotiv endüstrisinde kullanılan CNOMO E-05-015'de tanımlanmaktadır [10]. Farklı sıcaklıklarda ve katman kalınlığında üretilen deneysel parçaların boyutsal ölçüleri, dairesellik durumları ve yüzey pürüzlülüğü incelenerek uygun sıcaklık ve parametre aralığı belirlenmesi amaçlanmıştır. Dairesellik ve boyutsal ölçüler özellikle montajda parçanın bileşenleri ile çalışmasında büyük önem kazandığından yapılan deneysel çalışmaların kolaylığı için silindirik parça model olarak tercih edilmiştir.

3. Deneysel Çalışma

3.1. Malzeme

PLA biobazlı materyallerden çıkarılan dekstroz (şeker)'den ve bitki bazlı (genellikle mısır, soya tohumu, vb.) malzemelerden elde edilmektedir. PLA, belli koşullar altında biyolojik olarak ayrıştırılabilir. Bu ürünler, ısı 70° C veya daha yüksek ve nem oranı minimum % 70 RH olan, kontrolü yapılabilen endüstriyel tesislerde üretilmelidir. Materyal, higroskopik olup çoğu durumda dönüştürme öncesi ön-kurumaya ihtiyaç duymaktadır.

Tüm sınıflar, biyolojik olarak tamamen çözünebilirlik sertifikasına (EN12342) sahiptir [11]. PLA malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir.

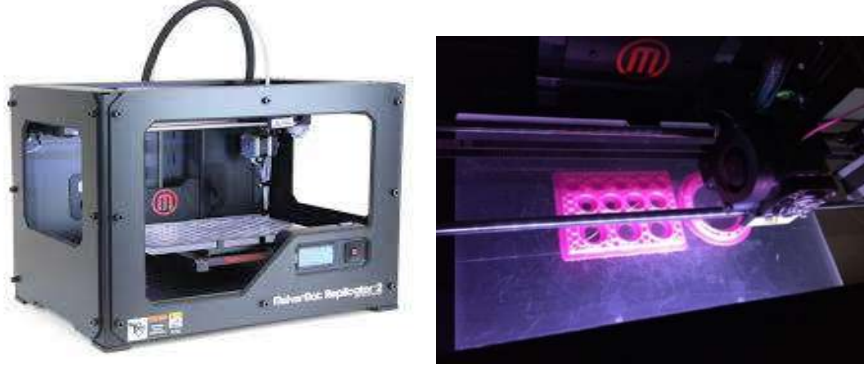
Çizelge 1. PLA malzemenin mekanik özellikleri [12-13].

Yoğunluk	1.210–1.430 g·cm ⁻³
Elastik modülü	194 Mpa
Çekme Dayanımı	11.9 Mpa
Akma Dayanımı	2,7-16 Gpa
Kopma uzaması	%37
Erime Sıcaklığı	173-178° C

3.2. Kartezyen Tipi Yazıcı

Kartezyen yazıcıların çalışma prensibi (X-Y-Z düzlemlerinde) yukarı-aşağı, sağa-sola olarak hareket etmektedir. Kartezyen tipi sistemlerde objeyi oluşturabilmek için hareket eden yazıcı başlığın çizgisel bir yol izleyerek hareketine devam eder. Genellikle ekstruder veya tabla hareketli olarak üretilmektedir.

Tablaya hareket kabiliyetinin verilmesi çıkacak ürünün daha kaliteli olmasına ve geometrik toleranslar bakımından istenilen ölçüde çıkmasında büyük rol oynamaktadır. Deneysel parça üretilmesinde kullanılan MakerBot marka 3B yazıcı Şekil 1’de görülmektedir. Yazıcı ebatları 490X320X380(mm) olup baskı alanı 285x153x155(mm)’dir. Baskı sıcaklığı 230° ile 270° arasında olup min. katman kalınlığı 0,05 mm max. katman kalınlığı 0,4 mm ve hassasiyeti 100µm-400µm olarak baskı yapılabilir. Şekil 2’de deneysel parçaların üretilmesi görülmektedir.



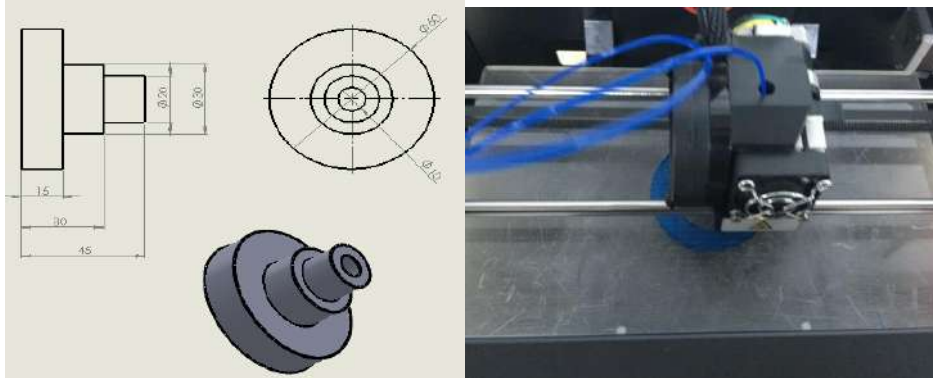
Şekil 1. Kartezyen tipi 3Byazıcı[14]. Şekil 2. Kartezyen tipi 3Byazıcı ile parçaların üretimi

3.3. Deney Parametreleri

Deneysel çalışmalar için silindirik dış çap ve kalınlık ölçüleri bulunan Şekil 3’de görüldüğü gibi bir parça tasarlanmıştır. Üretilen parçanın boyutsal ölçüleri birbirinden bağımsız değerlendirilmiştir. Tasarlanan parça STL formatında Makerbot arayüzüne atılmış ve deneysel parça için gerekli değerler tanımlanmıştır. Farklı imalat varyasyonları oluşturularak (sıcaklık, katman kalınlığı ve doluluk oranı bazında) deneysel parça üretimleri Şekil 4’de görüldüğü gibi yapılmıştır. Deneysel parçanın imalat değerleri Çizelge 2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Farklı İmalat değerlerinde parça üretimi için tanımlanan değerler.

Adı	Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Adet
Üretim 1	230°-270°	0,1 mm	%15	1-1
Üretim 2	230°-270°	0,1 mm	%50	1-1
Üretim 3	230°-270°	0,3 mm	%15	1-1
Üretim 4	230°-270°	0,3 mm	%50	1-1

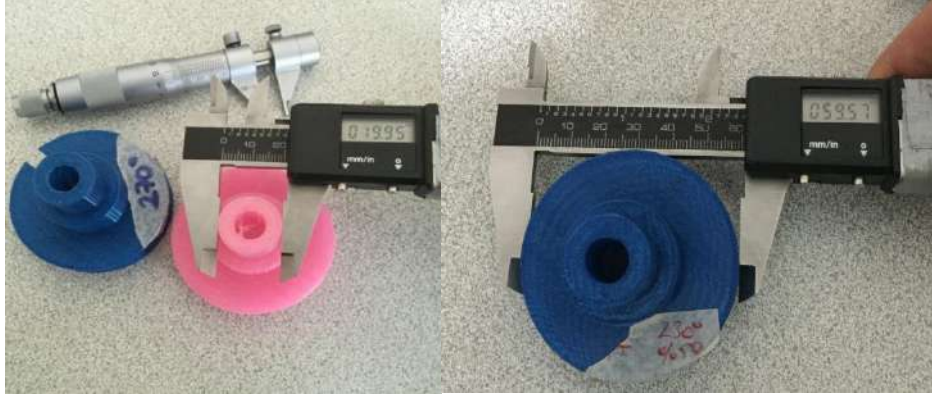


Şekil 3. Deneysel parça ve boyutsal ölçüleri Şekil 4. Deneysel parça imalatı.

3.5. Üretilen Parçaların Ölçümü

Üretim işleminden sonra malzeme çaplarındaki boyutsal değişimi ve kalınlık hata paylarının ölçümü Şekil 5’de görüldüğü gibi dijital kumpas ve iç çap mikro metresi tarafından ölçülerek belirlenmiştir. Deneysel parçaların incelenmesinde birden fazla noktadan çap ölçümü yapılarak, ölçü değişimleri dikkate alınmış

ve ölçümlerin max. ve min. olarak mm cinsinden ortalaması alınmıştır. Her bir parça için işlem ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 5. Deneysel parçanın boyutsal ölçümü

Malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ölçümü sırasında MAHR firmasının MarhrSurf PS1 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil5). Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri Çizelge 3 'de verilmektedir.

Çizelge 3. MarSurf PS1 Yüzey Pürüzlülük ölçüm cihazının mekanik özellikleri

Ölçme Yöntemi	İzleyici uçlu (Stylus) cihazlar yöntemi
Tarama Hızı	0,5 mm/sn. (ölçme yaparken) 1 mm/sn. (geri dönerken)
Ölçme Kuvveti	4 mN (0,4 gf)
Uç malzemesi	Elmas
Ölçme Sıcaklığı	20°C ± 1 °C
Değerlendirme uzunluğu	4mm
İzleyici Uç Yarıçapı	5 µm



Şekil 6. Deneysel parçaların yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Ölçümler (15mm'lik kısım üzerinde) her deney sonucu için üretilmiş parçanın iki ayrı yerinden ölçülerek yapılmıştır. Ölçümler ISO 5832-3 standartlarına göre yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen Ra değerlerinin ortalama değerleri alınmıştır. Ra ölçümleri Şekil 5'de detaylı olarak gösterilmiştir.

3.5.Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

3.5.1. Boyutsal Ölçü sonuçları

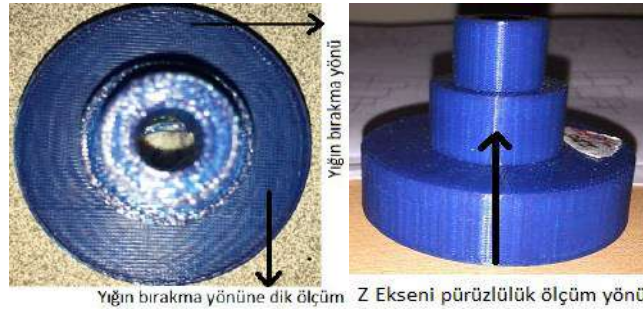
Deneysel olarak elde edilen ürünlerin boyutsal varyasyonları incelenmiş ve çıkan sonuçlar arasındaki farkların çok düşük değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Ancak Şekil 6,7,8'de çap ölçümleri ile Şekil 9,10,11'de kalınlık değişimleri incelendiğinde parça kalınlığındaki değişimin parçanın dairesel çap ölçüsüne göre (x ve y düzleminde) daha az olduğu görülmüştür [6].Dairesel ölçülerde ki hata paylarının artışı üç eksen olarak çalışan kartezyen tipi makinenin iki eksenin (X,Y) birbiriyle tam orantılı çalışmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 6,7,8 incelendiğinde çap, Şekil 9,10,11 incelendiğinde kalınlık ölçülerinin sıcaklık artıca gerçek ölçüye daha yakın olduğu gözlemlenmiş ve sıcaklığın boyutsal doğruluk bakımından olumlu yönde etki ettiği görülmüştür. Katman kalınlığı (Layerheight) değiştirilerek basılan parçalarŞekil 6,7,8 incelendiğinde çap, Şekil 9,10,11 incelendiğinde

kalınlık ölçülerinin katman kalınlığı incelidikçe ölçü hassasiyetinin arttığı görülmüştür. Doluluk oranı (Infill) arttıkça Şekil 6,7,8 incelendiğinde çap, Şekil 9,10,11 incelendiğinde kalınlık ölçülerinin doluluk oranı arttıkça ölçü hassasiyetinin daha iyi olduğu görülmüştür. Z eksen yönündeki ölçüler Şekil 9,10,11 sıcaklık, doluluk oranı ve katman kalınlığına göre incelendiğinde genel olarak tasarım ölçülerinin üzerinde olduğu görülmüştür [6]. Bunun nedeni olarak, 3B yazıcının Z ekseninde tek yönde hareket etmesi olduğu düşünülmektedir.

3.5.2. Yüzeysel Ölçüm Sonuçları

Üretilen parça üzerinde yapılan yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre ve Ek. 2'deki çizelgeler incelendiğinde;

- Sıcaklık arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır.
- Doluluk oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır.
- Katman kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.
- Yığın bırakma yönünde yüzey pürüzlülüğü azalmıştır (Şekil 12).
- Yığın bırakma yönüne dik olarak yüzey pürüzlülüğü artmıştır (Şekil 12).
- Z eksen boyunc katmanlar arası yüzey pürüzlülüğü parçanın yığın bırakma yönüne göre artmaktadır (Şekil 12).



Şekil 7. Yığın bırakma yönünde ve dikine yönde ölçüm ve Z ekseninde yüzey pürüzlülüğü ölçümü.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada Kartezyen tipi yazıcı (MakerBot) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve ölçümler yapılmıştır. Genel olarak sonuçlara bakıldığında; sıcaklık arttıkça ölçülerin doğruluğu artmakta, katman kalınlığı incelidikçe hassasiyet artmakta ve doluluk oranı arttıkça daha iyi boyutsal sonuçların alındığı görülmektedir. Sıcaklık arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, katman kalınlığında ise yığın yönünde pürüzlülük yığın yönünün tersine göre düşük çıkmaktadır. X ve Y ekseninde katman kalınlığı düştükçe pürüzlülük artmış ancak Z eksen boyunc katman kalınlığı düştükçe yüzey pürüzlülüğü düşmüştür.

Öneriler;

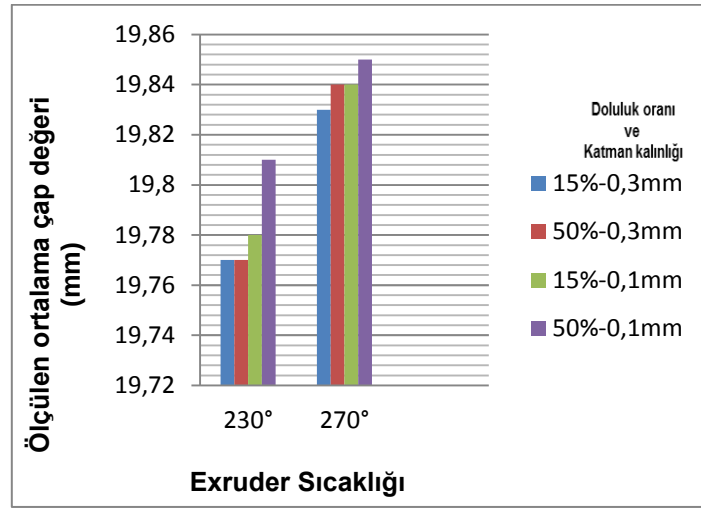
- Boyutsal doğrulukta aynı parça aynı şartlarda 3B yazıcıda basılarak ölçü ve boyutlar açısından tekrarlanabilirliği incelenebilir.
- Üretilen parça asetona sokularak bekletilerek daha kaliteli yüzeyler elde edilebilir.
- PLA malzemesi ile basılan parça parametreleri ABS ve diğer filament çeşitleri için de denenebilir.
- ABS malzemesi kullanılarak basılan parçalar kimyasal buhar banyosu yaptırılarak yüzey kalitesi artırılabilir.

Referanslar

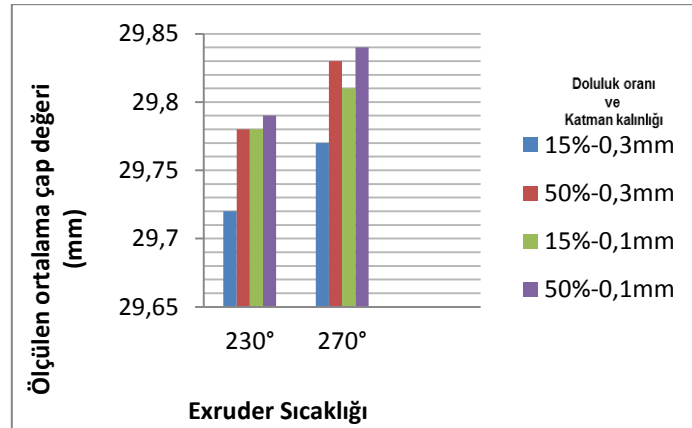
1. J.-P.Kruth, B. Vandenbroucke, J. Van Vaerenbergh, P. Mercelis, Benchmarking of Different SLS/SLM Processes as RapidManufacturingTechniques, Int. Conf. Polymers&MouldsInnovations (PMI), Gent, Belgium, April 20-23, 2005.
2. https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%9C%C3%A7_boyutlu_bask%C4%B1-2016.
3. Printing of thePaper, MITnews, <http://web.mit.edu/newsoffice/2011/3d-printing-0914.html>-2016.
4. <http://www.3byazici.com/2012/12/3d-yazicida-abs-mi-pla-mi-kullanmali.html>-2016.
5. <http://www2.bayir.edu.tr/muhendislik/makine/leyle.ozgener/deneyselmetotlar/foyer/Malzemefoy.pdf>-2016.
6. M. N. Islam, Member, IAENG, Brian Boswell and A. Pramanik, An Investigation of DimensionalAccuracy of PartsProducedby Three-Dimensional Printing Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol I, WCE 2013, July 3 - 5, 2013, London, U.K.

7. ASME Y14.5-2009, Dimensioning and Tolerancing, ASME, New York, (2009).
8. AS1100, Technical Drawing, Part 201-1984, Mechanical Drawing, Standards Australia, Sydney, (1984).
9. Dr Muhammad Fahad, Dr Neil Hopkinson, A new benchmarking part for evaluating the accuracy and repeatability of Additive Manufacturing (AM) processes, 2nd International Conference on Mechanical, Production and Automobile Engineering (ICMPAE'2012) Singapore April 28-29, 2012
10. TMMOB Makine Mühendisleri Odası IV. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi 25-26 Ekim 2001, Eskişehir-Türkiye.
11. <http://www.verbatim.com.tr/tr/3D/abs-vs-pla/?con=56>, 2016.
12. [https://en.wikipedia.org/wiki/Poly\(lactic_acid\)-2016](https://en.wikipedia.org/wiki/Poly(lactic_acid)-2016).
13. BM Tymrak, M. Kreiger, JM Pearce, Gerçekçi altında açık kaynak 3 boyutlu yazıcılar ile fabrikasyon bileşenlerin mekanik özellikleri Çevre kon- altyapıyı, Malzeme ve Design 58, s. 242-246 (2014).
14. <http://www.3dfab.com/urunler/3d-yazicilar/makerbot-replicator-2>.

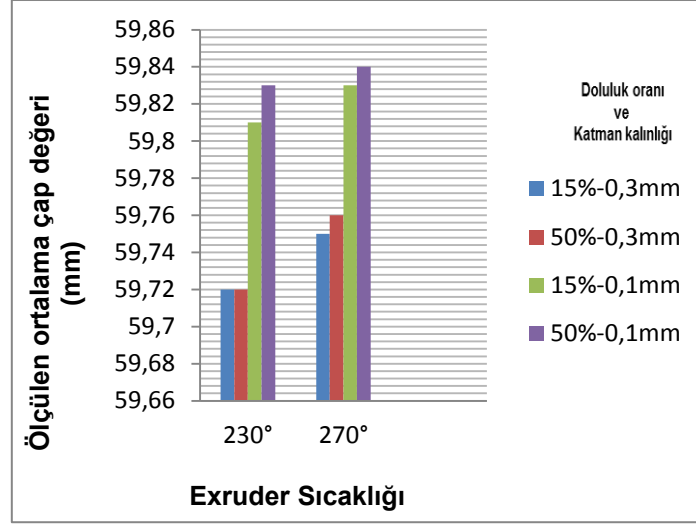
Ek 1. FARKLI SICAKLIK, DOLULUK ORANI VE KATMAN KALINLIKLARINDA ÖLÇÜLEN BOYUTSAL DEĞERLER



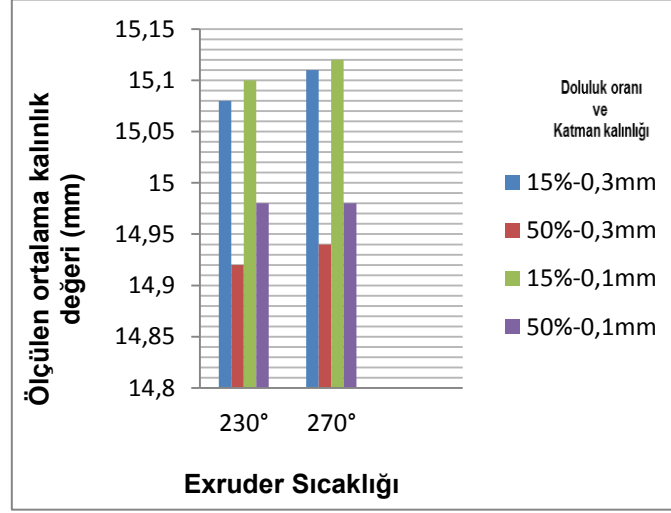
Şekil 8. Tasarım ölçüsü $\varnothing 20\text{mm}$ için çıkan değerler



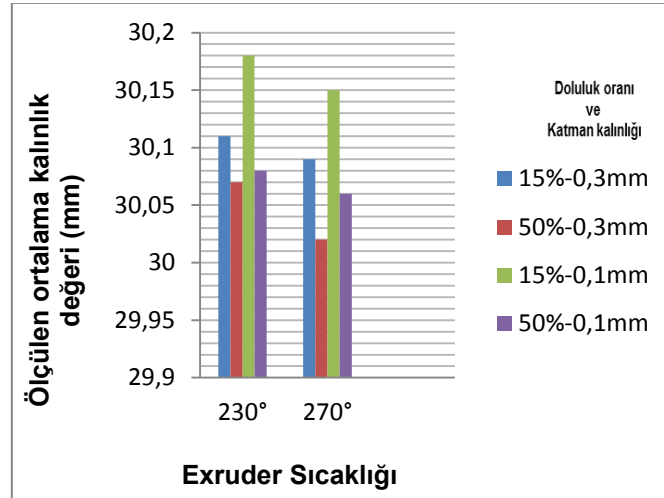
Şekil 9. Tasarım ölçüsü $\varnothing 30\text{mm}$ için çıkan değerler



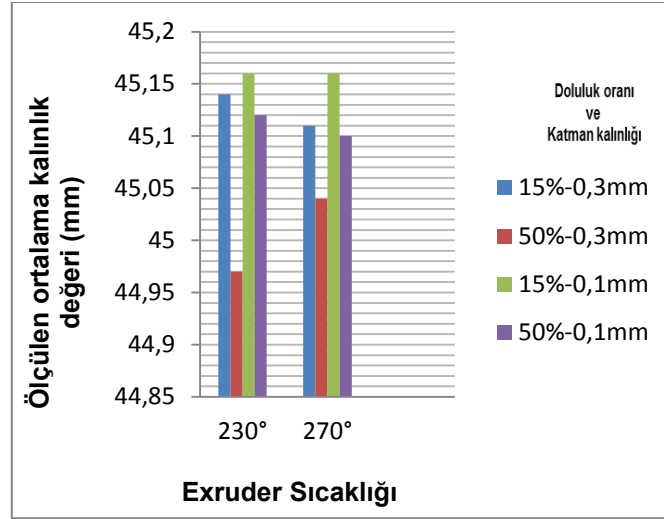
Şekil 10. Tasarım ölçüsü ø60mm için çıkan değerler



Şekil 11. Tasarım ölçüsü 15mm için çıkan değerler



Şekil 12. Tasarım ölçüsü 30mm için çıkan değerler



Şekil 13. Tasarım ölçüsü 45mm'çin çıkan değerler

Ek 2. FARKLI SICAKLIK, DOLULUK ORANI VE KATMAN KALINLIKLARINDA OKUNAN YÜZEY PRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
230°	0,3mm	%15	Yığın yönünde	Ra 1,090
230°	0,3mm	%15	Yığın yönün tersi	Ra 5,006
230°	0,3mm	%15	Katmanlar arası z-ekseni	Ra 20,23

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
230°	0,3mm	%50	Yığın yönünde	Ra 2,021
230°	0,3mm	%50	Yığın yönün tersi	Ra 6,284
230°	0,3mm	%50	Katmanlar arası z-ekseni	Ra 21,440

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
270°	0,3mm	%15	Yığın yönünde	Ra 2,120
270°	0,3mm	%15	Yığın yönün tersi	Ra 7,072
270°	0,3mm	%15	Katmanlar arası z-ekseni	Ra 23,130

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
270°	0,3mm	%50	Yığın yönünde	Ra 2,472
270°	0,3mm	%50	Yığın yönün tersi	Ra 9,414
270°	0,3mm	%50	Katmanlar arası z-ekseni	Ra 23,830

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
230°	0,1mm	%15	Yığın yönünde	Ra2,190
230°	0,1mm	%15	Yığın yönün tersi	Ra 8,025
230°	0,1mm	%15	Katmanlar arası z-ekseni	Ra 12,651

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
230°	0,1mm	%50	Yığın yönünde	Ra 2,210
230°	0,1mm	%50	Yığın yönün tersi	Ra 9,121
230°	0,1mm	%50	Katmanlar arası z-ekseni	Ra 13,214

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
270°	0,1mm	%15	Yığın yönünde	Ra 2,924

270°	0,1mm	%15	Yığın yönün tersi	Ra 13,490
270°	0,1mm	%15	Katmanlar arası z-ekseni	Ra 7,610

Sıcaklık	Katman kalınlığı	Doluluk oranı	Pürüzlülük ölçüm yönü	Pürüzlülük değeri (µm)
270°	0,1mm	%50	Yığın yönünde	Ra 2,320
270°	0,1mm	%50	Yığın yönün tersi	Ra 6,908
270°	0,1mm	%50	Katmanlar arası (Z eksen)	Ra 7,334

3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE YAZDIRMA DOLULUK ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gülçin EREL¹, Elif YILMAZ², Hatice EVLEN³

1. Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Karabük/TÜRKİYE, gulcin.erel@gmail.com

2. Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Karabük/TÜRKİYE, elfilylmz276@gmail.com

3. Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Karabük/TÜRKİYE, hakgul@karabuk.edu.tr

Özet

3 Boyutlu yazıcılar bilgisayar üzerinde modellenmiş veya 3 boyutlu olarak taranmış modelleri geleneksel üretim yöntemlerine nazaran oldukça hızlı bir şekilde üretebilen bir cihazdır. Günümüzde üç boyutlu yazıcı teknolojisi mücevher, aksesuar, ayakkabı tasarımı endüstriyel ve mimari tasarımlarda, otomotiv sanayisinde, hava-uzay, dişçilik ve tıp sektöründe, eğitimde, farklı alanlardaki bilimsel çalışmalarda birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 3 Boyutlu Yazıcılar da birçok materyal kullanılarak üretim yapılabilmektedir. En çok kullanılan iki materyal ise ABS(Akrilonitrilbütadienstiren) ve PLA(Polilaktik asit) dir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada ABS (Akrilonitrilbütadienstiren), PLA (Polilaktik asit) ve kompozit filamentler kullanarak ürün yazdırılabilen, genel boyutları 400x400x360 mm, mak. 160x170x120 mm ürün yazdırabilen, ısıtılabilen tablaya sahip, mekanik sisteminin etrafının kapalı olduğu kartezyen tipi 3 boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipi yapılmıştır. Dört motor kullanılan bu tasarımda yazıcı tablası z eksen yönünde hareketli, yazma işlemini gerçekleştiren nozul kısmı x ve y eksen yönünde hareket edebilmektedir. Prototipi gerçekleştirilen yazıcıda kompozit filament kullanılarak mekanik sistemin etrafı açık ve mekanik sistemin etrafının kapalı olduğu iki ayrı durumda %10 , %30 ve %50 olmak üzere üç farklı doluluk oranı verilerek toplam 18 adet numune yazdırılmıştır. Elde edilen numuneler çekme deneyine ve shore sertlik testine tabi tutulmuştur. Sonuçlar karşılaştırılarak doluluk oranının ve mekanik sistemin açık ya da kapalı oluşunun mukavemet üzerindeki etkisi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcılar, Kompozitfilament, Doluluk oranı

3D PRINT DESIGN AND INVESTIGATION MECHANICAL PROPERTIES EFFECT OF THE PRINT OCCUPACY RATE

Abstract

3d printers are modeled on the computer or scanned as 3d is a device that can produce rather quickly as compared to traditional production methods. Today, 3d printers technology has been started to use widely tojewellery, accessories, footwear design in industrial and architectural design, automotive industry, aerospace, the dental and medical sector, education, scientific studies in various field in many countries. It can be produced using many materials in the 3d printers. ABS and PLA are that most widely used two materials.

3d printers design and prototype has been made that can be used composite filaments and ABS, PLA; the overall dimension of 400x400x360 mm, max 160x170x120 mm that can print with a heated table, rectangular type of mechanical system to be closed around the four engines will be used in the printers way tray design that moving the z axis direction, the writing proses performs a nozzle part is able to move in the direction of the x and y axis. Printer that has been made to prototype to using composite filament the surrounding of the mechanical system is closed around open and mechanical system on two separate occasions in %10, %30, %50 that has been printed a total of 18 samples given three different occupancy rate. The resulting samples were subjected to tensile test and the Shore hardness test. The results demonstrated the strength of its impact on the occupancy rate and comparing the mechanical system consisting of open or closed.

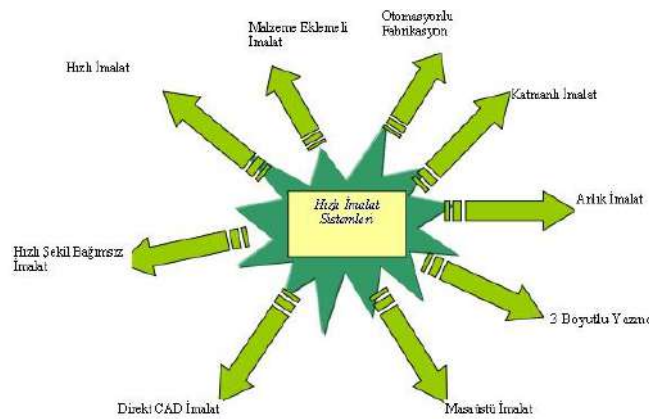
Keywords: 3-D printers, Composite filament, The occupancy rate.

1. Giriş

Günümüzün üretim dünyasında ürünün pazara sürüm süresinin kısaltılması firmaların rekabetçi kalabilmeleri için önemlidir. Bu sürecin kısaltılmasının yanında, pazara sunumdan sonra gerekecek sorun giderici tasarım gereksinimlerinin de minimize edilmesi hatta sıfırlanması bir diğer önemli, tamamlayıcı koşuldur. Küresel rekabetle birlikte ürünlerin pazardaki yaşam sürelerinin kısaltılması, ürün geliştirmesüreçlerinin sıklaşmasını sağlamıştır. Her sektörde olduğu gibi üretim sektöründe artan teknolojik olanaklar ile ürün geliştirme sürecinin kısaltmaya devam ettiği gözlenmektedir. Günümüz tasarım ve üretim dünyasında müşteri odaklı ürün geliştirme artık kaçınılmaz bir gerçektir [1].

Bu noktada 1980'li yılların ortalarında başlayan hızlı prototipleme çalışmaları artık üretimin her aşamasında hızla yer alarak 1990'lı yıllarda seçici lazer sinterlemesi SLS ve seçici lazer ergitme sistemleri gelişerek metal tozlarından direkt parça imalatına geçilmiştir. Bu bağlam içindeki teknolojiler önce prototip, daha sonra pilot parti üretiminde kullanıldıktan sonra; ürünü pazara daha da hızlı sokmak üzere, ağır üretim teçhizatının devreye alınmasına kadar seri üretimde de başarı ile kullanılmaktadır.

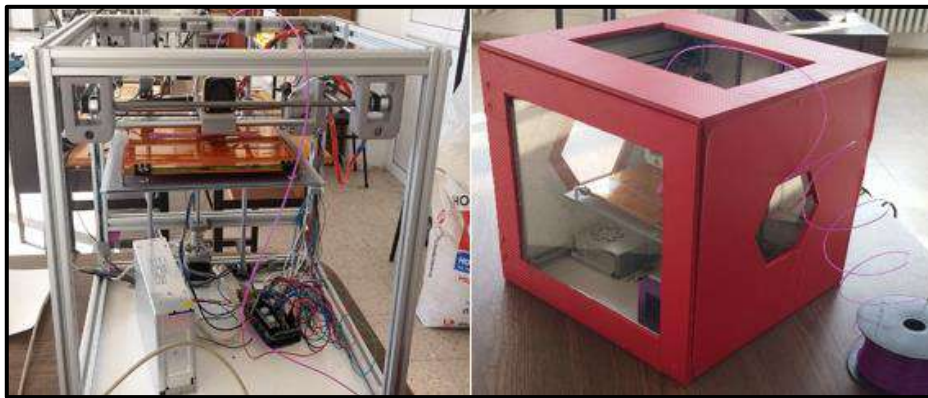
Hızlı direkt imalat sistemleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilen 3 boyutlu tasarımlardan, direkt olarak hedef parçayı ya da aparatı ürettiklerinden ürün geliştirme sürecine önemli bir katkı sağlamaktadırlar [2]. Hızlı imalat sistemlerinde sıklıkla kullanılan terimler Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Hızlı İmalat Sistemleri Terminolojisi [2].

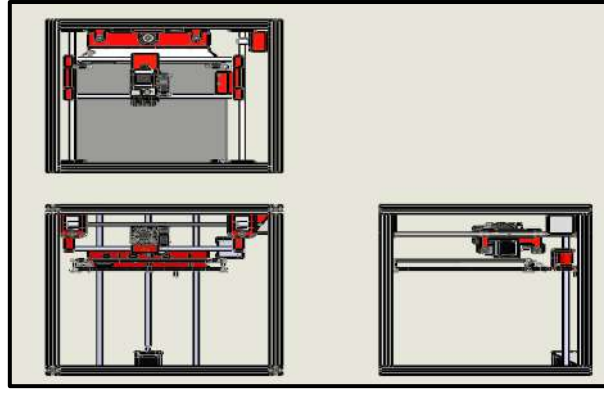
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada 3 Boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık durumda ve etrafı kapalı durumda, Power ABS filament kullanılarak deney numuneleri yazdırılmıştır. Yazdırılan bu numunelerin sertlikleri ölçülmüş ve numunelere çekme testi uygulanmıştır.

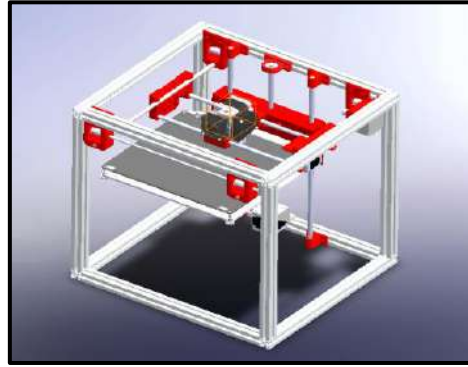


Şekil 2. Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık ve kapalı haldeki görüntüleri

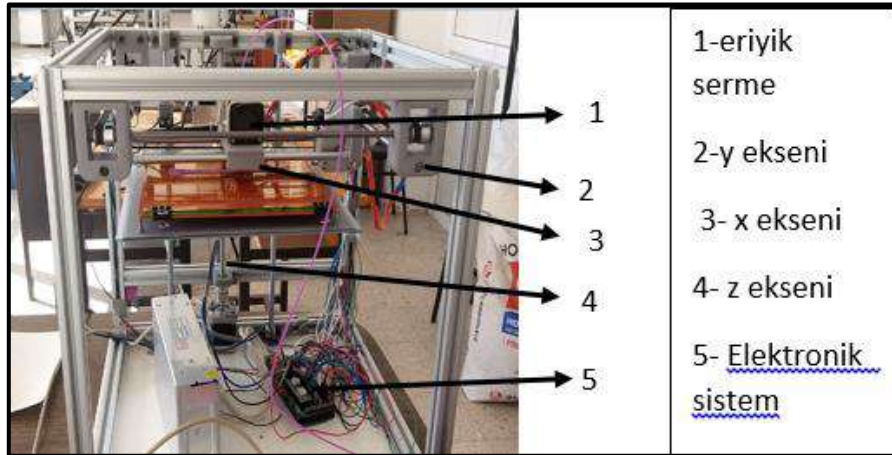
Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcı kartezyen tipi olup ısıtılmalı tablaya sahiptir. İskelet sistemi (x,y,z eksenleri), elektronik sistem ve eriyik serme (ekstruder) sisteminden oluşmaktadır. Geleneksel yöntemlerle üretilmiş üç boyutlu yazıcı SolidWorks 2015 programında modellenmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan 3 boyutlu yazıcının üç görünüşü.



Şekil 4. 3 boyutlu yazıcı modeli



Şekil 5. 3 boyutlu yazıcı kısımları

Yazıcı gövdesi sistemi motorların, millerin, vidaların, rulmanların, bağlantı elemanlarının ve diğer parçaların ağırlığını taşıyacak şekilde üretilmiştir. Bu sebeple yazıcı gövdesinde 12 adet 20x20x390 mm boyutunda sigmaprofiller kullanılmıştır (Şekil 5).

X ekseni üzerinde eriyik serme kafasını taşımaktadır. Bu eksen Y ekseni üzerine monte edilmiş olup x ekseni ile senkronize hareket etmesi sağlanmıştır. Bu eksen motor ve motor miline bağlanan kasnak ve bu kasnak ile çalışan kayış yardımıyla eriyik serme kafasının x ekseninde hareketi sağlanmaktadır. Eriyik serme kafası 2 adet indüksiyonlu mil üzerinde lineer rulmanlar yardımıyla hareket etmektedir.

Y ekseni hareketi motordan kayış kasnak ile aktarılır. Y ekseninde bulunan miller 3 boyutlu yazıcıda üretilmiş sabit yataklar ile sisteme yerleştirilmiştir.

Modelin yapıldığı tabla z ekseninde hareket etmektedir. Vidalı milin kaplin yardımıyla motora bağlanması ile hareket z eksenine aktarılır. Vidalı mil ile birlikte çalışan somun tabla taşıyıcı plakaya montaj edilmiştir. Sistemde ki vidalı milin haricinde 2 adet indüksiyonlu mil kullanılarak hareketin rijitliği sağlanmıştır. Bu

milller tabla taşıyıcı plakaya lineer rulmanlar ile yataklanmıştır. Eriyik serme kafasının görevi erimiş haldeki plastik malzemenin nozulun ucundan akışını sağlamaktır. Malzeme beslemesi için bir adet step motor kullanılmıştır. Eriyik serme kafasının gövdesine montajlanmış makara ve motor ucuna montajlanan dişli kasnak ile nozul ucuna 1.75 mm çapında ki plastik telin iletimi sağlanmıştır.

Üç boyutlu yazıcı için kontrol kartı, adım motoru, adım motoru sürücü devresi, ısıtıcı uç, ısıtıcı tabla gibi elektronik ekipmanlar kullanılmıştır.

Günümüzde kullanılan üç boyutlu yazıcıların kontrol kartları çoğunlukla Arduino'ya dayanmaktadır. Bu kontrol kartlarının en temel görevleri step motorları, ısıtıcı nozul ve ısıtıcı tablayı kontrol etmektir. RAMPs (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) elektronik kontrol kartı Arduino ek kartıdır. Üç boyutlu yazıcı için ihtiyaç duyulan tüm elektronik kontrol işlevini yerine getirmek için tasarlanmıştır [3].

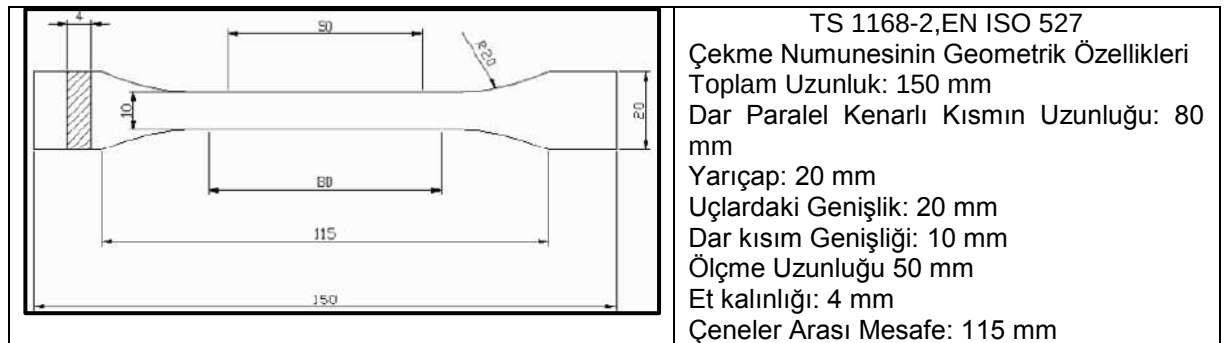
Üç eksenin kontrolü için birer adet, filament besleme kısmı için bir adet olmak üzere toplamda dört adet adım motoru kullanılmıştır. Adım motor sürücüsü üç boyutlu yazıcıda kullanılan adım motorlarının hareketini sağlamak üzere kullanılır [4].

Isıtıcı tabla baskı esnasında malzemenin yüzeye yapışmasını, çarpılmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. PLA malzeme için ısıtıcı zeminin kullanılması çok gerekmemekle birlikte ABS ve kompozit malzemenin baskısı esnasında mutlaka kullanılması gerekmektedir [3].

Çizelge 1. Kartezyen Tipi Üç Boyutlu Yazıcı Teknik Özellikleri

Tip	Kartezyen
Genel Boyut(XYZ)	400x400x360mm
Tabla Boyut(XYZ)	160x170x120mm
Nozzle	0.3 mm
Tahrik	XY Kayış-kasnak,Z M8 vida
Tabla ısıtması	Var
Filament	1.75 PLA/ABS/KOMPOZİT

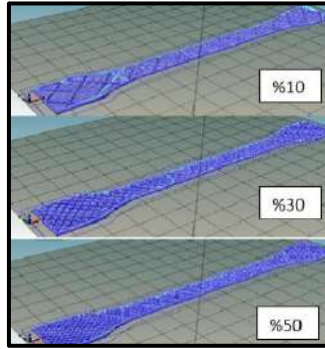
Deney numuneleri, yapılan 3 boyutlu yazıcıda üretilmiştir. Şekil 5'te belirtilen ölçülerde ki deney numunesi 3 boyutlu yazıcıda yazdırabilmesi için katı modeli Solidworks 2015 çizim programında oluşturulmuş ve Repetier Host programı kullanılarak yazdırma işlemi gerçekleştirildi. Power ABS plastik malzemeden %10, %30, %50 doluluk oranlarında açık ve kapalı durumda 18 adet deney numunesi yazdırılmıştır (Çizelge 2). Standart çekme numunesi boyutları ve baskıları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Çizelge 3'de yazdırma parametreleri verilmiştir.



Şekil 6. Standart Çekme Numunesi

Çizelge 2. Numune Kriterleri

	POWER ABS
%10	3 adet
%30	3 adet
%50	3 adet
	9 adet Power ABS
TOPLAM	9 Açık 9 Kapalı 18 Numune

**Şekil 7.** %10, %30, %50 doluluk oranlarında CuraEngine ile dilimlenmiş numuneler**Çizelge 3.** Yazdırma parametreleri

	POWER ABS
Tabla sıcaklığı	70°C
Ekstruder sıcaklığı	230°C
Doluluk oranı	%10 %30 %50
Katman kalınlığı	0,2 mm
Destek	Yok
Yazdırma süresi (1 adet)	%10 için: 24dk %30 için: 30 dk %50 için: 36dk
Kullanılan filament (1 adet)	%10 için: 553mm %30 için: 703mm %50 için: 853 mm

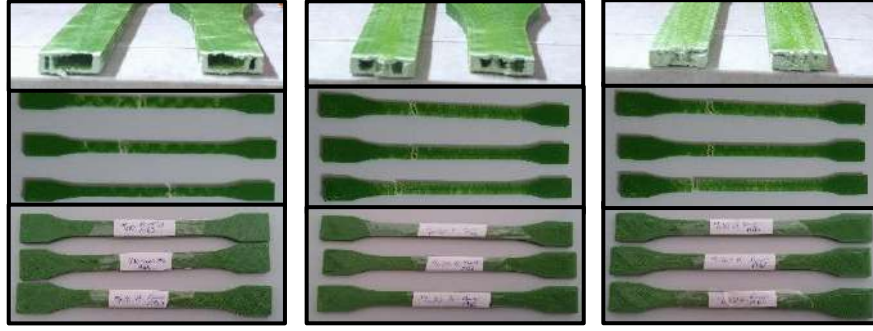
Power ABS; ABS ve PLA gibi diğer baskı malzemelerinde, baskı sırasında yaşanan kalkma, yüksek yoğunlukta çatlama, zemine yapışmama, köşelerde kıvrılma gibi sıkça rastlanan problemlere karşı çözüm olarak geliştirilmiş kompozit bir filamenttir. Erime sıcaklığı 235°C'dir. Tavsiye Edilen Kullanım ise yazdırma tablasının 80°C ye kadar ısıtılarak baskı işlemine başlanmasıdır [5].

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen deney numunelerinin çekme testleri ve shore sertlik ölçümleri yapıldı.

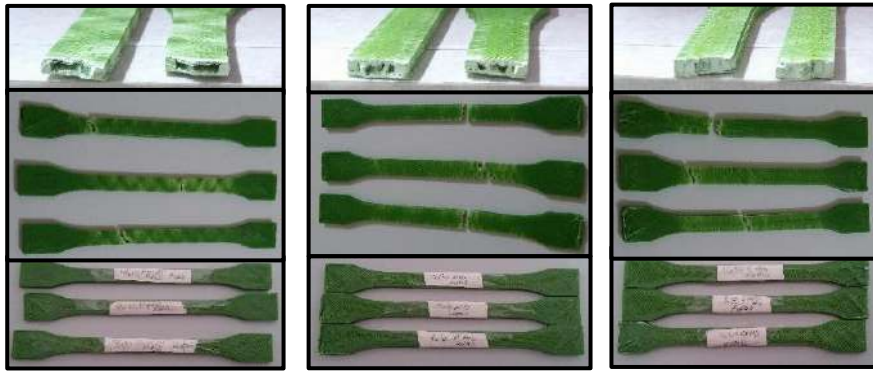
Çekme deneyi zwick/roel z050 marka test makinası ile yapılmış olup çekme hızı 10 mm/dak alınmıştır. Sertlik ölçümü için Shahe A Shore Dijital Durometer kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

18 numuneye uygulanan çekme deneyi sonucu deney çubuklarında meydana gelen kopmalar Şekil 8'de ve Şekil 9 'da verilmiştir.



Şekil 8. Açık sistem Power ABS numuneleri %10,%30,%50 doluluk oranları



Şekil 9. Kapalı sistem Power ABS numuneleri %10,%30,%50 doluluk oranları

Çizelge 4. Açık ve kapalı sistemde yazdırılan Power ABS numunelerinin sertlik değerleri

	Açık Sistem	Kapalı Sistem
	Ortalama Shore A	Ortalama Shore A
10%	89,66	74
30%	92,5	81,33
50%	92,33	89,66

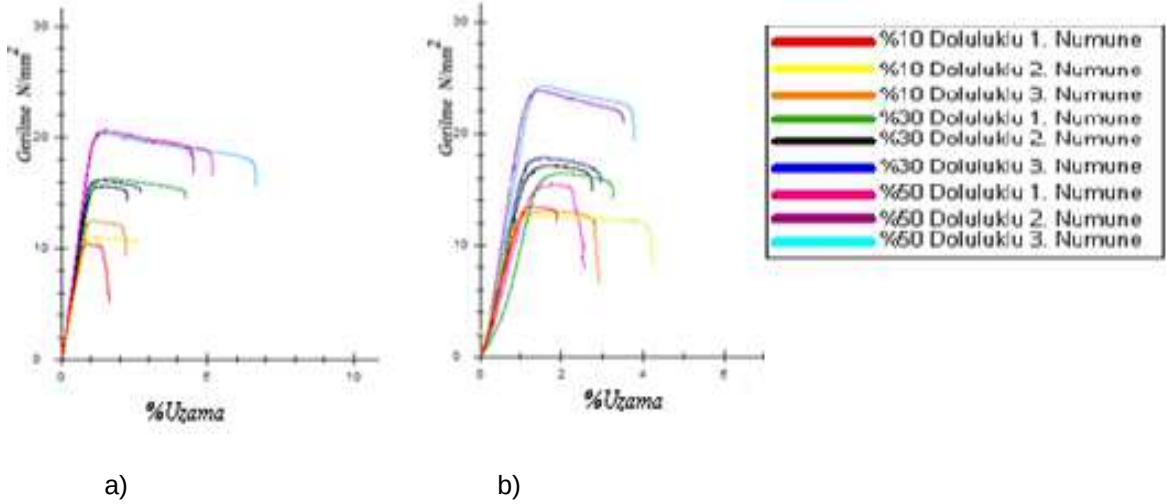
Açık sistemde, Power ABS plastikten basılmış deney çubuklarının çekme deneyi sonucu gösterdikleri direnç ve uzama sonuçları Çizelge 5'te gösterilmektedir. A kategorisine ait numuneler %10, B kategorisine ait numuneler %30, C kategorisine ait numuneler %50 doluluk oranında yazdırılmıştır.

Kapalı sistemde, Power ABS plastikten basılmış deney çubuklarının çekme deneyi sonucu gösterdikleri direnç ve uzama değerleri Çizelge 5'te gösterilmektedir. D kategorisine ait numuneler %10, E kategorisine ait numuneler %30, F kategorisine ait numuneler %50 doluluk oranında yazdırılmıştır.

Çizelge 5. Açık sistem ve kapalı sistemdeki Power ABS numunelerinin çekme deneyi sonuçları

Açık Sistem			Kapalı Sistem		
	Çekme Direnci	Uzama		Çekme Direnci	Uzama
	MPA	%		MPA	%
A1	12,96	0,92	D1	15,52	1,28
A2	12,91	0,95	D2	14,5	1,46
A3	14,34	1,05	D3	14,83	1,4
B1	18,16	1,66	E1	18,27	2,06
B2	17,56	1,38	E2	18,86	1,81
B3	17,99	1,33	E3	19,73	1,55

C1	22,43	1,51	F1	17,25	1,77
C2	22,47	1,45	F2	25,65	1,46
C3	22,22	1,45	F3	25,99	1,49



a) b)
Şekil 10. a)açık ve b)kapalı sistemde yazılan Power ABS numuneleriçekme eğrileri

4. Sonuç

Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcılardadoluluk oranlarının mekanik özelliklere etkisi,yazıcı sisteminin açık ve kapalı olma durumlarında elde edilen numunelere çekme deneyi ve sertlik ölçümü yapılarak incelenmiştir.Kapalı sistemde yazılan numunelerin açık sistemde yazılan numunelere nazaran sertlik değerinin daha düşük olduğu, çekme dirençlerinin ve % uzamalarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Farklı doluluk oranlarında elde edilen verilerde doluluk oranının arttıkça sertlik değerinin arttığı gözlenmiştir. Açık ve kapalı sistemde, Power ABS filament kullanılarak 3 farklı doluluk oranındaüretilen numunelerin çekme direncinde ortalama %6 artış olduğu görülmüştür.

Referanslar

1. Delikanlı K.,SofuM.M., Bekci U., Üretim Sektöründe Hızlı Direkt İmalat Sistemlerinin Yeri Ve Önemi , Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi,vol. 4, sf. 33-39, 2005
2. Burghilde M.W.,ToutaouiandHans W.G.,Rapidprototypingtechnology-newpotentialsforoffshoreandabyssalengeneering, 2003-jsc-314
3. Çelik D., Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi Ve Tersine Mühendislik Uygulamaları,
4. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*(2015)
5. Çavdar F. , Filiz H. , Dogan C., Bir Hızlı PrototiplemeMakiNesi Tasarımı; *Timak-Tasarım _Malat Analiz Kongresi,- Balıkesir*,317-325
6. Sigma 3d Printer,“Power ABS filament”,<http://www.sigma3dprinter.com/ar-ge.html?product id=62>,(2016)

3B YAZICI İŞLEM PARAMETRELERİNİN İŞLEVSEL ÜRÜNLERİN DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

¹Cevdet GÖLOĞLU ve ²Emir Ömer AKBAŞ

¹Karabük Üniversitesi, 78050 Karabük, E-posta: cgologlu@karabuk.edu.tr

²TÜBİTAK SAGE, 06261 Ankara, E-posta: emir.akbas@tubitak.gov.tr

Özet

Bu çalışmada, 3B yazıcı parametrelerinin ABS-M30 malzemesinden üretilen işlevsel ürünlerin akma ve çekme mukavemetlerinin üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı üretim parametreleri (inşa açısı, çevre derinliği, inşa genişliği) dikkate alınarak üretilen deney numuneleri ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur. Büyük çevre derinliği ve inşa genişliği değerlerine göre üretilen numunelerde akma ve çekme mukavemet değerleri büyük çıkmıştır. Çekme uzaması ise çevre derinliği ve inşa genişliği değerlerinin küçük olduğu numunelerde saptanmıştır. İşlevsel ürünlerin üretilmesi için elde edilen veriler uygun bilgiler içermektedir.

Anahtar kelimeler: 3B yazıcı işlem parametreleri, ABS-M30, Çekme testi.

INVESTIGATION OF 3D PRINTER PROCESS PARAMETERSEFFECTS ON FUNCTIONAL PRODUCTS STRENGTH

Abstract

In this study, the effects of 3D printer parameters on functional products strength is aimed to investigate for the functional products produced from ABS-M30. By taking various raster angle, depth of contours, and contour width parameters into account the specimens are subjected to ASTM D638.05/2008 tensile test. The larger values of depth of contours and contour width result in larger yield and tensile strength values. The values of tensile elongation is obtained at the specimens that their depth of contours and contour width values are smaller. The results give information for the production of functional products.

Key words: 3D printer process parameters, ABS-M30, Tensile test.

1. Giriş

Hızlı Prototipleme makineleri, STL(STereoLithography) formatını kullanarak 3B modelleri ürüne dönüştürme işlemi yapmaktadırlar. Bu makinelerde çok çeşitli termoplastik malzemeler kullanılmakta olup, tabandan başlayarak katman katman 2B yüzeyleri üst üste ekleyerek 3B nesneler genellikle ürün geliştirme işlemlerinde kullanılmaktadır [1]. Kavramsal modelleme ve fonksiyonel prototipimalat için ABS-M30 malzeme, yüksek gerilme, darbe ve eğilme mukavemeti sayesinde son kullanım için yüksek kaliteli, güçlü ve dayanıklı bir termoplastik malzemedir. Doğal (fildişi), beyaz, siyah, koyu gri, kırmızı ve mavi renkleri bulunan ABS-M30 malzemesinin ek olarak özel renkler için seçeneği de bulunmaktadır.

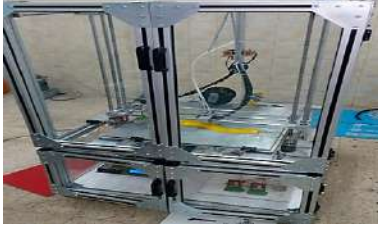
Bu çalışmada 3BBDT modelini STL dosya formatında okuyan, dilimleme ve takım yolu hesaplama işlemlerini gerçekleştiren Insight yazılımı kullanılarak, ABS-M30 malzemesinden üretilen bir çekme deney numunesinin farklı üretim parametreleri(örme yapı çeşitleri vb.) kullanılarak üretilmesi ve malzemenin dayanımlarının artırılması ve kıyaslanması hedeflenmiştir.

2. Örme Yapı Çeşitleri

Tasarımı yapılan çekme numunesi modellerin dayanım ve maliyet etkilerine göre temel üç farklı çeşitte örme yöntemi geliştirilmiştir. Örme yapı çeşidinin doğru seçilmesi malzemenin örme süresini, sar edilen malzemenin miktarını ve ürün maliyetini doğrudan etkilemektedir. Hızlı prototipleme yöntemi ile bir nesneyi inşa etmek için kullanılan yapı tiplerini üç temel başlık altında toplayabiliriz. Bunlar, Tek Yönlü Yapı (Sparse), Çift Yönlü Yapı (DoubleSparse) ve Sık Tek Yönlü Yapı (Solid Normal) şeklindedir [2].

2.1. Tek Yönlü Yapı (Sparse) İnşa Yöntemi

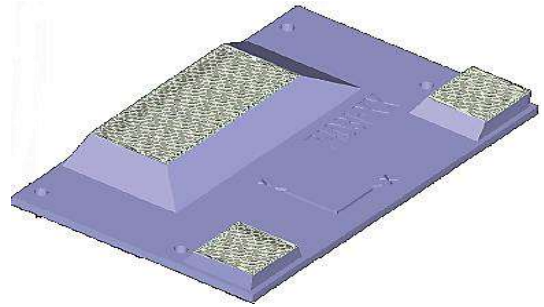
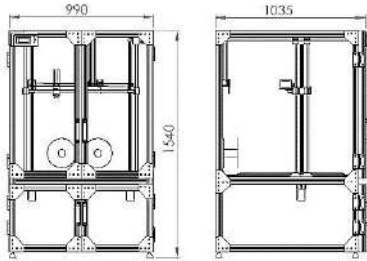
Bu inşa yönteminde, modelin dış katmanın çevresel bir döngü ile geçilmekte ve yapı inşasında tek yönde gerçekleştirilmektedir. Yapısal sertlik olarak kafes sisteminin içi boş olduğundan dolayı bu inşa yöntemi diğer inşa yöntemlerine nazaran zayıftır. Nesnenin içinin boşluklu olmasından dolayı, ürün hafif olmakta, modelin inşası için kullanılan malzeme miktarının düşük olmakta ve inşa süresi kısa olmaktadır. Dolayısıyla bu yapı çeşidi diğer yapılara göre dayanıksız, fakat maliyet açısından en ucuz inşa yöntemi olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Tek Yönlü Yapı (Sparse, SP) inşa yöntemi [2]

2.2. Çift Yönlü Yapı (DoubleSparse) İnşa Yöntemi

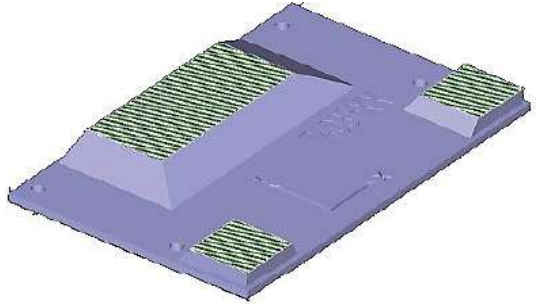
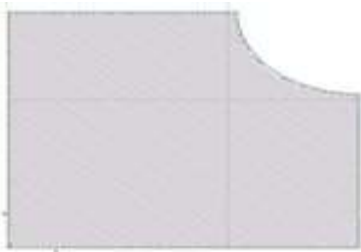
Bu inşa yönteminde modelin dış katmanının çift döngüde geçilmekte ve yapı inşası çift yönde tamamlanmaktadır. Tamamlanan yapı, tek yönlü yapıya göre daha dayanıklı olmakta, kullanılan malzeme daha fazla olduğundan ve inşa süresinin tek yönlü yapıya göre daha uzun olması maliyet açısından da bir masraf getirmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çift Yönlü Yapı (DoubleSparse, DS) İnşa Yöntemi [2]

2.3. Sık Tek Yönlü Yapı (Solid Normal) İnşa Yöntemi

Bu inşa yönteminde ise modelin dış katmanından çevresel olarak tek döngüde geçilmekte ve yapı inşası daha sık bir yapıdan oluşmaktadır. Yapının dayanımı diğer yöntemlere göre en yüksek seviyede olmakla beraber, yapının inşasında kullanılan malzeme dikkate alındığında sarf artmakta, inşa süresi uzamakta ve maliyet açısından en pahalı yöntem olma özelliğindedir (Şekil 3).



Şekil 3. Sık Tek Yönlü Yapı (Solid Normal, SN) İnşa Yöntemi [2]

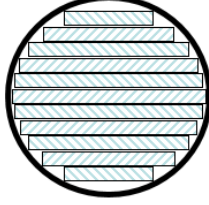
3. İnşa Açısı

Model inşasına etki eden diğer bir etmen ise inşa açısıdır. İnşa açıları 90° , 60° , 45° , 30° , 15° , 0° , -15° , -30° , -45° , -60° , -90° olarak belirlenmez. Çalışma kapsamında kullanılan Insight yazılımı [3] üzerinden tanımlanan inşa açısında (rasterangle) 30° , 60° , 90° kullanılmıştır. İnşa açısı bu açıların seçilmesinin sebepleri; en çok kullanılan inşa açıları olmaları, yapılan ön deneyler sonucunda inşa işleminde model üretimlerinde en etkili sonuçları vermeleri ve dayanım yönünden modele olumlu sonuçlarının bulunmasıdır.

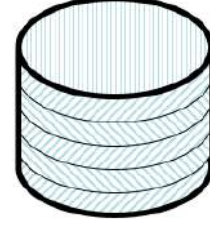
4. STL Konumlama

Üretimi yapılacak parçanın kullanım durumuna göre parçanın tezgâh üzerinde uygun konumlanması gerekmektedir. Parça konumlanırken, elde edilecek ürünün estetiği, dayanıklılığı, üretim süresi, gerekli

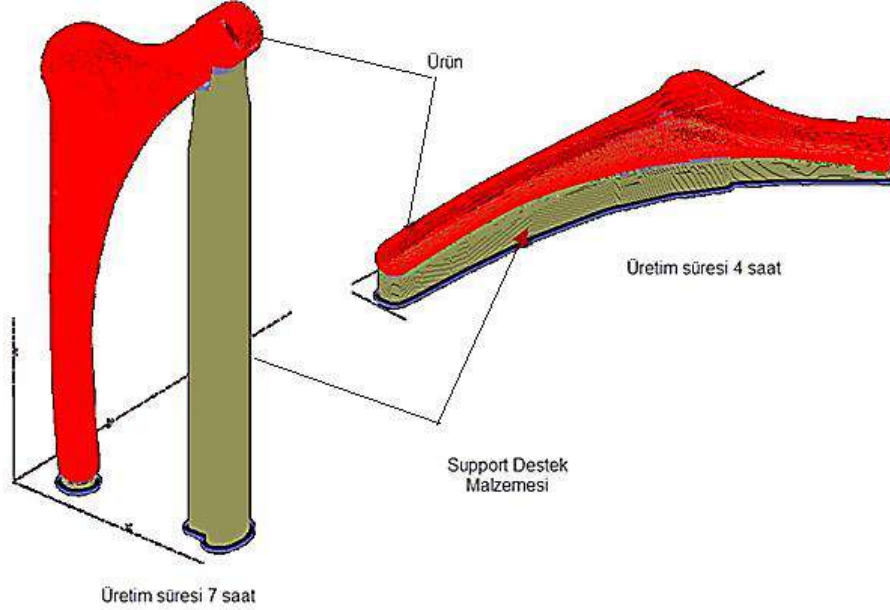
asgari destek malzemesi ölçütleri dikkate alınmalıdır (Şekil 4-5). Üretimi yapılacak parçanın üretim tablasına konumlama şekline göre parçanın üretim süresi değişmekte, doğru seçilmeyen bir örme yöntemi ile parçanın dayanıklılığı ve estetik görünümünde farklılıklar oluşmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi parça dik olarak üretim tablasına konumlandığında yedi saat gibi bir üretim süresi gerekmekte ve destek malzemesi oranı artmaktadır. Şekil 6'da gösterildiği gibi parçanın üretim tablasına yatay olarak konumlandırılması neticesinde hem üretim süresi, hem de kullanılan destek malzemesi oranları azalmaktadır.



Şekil 4. Yanlış konumlama sonucu bozuk yüzey kalitesi [4]



Şekil 5. Doğru konumlama sonucu üstün yüzey kalitesi[4]



Şekil 6. Farklı konumlama sonucu gerekli destek malzemeleri ve üretim süreleri [4]

5. Deneysel Çalışma

Çalışmada FDM 360mc tezgâhı kullanılarak farklı işlem parametre değerleri ile ABS M30 termoplastik malzemenin mukavemetinin artırılması araştırılması amaçlanmıştır. FDM 360mc tezgâhın genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir [5]. Çizelge 2, 3 ve 4'de ise ABS M30 malzemenin sırasıyla mekanik, termal ve elektriksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1 FDM 360mc Tezgâh Özellikleri

Üretim boyutları	355×254×254 mm
Kullandığı malzeme	ABS M30
Kullanılan Uç Tipi	T10 - T12 - T16 - T20
Destek malzeme	SR-30 SolubleSupport
Malzeme Kartuşu	1510 cc. (Canister)
Kullanılan yazılım	Insight
Sistem boyutları	1277×874×1950 mm
Ağırlık	726 kg

Çizelge 2 ABS M30 Mekanik Özellikleri

Mekanik Özellikler	Test Yöntemi	İngiliz	Metrik
Çekme Gerilmesi (Tip 1, 0.125", 0.2"/dak)	ASTM D638	5,200 psi	36 MPa
Çekme Modülü (Tip 1, 0.125", 0.2"/dak)	ASTM D638	350,000 psi	2,400 MPa
Çekme Uzaması (Tip 1, 0.125", 0.2"/dak)	ASTM D638	4%	4%
Eğilme Gerilmesi (Yöntem 1, 0.05"/dak)	ASTM D790	8,800 psi	61 MPa

Eğilme Modülü (Yöntem 1, 0.05"/dak)	ASTM D790	336,000 psi	2,300 Mpa
IZOD Darbe, çentikli (Yöntem A, 23°C)	ASTM D256	2.6 ft-lb/in	139 J/m
IZOD Darbe, çentiksiz (Yöntem A, 23°C)	ASTM D256	5.3 ft-lb/in	283 J/m

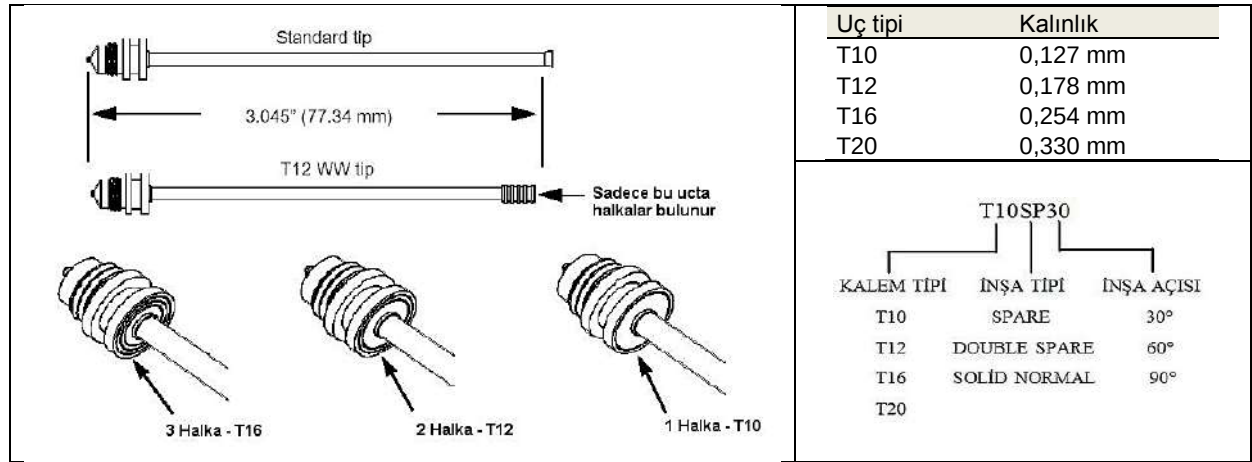
Çizelge 3 ABS M30 Termal Özellikleri

Termal Özellikler	Test Yöntemi	İngiliz	Metrik
HeatDeflection (HDT) @ 66 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	204°F	96°C
HeatDeflection (HDT) @ 264 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	180°F	82°C
VicatSofteningTemperature (Rate B/50)	ASTM D1525	210°F	99°C
GlassTransition (Tg)	DSC (SSYS)	226°F	108°C
Coefficient of Thermal Expansion (flow)	ASTM E831	4.9E-05 in/in/°F	8.82E-05 mm/mm/°C
Coefficient of Thermal Expansion (xflow)	ASTM E831	4.7E-05 in/in/°F	8.46E-05 mm/mm/°C
Melt Point	-	Not Applicable	Not Applicable

Çizelge 4 ABS M30 Elektriksel Özellikleri

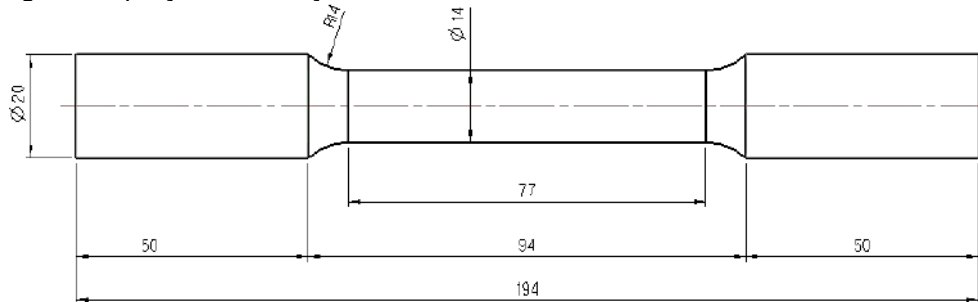
Elektriksel Özellikleri	Test Yöntemi	Değer Aralığı
Volume Resistivity	ASTM D257	4.0×10e14 - 5.0×10e13 ohms
DielectricConstant	ASTM D150-98	2.9 - 2.7
DissipationFactor	ASTM D150-98	0.0052 - 0.0049
DielectricStrength	ASTM D149-09, Method A	370 - 71 V/mil

İlgili çekme numunesi ürünün üretilmesinde farklı uç çeşitleri sunulmaktadır. Uçların çeşitleri ve özellikleri sırasıyla Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Uçların örnek gösterim şekli ve uç katman kalınlıkları[3]

Deneyde T16 uç ile 0,254 mm katman kalınlığı ile çift yönlü yapı inşaatı tipi kullanılarak 30° ve 60° inşaat açısı (rasterangle) ile ABS M30 malzemesinin çekme mukavemetinin artırılması araştırılmıştır. NX 7.5BDT yazılımında modellen parça, STL formatına dönüştürülmüştür (Şekil 8-9). Insight7.0 yazılımında Çizelge 5'de verilen parametre değerleri girilerek parça dilimlenmiş, takım yolları çıkarılıp FDM 360mc tezgahında parçalar üretilmiştir.



Şekil 8. Test numunesi boyutları



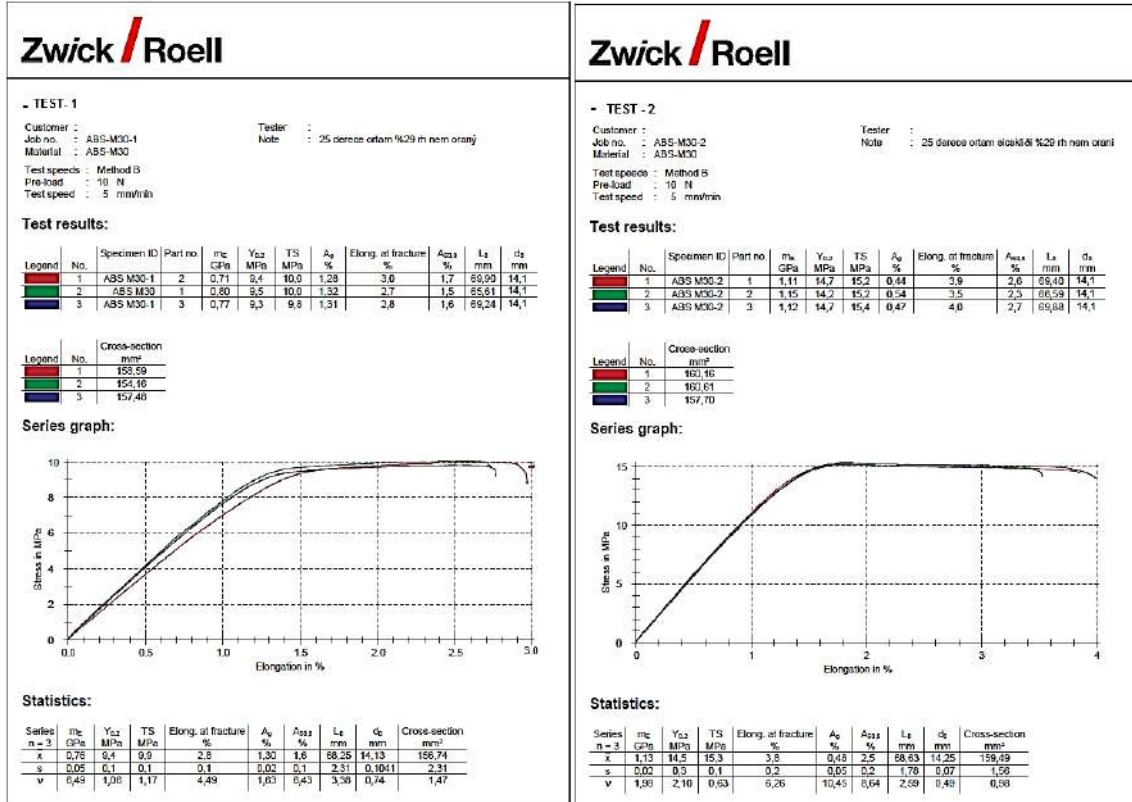
Şekil 9. Test numunesi STL dilimleme

Çizelge 5 Deney parametreleri

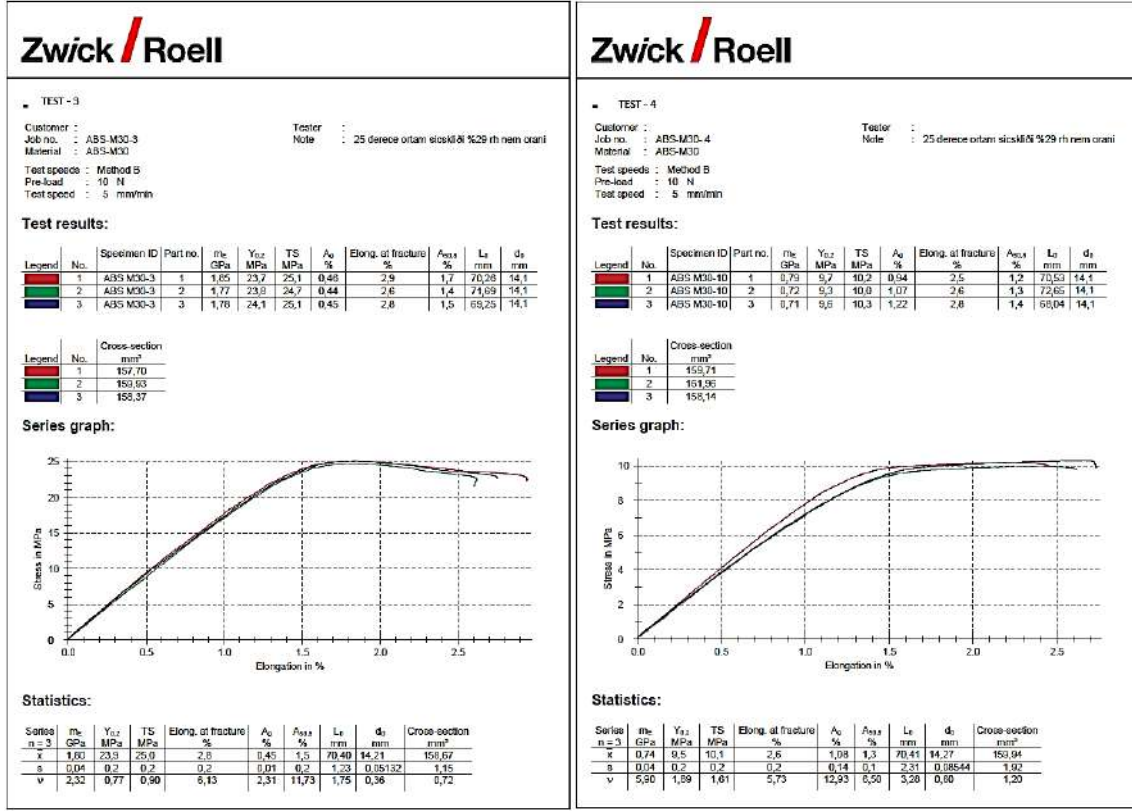
Deney No	İnşa açısı [°] (Rasterangle)	Çevre derinliği [mm] (Depth of contours)	İnşa genişliği [mm] (Contourwidth)
1	30	0,016	0,016
2	30	0,08	0,024
3	30	0,024	0,032
4	60	0,016	0,016
5	60	0,08	0,024
6	60	0,024	0,032

Sabitler:
 Malzeme : ABS M30
 Uç çeşidi : T16
 Doldurma çevre genişliği : 0,016 mm.
 Parça doldurma tarzı : Çevre (contour) – derinlik (depth)
 Parça iç tarz : Çift Yönlü Yapı (Sparsedouble dense)
 Parça iç derinlik : 0
 Parça çift yön katı katmanları : 3

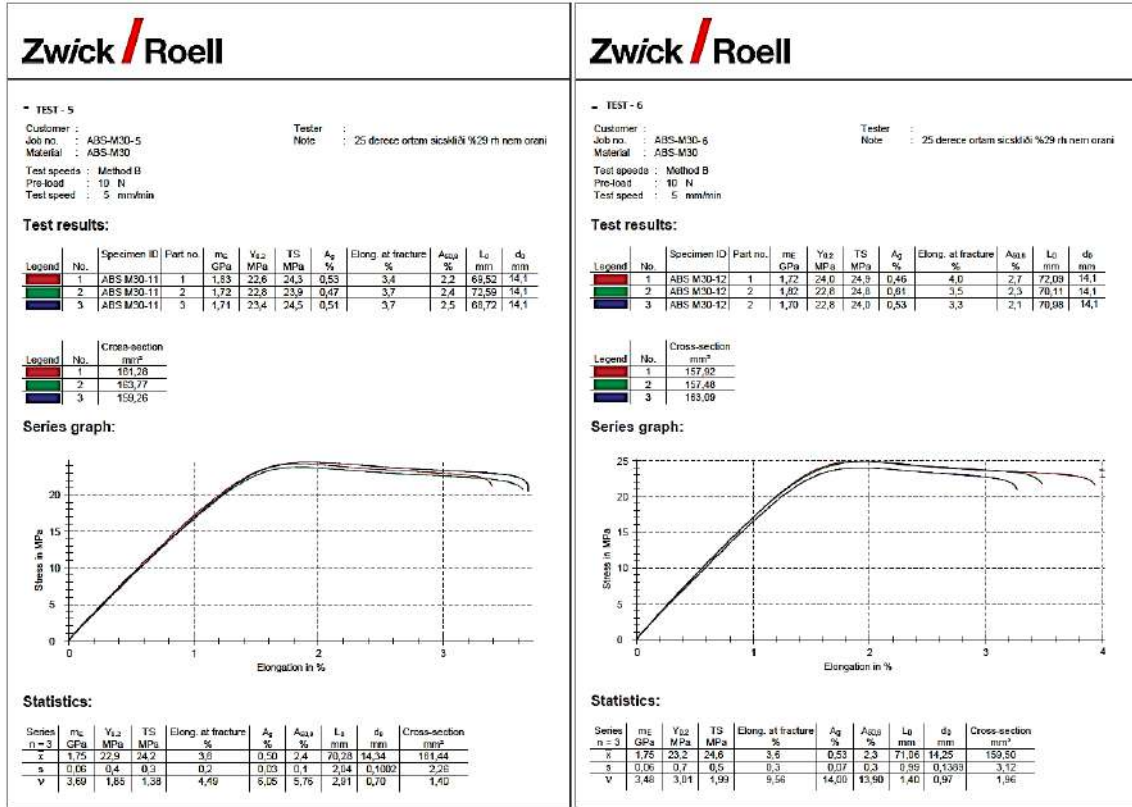
Tamamlanan her bir deneye ait üçer numune, toplamda 18 ayrı deney numunesi Zwick/Roell marka çekme tezgâhında, plastik malzemelerin çekme deneyi olan ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur. Numunelerin çekme testi grafikleri Şekil 10, 11 ve 12’de gösterilmektedir. Çekme testi sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir.



Şekil 10. Deney No 1 ve Deney No 2 çekme testi deney sonuçları



Şekil 11. Deney No 3 ve Deney No 4 çekme testi deney sonuçları



Şekil 12. Deney No 5 ve Deney No 6 çekme testi deney sonuçları

Çizelge 6. Çekme testi deneyi sonuç ortalamaları (her bir deney için üçer adet numune için)

Deney No	Elastik Modül, mE [GPa]	Akma Mukavemeti, 0.2 [MPa]	Çekme Mukavemeti, TS [MPa]	Çekme Uzaması, Ag [%]	Kırılma anındaki uzama [%]	Toplam Uzama, A50.8 [%]	Çekme Aralığı boy, Lo [mm]	Malzeme Çapı, Do [mm]
1	0,76	9,40	9,93	1,30	2,83	1,60	68,25	14,1
2	1,13	14,53	15,26	0,48	3,80	2,53	68,62	14,1
3	1,80	23,86	24,96	0,45	2,76	1,53	70,40	14,1
4	0,74	9,53	10,16	1,07	2,63	1,30	70,40	14,1
5	1,75	22,93	24,23	0,50	3,60	2,36	70,27	14,1
6	1,74	23,20	24,56	0,53	3,60	2,36	71,06	14,1

Yukardaki çizelgedeki bulunan dokuz farklı deneye ait akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, en yüksek akma mukavemetinin ve çekme mukavemetinin Deney No 3'de sırasıyla 23,86 MPa ve 24,96 MPa olduğu görülmektedir. Bu sonuç, inşa açısının 30° olduğunda, çevre derinliğinin 0,024 mm ve inşa genişliğinin 0,032 olduğu zaman elde edilmiştir. Aynı çevre derinliği ve inşa genişliğinin kullanıldığı diğer bir deney olan Deney No 6'da inşa açısı 60° dir ve bu parametrede akma ve çekme mukavemeti ölçüm sonuçları sırasıyla %3 ve %2 civarında daha küçük çıkmıştır. Bunun nedeni olarak alan doldurulurken daha dar açıda çevreye bağlanması yapılabılır. Doğal olarak, çevre genişliği ve inşa genişliği parametrelerinin 0,016 mm olduğu deneylerde, akma ve çekme mukavemet değerleri 9-10 MPa seviyelerinde çıkmıştır. Buna karşın, çekme uzamasının yüksek olduğu deneyler olan Deney No 1 ve Deney No 2'de (çevre derinliği ve inşa genişliği 1/3 ve 1/2 daha küçük) sırasıyla üç ve iki kat daha büyük çekme uzaması değerleri elde edilmiştir.

6. Sonuç

Bu çalışmada, 3D yazıcı parametrelerinin ABS-M30 malzemesinden üretilen işlevsel ürünlerin akma ve çekme mukavemetlerinin üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Insight yazılımı ile farklı üretim parametreleri (inşa açısı, çevre derinliği, inşa genişliği) dikkate alınarak üretilen 18 adet çekme deney numunesi Zwick/Roell marka çekme tezgâhında, plastik malzemelerin çekme deneyi olan ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur.

Gerçekleştirilen dokuz farklı deneyde farklı inşa açısı, çevre derinliği, inşa genişliği koşullarında veriler elde edilmiştir. Büyük çevre derinliği ve inşa genişliği değerlerine göre üretilen numunelerde akma ve çekme mukavemet değerleri büyük çıkmıştır. Çekme uzaması ise çevre derinliği ve inşa genişliği değerlerinin küçük olduğu numunelerde saptanmıştır. İşlevsel ürünlerin üretilmesi için elde edilen veriler uygun bilgiler içermektedir.

Referanslar

1. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M.C., Duysak, A., Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 31, 53-70, 2013.
2. Technical Application Guide: FDM for Jigs and Fixtures, Stratasys, USA, 2013.
3. Insight 3D Printing Software, http://www.smg3d.co.uk/3d_scanners/insight_software (Erişim: Nisan 2016).
4. FDM 360mc ile 3D üretim Yöntemleri, Info(+)tron, İstanbul, 2014.
5. Fortus 380mc, Stratasys, <http://www.stratasys.com/3d-printers/production-series/fortus-380-450mc> (Erişim: Nisan 2016).

3B YAZICIDA FARKLI BASKI YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN ÇIKTILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Halil İbrahim DEMİRCİ, Şükrü ŞEN, Buğra SEKBAN

Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, End. Tas.Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, hdemirci@kbu.edu.tr
Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., End. Tas.Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, sukrusen.kbu@gmail.com
Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., End. Tas.Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, bugrasekban@hotmail.com

Özet

3B yazıcı teknolojisinin dünyada hızlı bir şekilde yayılması ve kullanım alanlarının artması nedeni ile üretilen parçalarda kullanım yerine yönelik beklentiler artmaktadır. Katman katman baskı yaparak dijital veriden 3 boyutlu nesneler üreten ve bir devrim niteliğinde olan bu yöntem takı sektöründen mimarlık, tıp, endüstriyel tasarım ve eğitime kadar birçok alanda kullanılabilir. Ayrıca, zaman ve maliyetten tasarrufun yanında farklı baskı kaliteleri ile hafiflik sağlanmaktadır.

Bu çalışmada malzeme doldurma yönü 45° seçilerek, farklı doluluk oranlarında % 60, % 80 ve farklı doldurma stillerinde (honeycomb, rectilinear, line) üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için çekme ve eğme deneyi yapılmıştır. Doluluk oranı ve farklı doldurma stillerinin ABS ve PLA malzemeleri üzerindeki etkileri incelenerek ortaya konulmuştur. Ayrıca yüzey pürüzlülük değerleri incelenerek sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PLA, ABS, Infill, Çekme Deneyi, Eğme deneyi, Yüzey pürüzlülüğü

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF PRINT-OUTS MANUFACTURED USING DIFFERENT PRINTING METHODS ON 3D PRINTER

Abstract

3D printers is increasing quickly in the world. Because expectations of use of the parts produced by 3D printers is growing. This revolutionary method for manufacturing that produce 3D models from digital data by printing layer by layer. It can be used in a variety of industries including jewelry, footwear, industrial design, architecture, medical industries and education. In addition this technology saves time, cost and lightness.

This research investigated that the effects of in fill ratio (chosen 60% and 80%), in fill patterns and different materials on print-out strength. The tensile and bending tests performed to obtain in fill ratio, in fill patterns and their effects on ABS and PLA materials. This work revealed that the in fill ratio have significant impact on tensile and bending strengths. So, in fill pattern does have an effect on tensile and bending strengths. Also, surface roughness was investigated to find good printing parameters.

Anahtar Kelimeler: PLA, ABS, Infill ratio, Tensile and Bending test, Surface roughness.

1. Giriş

3B yazıcı teknolojisinin hızla gelişmesi ve birçok alanda tercih edilmesi ile bu teknolojiye beklentiler artmış ve kullanım yerine göre parça üretilmesi istenir hale gelmiştir. FDM (Fused Deposition Modelling) teknolojisi ile çalışan 3B yazıcı ile üretim bugün, sanayiden medikale, mimariden moda'ya pek çok alana yayılmış bulunmaktadır [1]. Kullanım alanına göre ürünlerde pürüzlülük, hafiflik, dayanıklılık, maliyet gibi istekler ortaya çıkmıştır. 3B yazıcıların üretim parametrelerinin ürün kalitesine etki ettiği birçok literatür araştırmasında belirtilmekte ve parametrelerin geliştirilerek ürün kalitesi bakımından daha iyi sonuç alınabileceği, beklentilerin karşılanabileceği görülmektedir [2,3,4]. Ürün kalitesine etki eden faktörler doluluk oranı, kabuk sayısı, katman kalınlığı, extruder sıcaklığı, baskı hızı, baskı stili ve malzeme türüdür. Kullanım yeri, ne şekilde kullanılacağı bilirse hedeflenen ve kullanılacak alan doğrultusunda bir ürün elde etmek kolaylaşacaktır. Daha iyi malzemelerin geliştirilmesi ile 3 boyutlu yazıcılarla üretim özellikle hafiflik açısından daha avantajlı ve ekonomik olacaktır.

Anoop Kumar Sood ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada FDM teknolojisinin karmaşık yüzeylerin üretiminde kullanılan bir teknoloji olduğunu açıklamışlardır. Bu teknoloji ile inşa edilen bölümlerin kalitesini araştırmışlar, tabaka kalınlığı, doldurma açısı, doldurma genişliği ve malzeme yapısından oluşmak üzere 5 önemli süreç parametresi göz önüne almışlardır. Bu parametrelerin gerilim, burulma ve çarpmaya

dayanıklılık gibi etkilerini incelemişlerdir [2]. Wang ve diğ. malzeme üretiminde doluluk stillerini değiştirmiş ve iç hacmi azaltarak ürün maliyetini düşürmüştür [3]. Wilson yaptığı çalışmada birden fazla doluluk stilleri ile üretilen parçaların gerilme dağılımlarını incelemiş ve hücrelerin yoğunluğuna göre gerilme dağılımlarının değiştiğini gözlemlemiştir [4].

Bu çalışmada PLA ve ABS malzemelerinden farklı doldurma stilleri ile imal edilen deneysel numuneler çekme ve eğme testinden geçirilmiş, mukavemet açısından değerlendirilerek kullanıcılara sunulması hedeflenmiştir. Çekme ve eğme deneyi, tahribatlı muayene yöntemleri ile malzemelerin çekmeye ve eğmeye karşı göstereceği direnci ve dayanımı belirlemek için kullanılan önemli bir muayene yöntemidir. Bu tür muayene yöntemlerinden elde edilen veriler mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılmaktadır [5]. Parça malzemesinin ve üretim parametrelerinin değişmesi mukavemet ile birlikte ürünün yüzey kalitesine de etki etmektedir. Malzemenin ve içyapı stillerinin değişmesi ürünün soğuma zamanına göre yüzey kalitesini de etkilemektedir. Bu bağlamda yüzey pürüzlülük faktörü de ele alınmış ve deneysel çalışmalarda sonucu ortaya konulmuştur.

3. Deneysel Çalışma

2.1. Malzeme

PLA veya Poliaktik Asit bio bazlı materyallerden çıkarılan dekstroz (şeker)'den ve bitki bazlı (genellikle mısır, soya tohumu, vb.) yapılmaktadır. PLA, belli koşullar altında biyolojik olarak ayrıştırılabilir. Bu ürünler, ısısı 70°C veya daha yüksek ve nem oranı minimum % 70 RH olan kontrolü yapılabilen endüstriyel tesislerde üretilmektedir. Materyal, higroskopik olup çoğu durumda dönüştürme öncesi önkurumaya ihtiyaç duymaktadır.

Tüm sınıflar, biyolojik olarak tamamen çözünebilirlik sertifikasına (EN12342) sahiptir [6]. PLA malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. PLA malzemenin mekanik özellikleri [7-8].

Yoğunluk	1.210–1.430 g·cm ⁻³
Elastik modülü	194 Mpa
Çekme Dayanımı	11.9 Mpa
Akma Dayanımı	2,7-16 Gpa
Kopma uzaması	%37
Erime Sıcaklığı	173-178 ° C

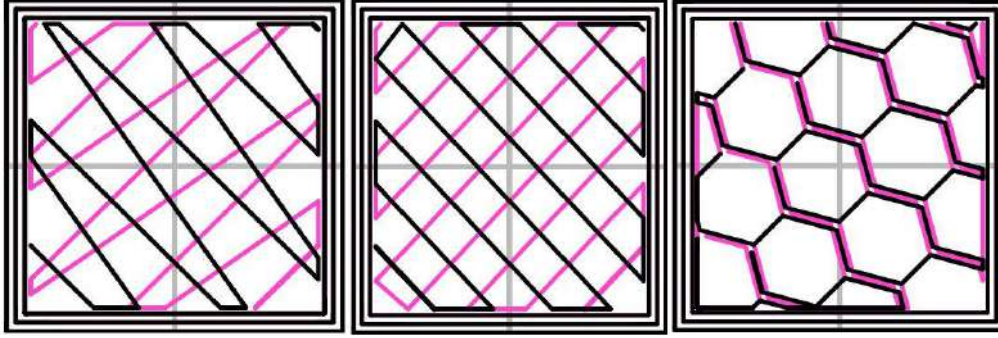
ABS malzeme polibütadien içinde stiren ve akrilonitril polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. İçerdiği madde oranları 15% - 35% arası akrilonitril, 5% - 30% arası butadien ve 40% - 60% arası stiren olarak değişiklik göstermektedir. Stiren plastiğe parlaklık ve iyi yüzey verir. Bütadien, kauçuk özelliklerini, düşük sıcaklıkta esnek olabilmeyi sağlar. ABS, -25 °C ve 60 °C arasında kullanılabilir [9]. ABS malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. ABS malzemenin mekanik özellikleri [10].

Yoğunluk	1.02-1.06 gr/cm ³
Elastik modülü	2660-3150 Mpa
Çekme Dayanımı	68 Mpa
Akma Dayanımı	42.5 Mpa
Kopma uzaması	%45
Kullanım sıcaklığı	60° C

2.2 Çekme ve Eğme Numuneleri

3 boyutlu yazıcılarda üretilen numunelerde yükün etki yönü ile yazıcının baskı yönü arasında dayanım açısından önemli bir etki bulunmaktadır [11]. Bu nedenle farklı doluluk oranları ve stilleri seçilerek çekme ve eğme numuneleri hazırlanmıştır. Açık kaynak kodlu olarak üretilmiş 3B yazıcıda ASTM D638 standartlarına göre çekme numunelerini, ASTM D790'a göre ise eğme numuneleri, PLA ve ABS malzemeden Şekil 1'de görüldüğü gibi farklı doluluk stillerinde üretilmiştir [12].



Şekil 1. a) LineStili b)Rectilinier Stili c)Honeycomb Stili

Üretilen numunelerin malzemesi, doluluk oranları, yazdırma türleri ve adeti Çizelge 3’de belirtilmektedir. Çekme ve eğme numunelerinin üretimi için kullanılan parametrelerde yazdırma hızı 40 mm/sn, katman yüksekliği 0,3 mm, extruder sıcaklığı PLA ve ABS için 230 °C, kabuk kalınlığı ise 2 olarak girilmiştir.

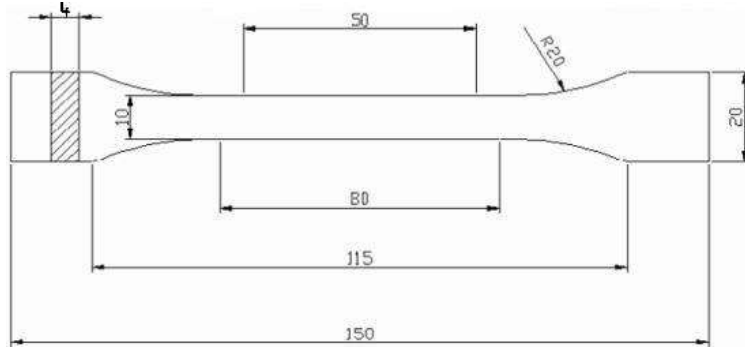
Çizelge 3. Çekme ve Eğme numune bilgileri

Dolgu Stili	ABS	PLA	Doluluk Oranı	Miktar (mm)	Numune Sayısı
Honeycomb		x	%60	2653	7
Honeycomb	x		%60	2844	7
Rectilinier		x	%60	2525	7
Rectilinier	x		%60	2716	7
Line		x	%60	2528	7
Line	x		%60	2716	7
Honeycomb		x	%80	2976	7
Honeycomb	x		%80	3167	7
Rectilinier		x	%80	2906	7
Rectilinier	x		%80	3097	7
Line		x	%80	2906	7
Line	x		%80	3097	7

Çekme testi için Şekil 2’deki gibi Zwick Roell Z050 çekme ve eğmecihazı kullanılmıştır. Cihaz 330kN ile 2500 kN aralığında çekme işlemi yapabilmektedir. Deney numuneleri ISO 527-1/-ISO 527-2 and ASTM D 638 standart test yöntemlerine göre test edilmiştir[13]. Çekme testinde kullanılan numunenin standart ölçüleri Şekil 3’te verilmiştir.

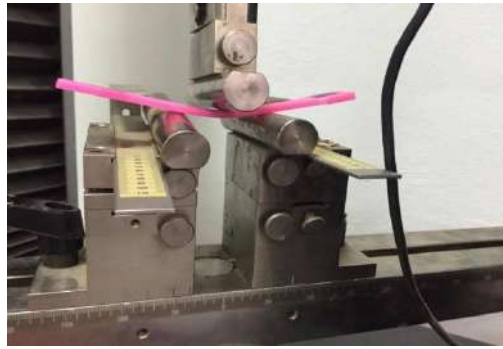


Şekil 2. Zwick Roell Z050 çekme cihazı ve deneyin yapılışı



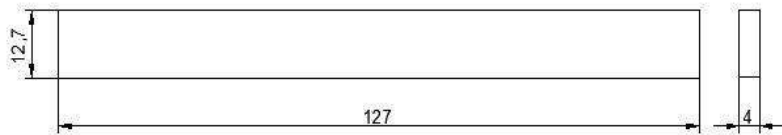
Şekil 3. Çekme test numunesi

Eğme testi için Şekil 2’teki gibi Zwick Rroell Z050 çekme cihazında Şekil 4’de görüldüğü gibi 3 noktadan eğme işlemi yapılmıştır. Cihaz 330kN ile 2500 kN aralığında eğme işlemi yapabilmektedir. Deney işlemi ASTM D790 standartlarına göre yapılmıştır[14].



Şekil 4. Zwick Roell Z050 eğme cihazı

Eğme test işleminde destek aralığı 5.1cm olarak alınmış çeneler 10 mm/min’lik bir oranda yer değiştirmiş ve eğme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çekme testinde kullanılan numunelerin standart ölçüleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Eğme test numunesi ölçüleri.

2.3 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

Malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ölçümü sırasında MAHR firmasının MarhrSurf PSI model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil6). Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri Çizelge 4 ’de verilmektedir.

Çizelge 4. MarSurf PS1 Yüzey Pürüzlülük ölçüm cihazının mekanik özellikleri

Ölçme Yöntemi	İzleyici uçlu (Stylus) cihazları yöntemi
Tarama Hızı	0,5 mm/sn. (ölçme yaparken) 1 mm/sn. (geri dönerken)
Ölçme Kuvveti	4 mN (0,4 gf)
Uç malzemesi	Elmas
Ölçme Sıcaklığı	20°C ± 1 °C
Değerlendirme uzunluğu	4mm

Izleyici Uç Yarıçapı	5 μ m

Ölçümler (15mm'lik kısım üzerinde) her deney sonucu için üretilmiş parçanın iki ayrı yerinden ölçülerek ISO 5832-3 standartlarına göre yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen Ra değerlerinin ortalama değerleri alınmıştır.

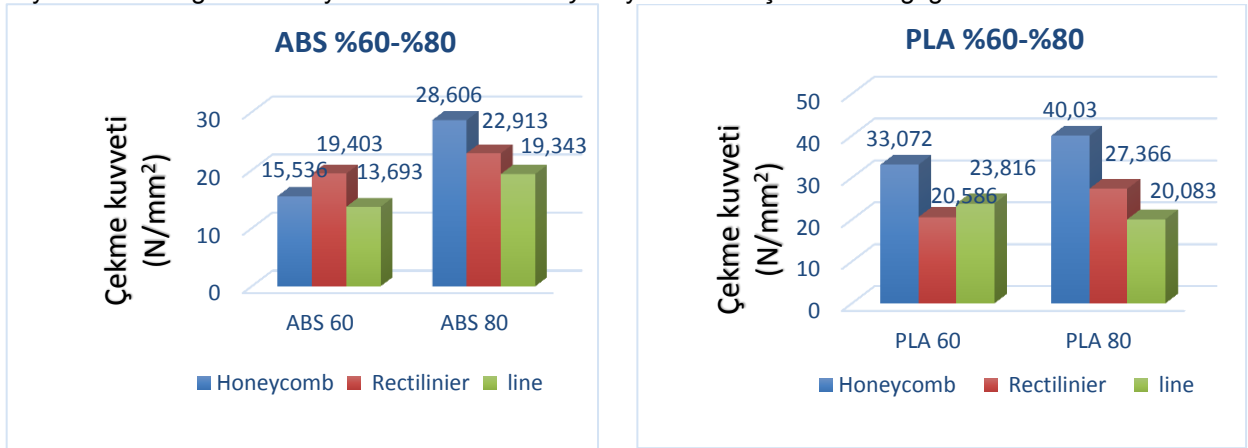


Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

3. Genel Sonuçlar

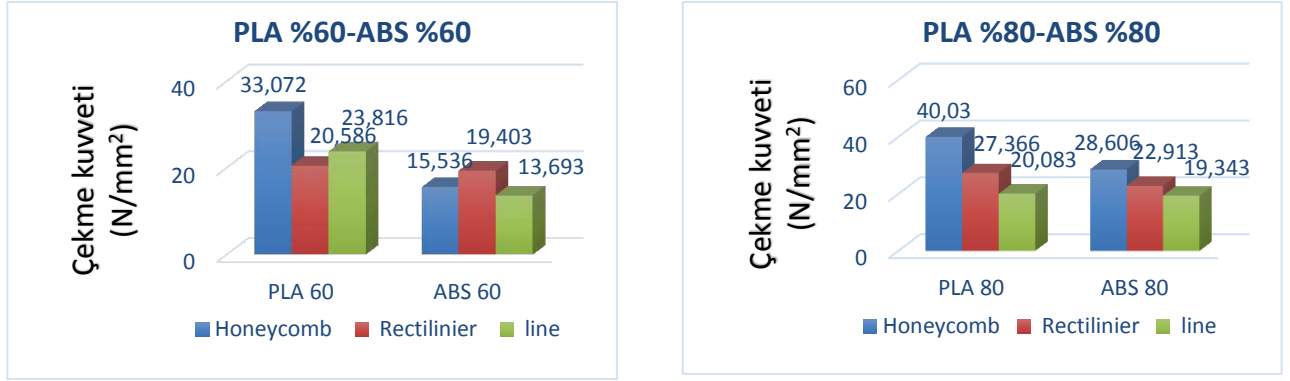
3.1. Çekme Testi Sonuçları

Elde edilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, PLA malzemesinin % 60 ve % 80 oranlarında honeycomb dolgu stilinde, Şekil 7'de görüldüğü gibi dayanımı daha yüksek çıkmıştır. ABS malzemesinde ise % 60 doluluk oranında rectlinier stiliyi çıkarken, % 80 doluluk oranında honeycomb stilinin daha iyi dayanıma sahip olduğu görülmektedir Şekil 7. Genel olarak ele alındığında line stilinin en düşük dayanımda olduğu ve honeycomb stilinin ise en iyi dayanım sonuçlarını verdiği görülmektedir.



Şekil 7. a) PLA ve ABS malzemesinin %60-%80 doluluk oranlarında çekme değerlerinin grafikleri

PLA ve ABS malzemeleri birbirleri ile kıyaslandığında Şekil 8'de olduğu gibi, en iyi sonucun PLA malzemesinde % 60 oranında 33,072 N/mm² ve % 80 doluluk oranında 40.03 N/mm² ile honeycomb stilinde çıktığı görülmektedir. Genel olarak her iki doluluk oranı ve farklı stillerdeki dolgularda honeycomb daha iyi sonuç vermiştir. Yüzde doluluk oranı arttıkça çekme dayanımının arttığı görülmektedir.



Şekil 8. a) PLA ve ABS malzemesinin %60-%80 doluluk oranında çekme değerlerinin karşılaştırılması

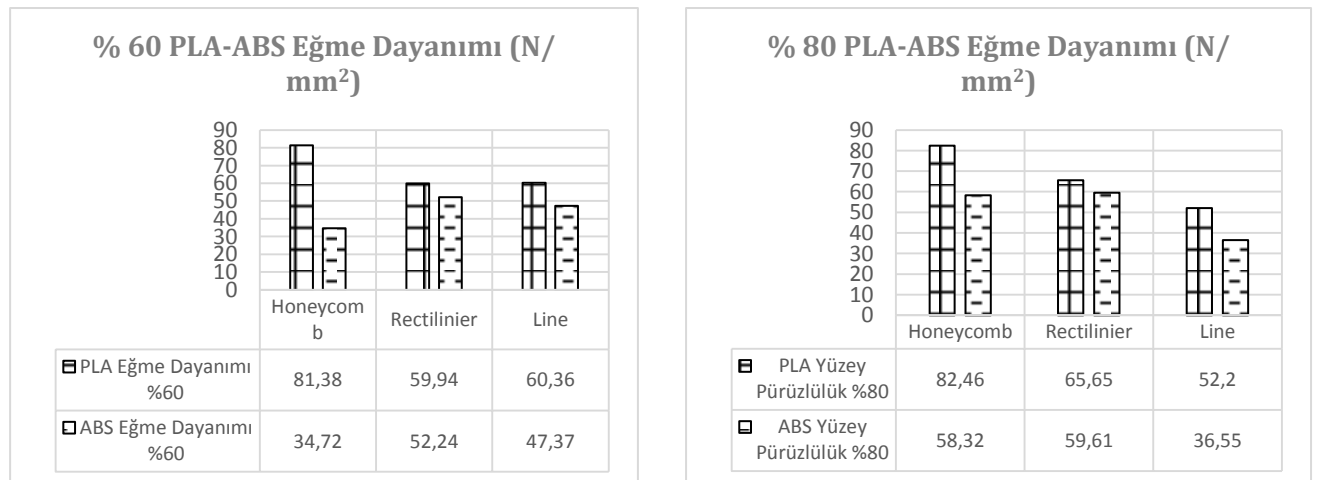
Çekme testi esnasında doldurma stiline göre deney malzemelerinin kopma yüzey durumları Şekil 9'da verilmiştir. Bunlar incelendiğinde, honeycomb dolgu stilinde kopma yüzeylerinin çekme yönüne dik yani 90° olduğu, line dolgu stilinde 45°'ye yakın bir kopma görüldüğü ve rectiliner dolgu stilinde kopma bölgesinin 45°'ye yakın ve daha hasarlı olduğu görülmektedir. Kopma yüzey açıları ile dolgu stilleri arasında belirgin bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Örneğin; Şekil 9'da verilen line kopma yüzeyinin çekme yönüne yaklaşık 45° olması Şekil 1'de görülen line stili dolgu yönünü takip etmesinden kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. Farklı dolgu stillerinin çekme deneyinde oluşan kopma yüzeyleri

3.2 Eğme Testi Sonuçları

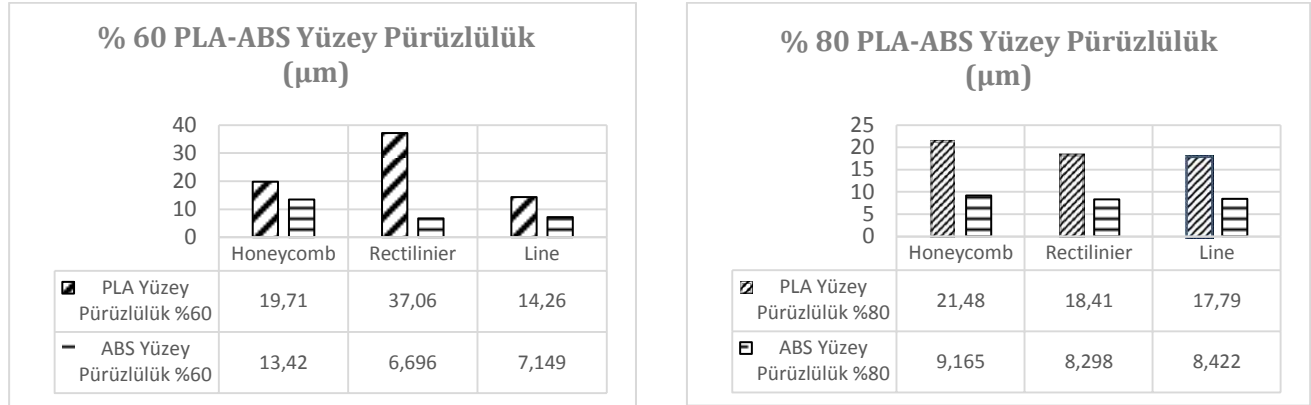
Eğme testleri incelendiğinde PLA malzemesinin % 60 ve % 80 doluluk oranlarında honeycomb stilinde ABS'ye göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir Şekil 10. Rectiliner ve line stillerinde her iki doluluk oranında da çıkan sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca % 60 doluluk oranında ABS malzemesi ile en düşük değer 34,72 N/mm² elde edilmiştir. Özellikle line stilinde % 80 doluluk oranında eğme dayanımı % 60 göre daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni olarak line stilinin eşit aralıklı olmaması düşünülmektedir.



Şekil 10. PLA-ABS malzemelerinin her iki doluluk oranında eğme testi sonuçlarının karşılaştırılması

3.3 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

3 boyutlu yazıcılarda yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler katman kalınlığı, doluluk oranı, yazdırma açısı, doldurma stili, yazdırma hızı, malzeme, soğuma hızı ve sıcaklık olarak ele alınabilir. Bu çalışmada, doldurma stili, doluluk oranı ve farklı iki malzeme ele alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 11'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre ABS malzemesinin yüzey pürüzlülük değerlerinin daha az olduğu, minimum değer $6,696 \mu\text{m}$ olarak elde edildiği, en yüksek değer $37,06 \mu\text{m}$ doluluk oranında PLA malzemesinde rectilinier stilinde görülmektedir.



Şekil 11. PLA ve ABS malzemelerinin %60 ve %80 doluluk oranlarında farklı stillerdeki yüzey pürüzlülük değerleri.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada doluluk oranları % 60 ve % 80 alınarak ve 3 farklı dolgu stili (honeycomb, rectilinier, line) kullanılarak hazırlanan numuneler üzerinde çekme, üç noktadan eğme ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm testleri yapılmıştır. Çekme testlerinde her iki doluluk oranında da PLA malzemesinin dayanımının ABS'ye göre daha iyi olduğu, dolgu şekillerine göre honeycombstilinin daha sağlam olduğu görülmüştür. Ayrıca çekme testlerinde doluluk oranı arttıkça dayanımın arttığı ve stabil hale yaklaştığı görülmektedir.

Eğme testi sonuçlarına göre ise PLA malzemesinin % 60 ve % 80 doluluk oranlarında honeycombstilinde ABS'ye göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Eğme testlerindede doluluk oranı arttıkça ABS malzemesinde taşınan yük miktarının azaldığı dikkat çekmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçlarında genel olarak ABS malzemenin pürüzlülük değerlerinin daha düşük olduğu, en yüksek değer $37,06 \mu\text{m}$ doluluk oranında PLA malzemesinde rectilinierstilinde görülmektedir.

Farklı hız ve sıcaklıklarda katman kalınlığı değiştirilerek yeni çalışmalar yapılabilir. Farklı malzemeler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilebilir. Özellikle piyasada var olan ve aktif kullanılan bir parça üzerinde çalışmalar yapılabilir.

Referanslar

1. <http://blog.3dfab.com/3d-printing-ile-uretim-parametreleri-nelerdir/-2016>
2. Sood, A.K., Ohdar, R.K., Mahapatra, S.S., 2010. "Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed part", Materials & Design, cilt 31, sayı 1, s 287-295.
3. WANG, W., WANG, T. Y., YANG, Z., LIU, L., TONG, X., TONG, W., DENG, J., CHEN, F., AND LIU, X. 2013. Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures. ACM Trans. Graph. 32, 5.
4. WILSON, S. 1990. A new face of aerospace honeycomb. Materials & Design 11, 6, 323 – 326.
5. http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tahribatli_muayene.pdf
6. <http://www.verbatim.com.tr/tr/3D/abs-vs-pla/?con=56>, 2016.
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid-2016.
8. BM Tymar, M. Kreiger, JM Pearce, gerçekçi altında açık kaynak 3 boyutlu yazıcılar ile fabrikasyon bileşenlerin mekanik özellikleri Çevre kon- altyapıyı, Malzeme ve Design 58, s. 242-246 (2014).
9. https://tr.wikipedia.org/wiki/Akrilonitril_b%C3%BCtadien_stiren

10. ULUŞEN T., Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Kimyasal Kaplama İşlemlerinin İncelenmesi, Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği, YL tezi, Edirne, Turkey, 2008,
11. Engineerdog.com.2015/09/02/mechanical-testing-3d-printed-parts-and-recommendations/
12. <http://manual.slic3r.org/expert-mode/infill-2016>
13. ASTM Standart D638, 2010, Standart test methods for tensile properties of plastics, ASTM international, West Conshohocken, PA, 2010
14. ASTM Standard D790, 2010, "Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

ENDÜSTRİYEL BOYUTLU VE ISITMALI 3B YAZICI TABLASI TASARIMI VE PROTOTİPİ

AbdurrahimTEMİZ^a, Burak GÜLER ve Kerim ÇETİNKAYA

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük, TÜRKİYE
abdurrahimtemiz@karabuk.edu.tr, burakguler@hotmail.com, kctinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

3B yazıcılar ürün ve sistem üretimi yapabilen, hızlı, esnek ve düşük maliyetli hızlı prototip yöntemlerinden biridir. Günümüzde, imalat ve tasarım alanların seri veya prototip imalatında yaygın olarak kullanılmaya başlayan bir teknolojidir. Özellikle son yıllarda endüstriyel boyutlu yazıcıların büyük parça ve sistemlerin üretilmesi için tercih edilmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel boyutlara sahip, şebeke gerilimi ile beslenen ısıtmalı 3B yazıcı tablasının tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde alüminyum tabla iki adet seramik rezistans kullanılarak, 70°C' referans sıcaklığa 271 saniye ve 239 saniyede ısıtılmıştır. Ortalama 237.6 watt/saat güç tüketen ısıtma sistemi, PID sıcaklık kontrol cihazı ile kontrol edilmiştir. Kabinsiz ısıtma yapılmasından dolayı ve tabla kalınlığının düşük olmasından dolayı malzemede çarpılma ve şekil değişimleri meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, Isıtmalı Tabla, FDM

DESIGN AND PROTOTYPING INDUSTRIAL SIZE OF 3D PRINTER HEATED BED

Abstract

3D printers are one of the rapid prototyping methods which can be produce parts and systems and are fast, flexible and low-cost systems. recently, it is widely started to use in direct manufacturing and production of prototypes in design and manufacturing fields. Especially, industrial sizes 3D printers in order to produce industrial size parts and systems are preferred. in this study, 3D printer heated bed that has industrial sizes and uses grid voltage was designed and produced. the two ceramic flat heaters were used on the purpose of heating the aluminum bed up to 70°C reference temperature within 271 seconds and 239 seconds. Average power consumption was 237.6 watt/h and PID temperature control device was used to keep the temperature at reference. deformations and distortions were occurred on the heated bed because of open area heating process and low bed thickness.

Keywords: 3D Printer, Heated Bed, FDM

1. Giriş

Günümüzde 3B yazıcılar teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte, her geçen gün ilerlemekte ve çeşitlenmektedir. Literatürde 3B yazıcıların geliştirilmesi, teknolojik olarak ilerlemesi ve yazdırma performansları ile ilgili son zamanlarda birçok çalışma mevcuttur.

Prince yaptığı çalışmada, 3B yazdırma teknolojisinin birçok alanda kullanılabilen, esnek ve yeni bir teknoloji olduğunu vurgulamıştır. Eklemeli imalat teknolojisi olarak bilinen bu yöntemin, tarihçesinden bahsetmiş ve Ergiyik Yığma Modelleme, Katmanlı Nesne Üretme, PolyJet, Lazer Sinterleme, Stereolitografi, Şırınga Ekstrüzyon gibi farklı 3B yazdırma teknolojilerinin avantaj ve dezavantajlarını belirtmiştir[1].

Connerv.d., giriş seviyesindeki 3B yazıcıların küçük işletmeler ve eğitim alanlarında kullanılarak, avantajlarını, dezavantajlarını belirlemek üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada, Ohio eyaletinde bulunan küçük ölçekli işletmelerde yüz yüze görüşme ve anket yöntemlerini kullanarak giriş seviyesindeki bir 3B yazıcının kullanılmasını incelemişlerdir. İmalat sektöründe hizmet veren 3 adet küçük ölçekli şirket ve 4 adet eğitim materyalleri üreten firma ile görüşmüşlerdir. Kısa vadede giriş seviyesindeki 3B yazıcıların eksiklikleri olmasına rağmen, 3B yazıcıların bu sektörle adaptasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Giriş seviyesi 3B yazdırma teknolojisinin küçük ölçekli işletmelerde işgücü geliştirmek için bir fırsat olduğunu belirtmişlerdir[2].

Raynav.d., 3B yazıcıların, işletme model inovasyonunu nasıl değiştirdiği üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada hızlı prototipleme, hızlı kalıplama, doğrudan imalat ve evde imalat şeklinde dört farklı alanda 3B yazdırma teknolojisinin adaptasyonunu incelemişlerdir. Hızlı prototipleme ve hızlı kalıplamanın işletme

modelleri üzerinde etkisinin az olduğunu, geleneksel imalat yöntemleri içerisinde üretim işlemlerini büyük ölçüde değişimler oluşturmada hızlandırdığını göstermişlerdir. Diğer yandan, doğrudan imalat (yazdırılan ürünün final ürün olarak kullanılması) ve evde imalat işlemlerinde 3B yazdırma teknolojilerinin kullanılmasının değer üretimi, pazarlama ve teslimat gibi giderlerin artmasıyla daha karmaşık bir işlem olduğunu göstermişlerdir[3].

Weiss, 3B yazıcıların kızaklarının kapalı devre ile kontrolü üzerine çalışmıştır. Kapalı devre kontrol uygulamasının kızaklı robotların performansını arttırdığını fakat bu yöntemin düşük maliyetli 3B yazıcılarda kullanılmasının harici sensör ve hesaplamalı donanım gerektirmesinden dolayı pahalı ve verimsiz bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, 3B yazıcının X ve Y eksenlerinde kullanılmak üzere, düşük maliyetli kapalı devre uygulaması geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri kapalı devre ile 3B yazıcıların takım yolu takip etmesi hassasiyetinin %40 oranında arttığını ve yazdırma zamanından %25 tasarruf sağlandığını göstermişlerdir[4].

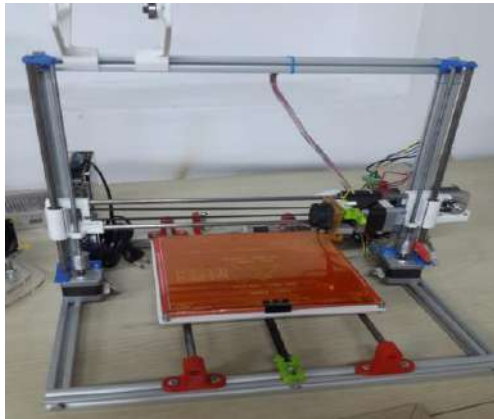
Wohlers, hızlı prototipleme yönteminin gelecekteki potansiyeli ve dünyadaki hızlı prototipleme ile üretimleri üzerine çalışmıştır. Hızlı protipleme teknolojisinin günümüze kadar gelişimi ve endüstrideki yükselen potansiyelini incelemiştir. Dünyada Çin, İngiltere, Fransa, Rusya, Türkiye, Amerika, Almanya, Danimarka gibi birçok ülkedeki 3B yazdırma endüstrisinin kapasitelerini göstermişlerdir. Özellikle, Amerika içerisinde 1994 yılında 80 milyon doların 3B yazdırma teknolojisi için harcadığını belirtmiştir. Çeşitli sivil ve resmi kuruluşları inceleyerek, lazer sinterleme, ergiyik yığma, stereolitografi gibi yöntemlerin kullanılabilirliğini incelemiştir[5].

Radharamanan, geri dönüşüm sistemli 3B yazıcının geliştirilmesi ve tasarımı üzerine çalışmışlardır. Tasarımını yaptıkları 3B yazıcı ABS, HDPE ve PLA plastik malzemeleri kullanarak fiziksel objeleri katmanlı yazdırma ile yazdıran otomasyonlu bir yazıcı tasarlamışlardır. Yazıcı tablasının X ve Y yönünde hareketini ve ekstrüder kafasının Z yönündeki hareketini step motorlar kullanarak sağlamışlardır. Tasarladıkları yazıcıya geri dönüşüm sistemi eklenmesiyle çevreye duyarlı ve maliyetleri azaltan bir yazıcı elde etmişlerdir[6].

Literatürde belirtilen yazıcı kontrol yöntemleri, farklı yazıcı tasarımları, malzeme gibi faktörlerle beraber yazıcı tablasının uygun bir şekilde tasarlanması yazdırılan ürünün kalitesine etkisinden dolayı önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, 3B yazıcı tablalarında yaşanan problemlerin önlenmesi amacıyla endüstriyel boyutlu, ısıtmalı 3B yazıcı tablası tasarlanmış ve üretilmiştir.

2. Tabla Tasarımı ve Üretimi

3B yazıcılarda kullanılan farklı malzemelerden üretilmiş filamentler, mekanik ve ısı özelliklerinin değişken olmasından dolayı değişik tabla sıcaklıklarında yazdırılması gerekmektedir. 3B yazıcılarda kullanılan yazdırma tablası, farklı malzemelerin yazdırılmasında, parça kalitesine etki eden faktörlerden birisidir. Şekil 1'de hobi amaçlı kullanılan tabla ısıtmalı 3B yazıcı gösterilmiştir.



Şekil.1: Hobi amaçlı kullanılan ısıtmalı 3B yazıcı baskı tablası

Hobi amaçlı kullanılan bu yazıcılarda, tabla boyutları, küçük ölçekli parçaların yazdırılmasına olanak sağlamaktadır. Büyük parçaların yazdırılması için, endüstriyel boyutlarda tablaya sahip yazıcılar kullanılması gerekir. 3B yazıcılarda kontrollü tabla sıcaklığının sağlanması ve endüstriyel boyutlu ürün üretimi için tabla tasarımı yapılmış ve prototipi üretilmiştir. Şekil 2a'da üretilen tabla prototipinin CAD modeli, Şekil 2b'de üretilen tabla gösterilmiştir.



(a)



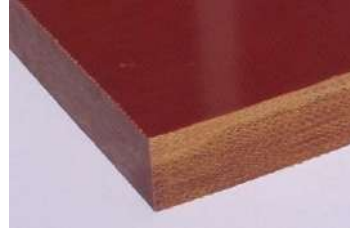
(b)

Şekil 2. (a)Üretilen tablanın CAD modeli, (b)Üretilen tablanın prototipi

Prototipi yapılan tabla, sıcaklığı daha çabuk iletibilmesi ve kolay işlenebilirlik-maliyet performansı göz önünde bulundurularak alüminyum malzemeden üretilmiştir. Tabla yüzeyi için alüminyum delikli sac malzeme kullanılmış ve tablanın iç bölümlerinde ise yalıtım malzemesi olarak fiber plaka yerleştirilmiştir. Üretilen tablanın ısıtılması için geniş yüzeyli/ince kalınlıkta silikon rezistanslar kullanılmıştır. Şekil 3'te tabla üretiminde kullanılan, rezistans, fiber plaka ve alüminyum plakalar gösterilmiştir.



(a)



(b)



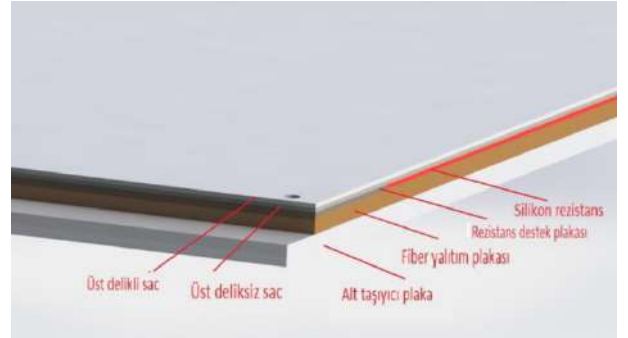
(c)

Şekil 3. (a)Silikon rezistan, (b)Fiber plaka, (c)Alüminyum plaka

Tasarlanan tablanın alt kısmında alüminyum plaka destekleyici, gövdeye montajı sağlayabilmek ve diğer parçaları taşıyabilmesi için kullanılmıştır. Sıcaklık etkisiyle alüminyum plakanın şekil değiştirmemesi için 4mm kalınlıkta seçilmiştir. Tablanın üst yüzeyindeki sıcaklığın, alt plakalara ve diğer elemanlara geçişini engellemek için fiber plakalar, yalıtım malzemesi olarak kullanılmıştır. Fiber plakalar üzerine tablanın ısınmamasını sağlayacak 2 adet silikon rezistans kullanılmıştır. Rezistansların hasara uğramaması için üst kısımlarına düz alüminyum sac plakalar yerleştirilmiş ve en üste delikli alüminyum plakalar konulmuştur. Şekil 4'de sistemde kullanılan rezistansların konumu ve tablayı oluşturan katmanlar gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. (a) Fiber plaka üzerine silikon rezistansların montaj görünümü, (b) Isıtmalı tablayı oluşturan katmanların model görünümü

Sistemdeki bütün parçalar birbirlerine cıvata birleştirilmiş, rezistanslar ise yapıştırılmıştır. Tablanın üretilmiş ve montajı Şekil 5'de gösterilmiştir.



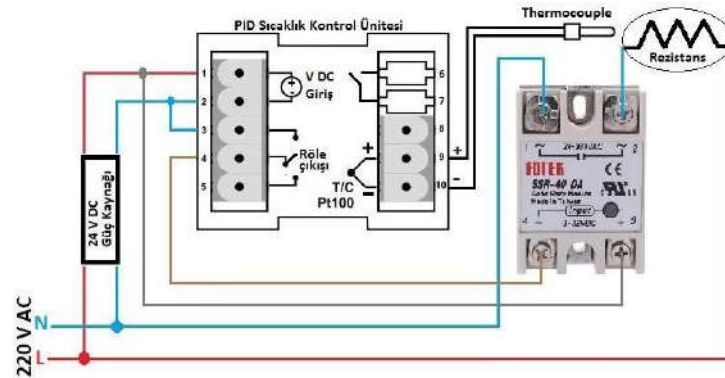
Şekil.5: Tabla tüm plakaların montajı

Geleneksel 3B yazıcılarıdaki tabla ısıtmaları, kontrol kartından beslenmekte olup, 12V gerilimle ısıtılan bu tablalar yüksek sıcaklıklara çıkılamamaktadır. Bu nedenle üretimi yapılan prototip tablada şebeke gerilimi ile beslenen ısıtıcılar kullanılmıştır. Isıtmalı tabla rezistansları 220V ile çalışmakta olup, tabla sıcaklığı PID sıcaklık kontrol cihazları ile kontrol edilmiştir. Şekil 6'da PID sıcaklık kontrol cihazı ve sıcaklık kontrol rölesi gösterilmiştir.



Şekil 6. (a) PID sıcaklık kontrol cihazı, (b) Sıcaklık kontrol rölesi

PID kontrol cihazlarına bağlanan sıcaklık kontrol röleleri anlık olarak rezistanslara giden akımı ve gerilimi kontrol ederek, tablanın sabit sıcaklıkta tutulmasını sağlamaktadır. Sistemin elektrik kontrol ve güç şeması, tabla rezistans bağlantısı, röle ve PID kontrol bağlantıları Şekil 7'de verilmiştir. Anlık olarak sıcaklık ölçmek için termokupl PID kontrol cihazına bağlanmıştır. PID kontrol cihazında anlık olarak sıcaklık ölçmek için termokupl bağlanmıştır.



Şekil.7 Isıtmalı tabla elektrik bağlantı şeması

Elektrik şemasında da görüldüğü üzere baskı tablası rezistansları, sıcaklık ölçücüleri ve röleleri bağlantısı verilmiştir. Bu şemaya göre 220 V bağlantısı hem sıcaklık kontrol cihazlarına hem de rölelere bağlanmıştır. Sıcaklık kontrol cihazların diğer girişine termokupl sıcaklık kontrol cihazları bağlanmıştır.

3. Deneysel Çalışmalar

3B yazıcılarda, tabla sıcaklığı, yazdırma kalitesi ve tablaya yapışmayı etkileyen unsurlardan birisidir. Yazıcı tablasının sıcaklık değerleri, PID kontrol cihazı üzerinden 70°C'ye sabitlenerek tabla ısıtılmasının performansı incelenmiştir. Tabla sıcaklığının test edilmesi, PID sıcaklık kontrol cihazının 70°C'ye ayarlanarak, rezistanslara şebeke gerilimi olan 220V verilerek, 70°C sıcaklığa kadar ısınmasıyla geçen süre ölçülerek belirlenmiştir. Şekil 8'de PID cihazının 70°C'ye sabitlenmiş ve anlık sıcaklık artışının ölçümü gösterilmiştir.



Şekil.8: Tabla sıcaklığının PID ile sabitlenmesi ve anlık sıcaklık ölçümü

3B yazıcı, sıcaklık ölçümü sırasında yazdırmaya hazır halde bekletilmiş ve yazıcı iç haznesinin sıcaklığı 26.1°C, tabla sıcaklığı ise 21°C ölçülmüştür. Yazdırma tablası, PID sıcaklık kontrol cihazına sabitlenen 70°C sıcaklığa 232 saniyede ulaşmıştır. PID cihazlarını rezistanslara akım göndermeye başladıktan sonra rezistanslar ısınmaya başlamış ve tabla sıcaklığını 71°C'ye çıkarmıştır. Referans sıcaklığını ayarlamak için, PID cihazları gücü kesmiş ve tabla sıcaklığını 70°C'de sabitlemiştir. Gücün kesilip referans sıcaklıkta kararlı hale gelmesi toplamda 46 saniye sürmüştür. İkinci PID cihazı, ikinci rezistanstı ısıtmaya başlamış ve sıcaklığı 75°C'ye kadar çıkarmıştır. Birinci PID cihazı ile benzer şekilde referans sıcaklığında sabitlemek için gücü kesmiş ve 70°C'ye kadar düşmesi 220 saniye sürmüştür. PID cihazlarından ölçülen değerler ve geçen zaman süresi Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge.1 Tabla sıcaklık kontrol cihazı sıcaklık değişimleri

	Referans Sıcaklık Değeri (°C)	Ölçülen Sıcaklık Değeri (°C)	Referans Sıcaklığa Ulaşması İçin Geçen Süre (s)	Sapma Değeri(°C)
Tabla Isıtıcı 1	70	71	271	+1
Tabla Isıtıcı 2	70	75	239	+5

Çizelge 2 tabla sıcaklığının referans sıcaklık olan 70°C sıcaklığa ulaşana kadar harcanan elektrik tüketim değerlerini göstermektedir. Tabla sıcaklığı, birinci saat içerisinde 263 watt, ikinci saat içerisinde 235 watt ve üçüncü saat içerisinde 215 watt olarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucu tablanın ortalama saatlik elektrik tüketim değeri 237.6 watt/saat olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Tabla elektrik tüketim değerleri.

Geçen Süre (s)	Sayaç okunan değer ilk değer(kw/h)	Sayaç okunan değer son değer(kw/h)	Elektrik Tüketimi (watt/saat)
1. Saat	26.257	26.472	263
2. Saat	26.472	26.687	235
3. Saat	26.687	26.950	215

Tablanın 70C karalı sıcaklıkta durumuna ulaşması süresince alüminyum tablada gözle görülür şekil değişimleri gözlemlenmiştir. Tablanın deformasyona uğraması alüminyum plaka kalınlığının yeterli olmaması sıcaklık artışının hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve ayrıca tablanın alt kısmına yeterli desteğin yerleştirilmemesi yüzünden şeklinde açıklanabilir. Bu durumda bu ebatlarda üretilecek tablaların

tasarımında, alüminyum malzemenin kalınlığının artırılması veya farklı bir alüminyum alaşım seçilmesi ve tablanın konumlandırılırken alt kısmının desteklenmesi gerekmektedir.

Isıtılan yüzeyde sıcaklık farklılıklarının önemli oranda düşürülmesi gerekmektedir. Ayrıca tabla ısıtılırken tablanın kapalı bir ortam içerisinde hava akımının engellenecek şekilde muhafaza edilmesi önem kazanmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Birinci tabla ısıtıcı rezistansı, referans sıcaklık olan 70°C'ye 271 saniyede ulaşmıştır. İkinci tabla ısıtıcı rezistansı ise referans sıcaklığa 239 saniyede ulaşmıştır.
- Tabla ısıtıcısının sıcaklık artışı sağlanırken harcadığı elektrik tüketimi ortalama 237.6 watt/saat'dir.
- Tablanın kabinsiz ısıtılmasından dolayı ve ayrıca alüminyum malzemenin yeterli kalınlıkta olmaması tablanın alttan desteklenmemesi sonucunda tablada deformasyonlar meydana gelmiştir.
- Deformasyonlara en aza indirmek amacıyla tablanın kalınlığının artırılması yeterli desteğin sağlanması ve ısıtmanın hava akımının engellendiği kapalı ortamda yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Referanslar

1. J. DalePrince, "3D printing: an industrialrevolution", Journal of Electronic Resources in Medical Libraries, Vol. 11 Iss 1, pp. 39–45, (2014).
2. Brett P. Conner, Guha P. ManogharanandKerry L. Meyers, "An assessment of implementation of entry-level 3D printersfromtheperspective of smallbusinesses", RapidPrototypingJournal, Vol. 21 (5), pp. 582 - 597, (2015).
3. T. Rayna, L. Striukova, "Fromrapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation", Technological Forecasting&SocialChange, Vol. 102 pp. 214–224 (2016).
4. B. Weiss, D. Stortiand M. Ganter, "Low-costclosed-loopcontrol of a 3D printer gantry", RapidPrototypingJournal, Vol. 21 (5), pp. 482-490.
5. Wohlers, T., "Futurepotential of rapidprototypingandmanufacturingaroundthe World", RapidPrototypingJournal, Vol. 1(1), pp. 4-10, 1995.
6. S. Dawson, C. Wheeler, A. Coonce, L. Coxand R. Radharamnan, "RapidPrototyping: Design of a RecyclingSystemforthe Cup cake 3D Printer" The Journalof Management and Engineering Integration, Vol. 5, No. 2.
7. Birtchnell, T. andUrry, J. , "3D, SF andthefuture", Futures, Vol. 50, pp. 25–34 2013.
8. H. Chen, Q. Zhang, F. Zhao, "Energy-efficientjoint BS and RS sleepscheduling in relay-assistedcellularnetworks", Computer Networks, Vol. 100 pp. 45–54, 2016.

3B YAZICI İLE KİŞİYE ÖZGÜ İMPLANT TASARIMI

Ezgi KARA^a, Berat Barış BULDUM^a, Çağdaş YILMAZ^b, Nazım ÖZKAYA^c

a, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin/Türkiye, bsk-ekara@hotmail.com
b, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin/Türkiye, bmmcagdas@gmail.com
c, Mersin Üniversitesi, Kalibrasyon Merkezi, Mersin/Türkiye, nazmozkaya@gmail.com

Özet

Abutmentler; üzerine kaplama dış yapılan implant üstü yapı parçalarıdır. Günümüzde üretilmekte olan İmplant "abutment"ları, çeşitli çap ve uzunluklarda standart olarak üretilmektedir. Ancak bu çeşitli çap ve uzunluklar her insan için farklı anatomik yapıda olan çene yapısına birebir uyum gösterememektedir. Bu durum uygulanan tedaviyi verimsiz kılmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak adına 3 boyutlu baskı teknolojileri kullanılarak kişiye özgü implantlar üretilmesi mümkündür.

Anahtar Kelimeler: İmplant, Abutment, 3B Yazıcı, Vida

PERSONAL IMPLANT MANUFACTURING WITH 3D PRINTER

Abstract

Abutments; dental implant components coating is made on. Nowadays, "Abutment", using Standard are produced various diameters and lengths. However, these various diameters and lengths, can not adapt gums which have a different anatomical structure for each person. This situation makes inefficient treatments. Production of personel implant with 3D printing technology could be used available to eliminate this problem.

KeyWords: Implant, Abutment, 3D Printing, Screw

1. Giriş

İmplant sözcüğü Latince 'in=içerisine' ve 'planto=ekme, dikme, yerleştirme, gömme' anlamına gelen sözcüklerin birleşiminden oluşmuştur. Anlam olarak ise 'bir fonksiyon elde etmek amacıyla, uygun bir yere yerleştirilen organik veya inorganik cisim'e verilen addır ve Fransızca'dan diğer dillere geçmiştir. İmplantasyon ise bu yerleştirme işlemine denir. Tıpta, implantasyon bir materyalin vücut içerisine yerleştirilmesi anlamına gelir [1].

Protez terimleri sözlüğüne göre dentalimplantlar; sabit veya hareketli protezler için retansiyonve stabilite sağlamak amacıyla ağız dokularına mukozal ve/veya periostal tabakanın altına ve kemiğin üstüne veya içine implante edilen alloplastik materyalden yapılmış protetik aygıt veya sabit veya hareketli protezleri desteklemek için çene kemiğinin üzerine veya içerisine yerleştirilen cisimler olarak tanımlanmaktadır[2]. Bölümlü ve tam dişsizlik vakalarının dentalimplantlar ilerehabilitasyonu, klinik olarak uzun dönem başarısı ortaya konmuş[2-4] ve günümüzde çok fazla tercih edilen bir protetik tedavi alternatifi haline gelmiştir[5].

Dentalimplant uygulamalarında kişiye özgü implant uygulaması hasta konforunun yanı sıra sağlık personeli için de kolaylık sağlamaktadır. İmplant üreticileri tarafından hazır olarak kullanıma sunulan prefabrike dayanaklar biyolojik uyumları ve üstün mekanik özellikleri sayesinde altın standart kabul edilmelerine rağmen, estetik görüntüyü yeterince sağlayamamaları, implantın idealden uzak açılanma ile yerleştirilmeleri sonucunda yetersiz kalmaları, ideal dişeti çıkışı profilini verememeleri ve hijyenin devamlılığına engel temizlenemeyen bölgeler oluşmasına neden olmaları sebebiyle yerlerini zamanla CAD/CAM teknolojisi ile ideal şekilde hazırlanabilen kişiye özel dayanaklara bırakmaktadır. Kişiye özel dayanakların hem fonksiyon hem de estetik açıdan prefabrike dayanaklara göre birçok avantajının bulunduğu çok sayıda çalışma tarafından bildirilmektedir[6].Bu çalışmada kişiye özgü implant üretiminin yöntem ve modellenmesi ele alınmıştır.

2. Tarihçe

Dentalimplantasyon yeni bir buluş değildir. Kaybedilmiş dişlerin yerine konma çabası insanlık tarihi kadar eski bir sürece dayanmaktadır. Fonksiyon ve estetiğin geri kazandırılması bilim adamlarının uzun yıllardan beri üzerinde çalıştığı önemli bir konudur. Antik çağlarda; taş, tahta, deniz kabuğu ve hatta hayvan dişlerinin; alt ve üst çenede dayanak olarak kullanıldığı görülmüştür. İlk dentalimplant örneği, M.S.

600 yıllarına ait bir Orta Amerika yerlisinin kafatası iskeletinde bulunmuştur. Bugün Harvard Arkeoloji ve Etnoloji Müzesi'nde saklanan bu çene kemiğinde, eksik olan üç alt kesici dişin yerine, diş formu verilmiş deniz kabuklarının implante edildiği görülebilmektedir.

19.yüzyıl başlarında her alanda olduğu gibi diş hekimliği alanında da metal kullanımının yaygınlaşması ile kemik içi implant olarak kabul edilecek tipte implantlarla ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 1930'lu yıllara kadar, gümüş, altın, platin ve iridyum gibi kıymetli metallerden hazırlanan implantlar dokuda galvanik etkileşimler oluşturdıkları için; vakaların çoğunda başarısız sonuçlar elde edilmiştir.

Oral implantolojinin temeli sayılan implantın kemikle bütünleşmesi kavramı 1952 yılında tavşanlar üzerinde yapılan kemik iyileşmesi ile ilgili mikroskobik çalışmalara dayanmaktadır. Kemikle bütünleşen implantlar ile tedavisi gerçekleşen vakalara ait ilk yayın 1969 yapılmıştır. Kemikle bütünleşme terimi ilk olarak 1977'de kullanılmış ve bu deyim araştırmacılar tarafından kabul görmüştür. İmplantlar üzerine yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları günümüzde de tüm hızıyla devam etmektedir.

İlk olarak CAD/CAM sisteminin kurucusu olarak kabul edilen Francois DURET tarafından 1971 yılında gerçekleştirilen sistemle diş hekimliğinde restorasyonların otomatik olarak yapımı gündeme gelmiştir. Heitlinger ve Rodder 1979 yılında, ardından Moermann ve Brandestini 1980'de CAD/CAM sistemleriyle ilgili çalışmalar yapmışlardır. İlk dental CAD/CAM sistemi Fransa'da 1983'te Garanciere konferansında sunulmuştur. Kullanılan ilk CAD/CAM sistemlerinde, blok şekillendirilirken aşındırmanın iki ekseninde yapılmasından dolayı diş ile restorasyon arasında iyi bir uyum sağlanamamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda günümüzde altı ekseninde aşındırma yapabilen sistemler geliştirilmiştir. 1985'te klinik ortamında hazırlanan, herhangi bir laboratuvar işlemine tabi tutulmadan şekillendirilen ve ağızda uygulanan ilk kron protezi yapılmıştır [7].

3. Dental İmplant Çeşitleri

3.1. Kemikle İlişkilerine Göre;

Kemik ilişkilerine göre implantlar 3'e ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 7. Kemik İlişkilerine Göre İmplant Çeşitleri

3.1.1. Transosteal implantlar

Bu implantlar yalnızca mandibular ön bölgeye uygulanır. Bu tür implantlar için primer endikasyon, silindirik implantın uygulanmasını engelleyecek derecede aşırı rezorb mandibular ön bölgenin varlığıdır [8,9].

3.1.2. Subperiosteal implantlar

Subperiosteal implantlar maksilla ve mandibulada doğrudan kemik üzerine özel olarak hazırlanarak yerleştirilir ve bazı noktalardan ağız içerisine uzanan uzantıları vardır. Bu destek uzantıları üzerine üst yapı uygulanır. Bu tip implantların kullanım endikasyonları günümüzde hemen hemen yok gibidir. Genellikle bu implantlar diğer implantlara göre daha fazla komplikasyonlara neden olmaktadır. Bunların arasında, yumuşak doku enfeksiyonları, sinir yaralanmaları ve sinüs komplikasyonları sayılabilir [9].

3.1.3. Endosteal implantlar

Endosteal implantlar alveoler ve bazal kemiğe cerrahi müdahale ile yerleştirilirler. Blade ve silindirik olmak üzere iki genel kategoriye ayrılırlar. Her iki kategorideki implantlar bir aşamalı ya da iki aşamalı prensiplere uygun olarak üretilirler [9].

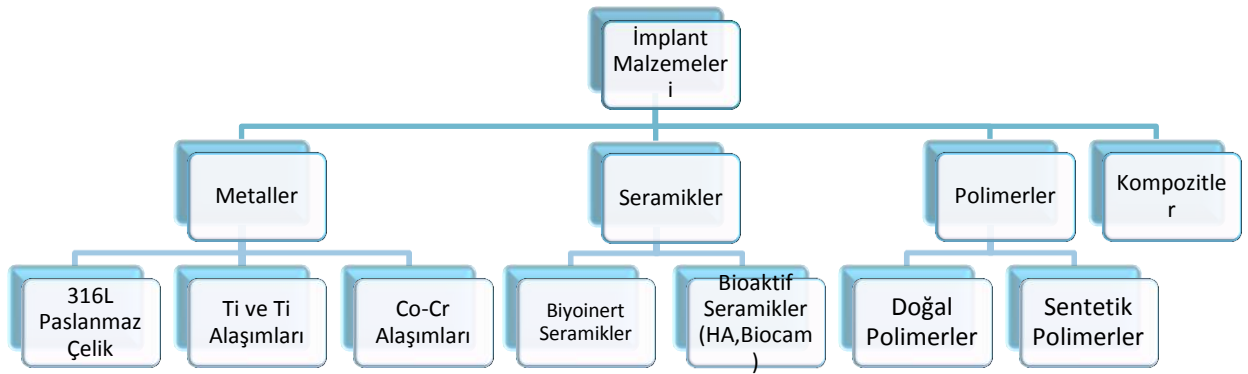
3.2. Malzeme Çeşitlerine Göre

İdeal bir implantın yumuşak dokular tarafından fizik olarak etkilenmemesi, yabancı cisim reaksiyonuna, enflamasyona, alerji ve hipersensitiviteye neden olmaması, kimyasal olarak inert olması, karsinojenik

olmaması, yapısını ve devamlılığını koruyabilmesi, istenilen şekli alabilmesi, sterilize edilebilmesi ve yeterli mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir[10,11].

İmplant malzemeleri metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere başlıca dört ana grupta toplanabilir (Şekil 2). Kristal yapıları ve sahip oldukları güçlü metalik bağlar nedeniyle üstün mekanik özellikler taşıyan metal ve metal alaşımlarının implant malzemesi olarak kullanım oranı yüksektir. En yaygın olarak kullanılan metalik malzemeler 316L paslanmaz çelik, Co-Cr alaşımları ve Ti alaşımlarıdır[10,12,13].

Biyomalzeme alanında polimerik malzemeler yumuşak dokulara benzer fiziksel özelliklere sahip olduklarından dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Polimer; küçük, tekrarlanabilir birimlerin oluşturduğu uzun-zincirli moleküllerdir. Tekrarlanan birimler, “mer” olarak adlandırılır. Senteze başlarken kullanılan küçük molekül ağırlıklı birimlere ise “monomer” adı verilir. Polimerizasyon sırasında, monomerler doymun hale gelerek (zincir polimerizasyonu) veya küçük moleküllerin yapıdan ayrılması ile (H₂O veya HCl) değişir ve “mer” halinde zincire katılır. Polimerlerin özellikleri, yapı taşları olan monomerlerden büyük farklılık gösterir. Bu nedenle uygulama alanına yönelik olarak uygun polimer seçimi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Polietilen, poliüretan, politetrafluoroetilen, poliasetal, polimetilmetakrilat, polietilenteraftalat, silikon kauçuk, polisülfon, polilaktik asit ve poliglikolik asit gibi çok sayıda polimer, tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır[11,14].



Şekil 2. İmplant Olarak Kullanılan Malzemeler

Vücudun zarar gören veya işlevini yitiren parçalarının onarımı, yeniden yapılandırılması ya da yerini alması için özel tasarımı seramikler geliştirilmiştir. Bu amaçla kullanılan seramikler biyoseramikler olarak adlandırılmaktadır. Biyoseramikler, biyo inert ve biyoaktif olmak üzere iki grupta incelenir;

(i) Biyoaktif seramik doku ve implant arasında kimyasal bağ oluşumuna izin veren seramik malzemedir.

(ii) Biyoseramikler; polikristalin yapılı seramik (alümina ve hidroksiapatit), biyoaktifcam, biyoaktif cam seramikler veya biyoaktifkompozitler(polietilen-hidroksiapatit) şeklinde hazırlanabilmektedir[15].

Kompozit, farklı kimyasal yapıdaki iki veya daha fazla sayıda malzemenin sınırlarını ve özelliklerini koruyarak oluşturduğu çok fazlı malzeme olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla kompozit malzeme, kendisini oluşturan bileşenlerden birinin tek başına sahip olmadığı özelliklere sahip olur. Kompozitler, yüksek dayanıma ve düşük elastik modülüne sahip olduklarından özellikle ortopedik uygulamalarda tercih edilir. Ayrıca kompozit malzemenin bileşimi değiştirilerek, implantın vücutta kullanım alanlarına göre mekanik ve fizyolojik şartlara uyum sağlaması kolaylaştırılabilir[10].

4. CAD/CAM Sistemlerinde Kullanılan Materyaller

CAD/CAM sistemlerinde seramikler, metal alaşımlar ve çeşitli kompozitler geniş bir materyal yelpazesini oluşturmaktadır. Genellikle kullanılan seramikler, alumina (daha sonra cam infiltrasyonuna izin verenler dahil), zirkonya ve porselen esaslı seramiklerdir[16,17,18].

Dental seramiklerle ilgili terminoloji birçok metinde farklılık göstermektedir. Bazı araştırmacılar ‘seramik’ terimini kullanırken diğer araştırmacılar ‘dental porselen’ terimini kullanmışlardır. Genelde ‘seramik’ terimi inorganik ametaller için kullanılan ortak bir terimdir[19].

Zirkonyum oksit seramikler, oksit seramiklerin en yüksek eğilme dayanıklılık değerleri ile karşılaştırılabilir özelliklere sahiptir[20]. Bu seramiklerin içerisinde yüksek oranda ZrO₂ (zirkonyum oksit) partikülleri bulunmaktadır. Sinterizasyon sonucunda oda sıcaklığında kısmen stabil olan tetragonal bir yapı oluştururlar. Oda sıcaklığında oluşan stabil yapının korunabilmesi amacıyla ZrO₂ içerisinde,

kısmen veya tam stabilizasyon sağlayan Y₂O₃ (itriyum oksit), MgO (magnezyum oksit), CaO (kalsiyum oksit) ve CaO₂ (seryum oksit) gibi farklı oksitler katılmaktadır[21]. Tam stabilize edilmiş zirkonyum oksit seramiklerde daha fazla oksit katkısı bulunmasına rağmen, Y₂O₃ ile kısmen stabilize edilen zirkonyum oksitin mekanik özellikleri tam stabilize edilmiş zirkonyum oksitten üstündür. Bu üstünlük Y₂O₃ katkısından kaynaklanmaktadır[20].

Yoğun zirkonyumdan oluşan materyallerin talaş kaldırarak şekillendirilmesi oldukça zordur. Bu nedenle eksiltme veya frezeleme yöntemini kullanan pek çok CAD/CAM sisteminde bu materyalin kısmen sinterize edilmiş hali kullanılmaktadır. Daha sonra restorasyonun dayanıklılığını artırmak için, restorasyonsinterizasyonun tamamlanmasına yönelik ısıtma işlemi tabi tutulmaktadır. Sinterizasyon işlemi, son sinterizasyon aşamasından önce rengin kişiye özel olarak uygulanmasına da olanak tanımaktadır. CAM sistemi, restorasyonun yoğunluğunu artırma sırasında oluşan 25-30% büzülmeyle kompanse etmek amacıyla, presinterize restorasyonun daha büyük hazırlanmasını sağlar[16,22,23]. Pek çok sistemde kısmen sinterize edilmiş zirkonyum oksit kullanılırken, DCS sisteminde yoğun olarak sinterize edilmiş, itriyumilesinterize edilen zirkonya (DC Zircon, Metoxit) seramikler de kullanılabilmektedir[22].

CEREC 3 ve CEREC InLab sistemlerinde feldspatik porselen olan ViÇizelgecks Mark II (VitaZahn-fabrik, BadSackingen, Almanya), ProCAD (IvoclarVivadent, Schaan, Lichtenstein), In-CeramZirkonia bloklar (VitaZahnfabrik) ve rezin esaslı kompozit olan Paradigm MZ100 (3M ESPE, St Paul, Minn) hazır bloklar kullanılmaktadır [24,25]. Polimer esaslı materyaller intraoral uyumlama, parlatma, okluzal veya interproksimal bölgelere yapılabilen ilaveler açısından porselenlere göre avantajlı görünse de, düşük aşınma direnci ve eğilme dayanıklılığı açısından dezavantajlıdır[26]. ViÇizelgecks Mark II konvansiyonel feldspatik porselenlere göre daha dayanıklıdır. ProCADliosit kristalleri içermektedir ve özellikleri IPS Empress'e (IvoclarVivadent) benzemektedir. Paradigm MZ100 ise mikrometre ve sub-mikrometre zirkonya-silika doldurucuları içermektedir. Bu blokların monokromatik olmalarının estetiği etkilediği düşünülürse, alternatif olarak içinde değişen renk yoğunluklarında (3 renk) ViÇizelgecksTriLuxe (VitaZahn-fabrik) de kullanılabilmektedir[18,24].

Metalik malzemeler içerisinde özellikle titanyum üstün biyouyumluluk, korozyona direnç ve ince işlenebilirliği sayesinde en çok tercih edilen metal grubudur. Soy metallerle oranla maliyetleri daha düşüktür. Döküm teknikleri ile yapılan geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında, CAD/CAM sistemlerinde kullanılan tüm metal blok materyaller endüstriyel olarak üretildiği için malzemelerde porozite boşlukları bulunmadığından dayanıklılıkları daha yüksektir ve malzemeler homojendir[27].

5. Dental İmplantların Üretiminde Cad/Cam Sistemlerin Kullanılması

CAD/CAM uygulamaları beraberinde birçok avantajı da getirmiştir. Geleneksel ölçü alma yöntemlerini ortadan kaldırmıştır ve bekleme sürelerini kısaltmıştır[28,29]. Daha iyi restoratif materyallerin daha kısa süre içinde elde edilmeleri sağlanmıştır. Hata potansiyelini oldukça azaltmış ve indirektrestorasyonlardan kaynaklanabilecek muhtemel çapraz kontaminasyonların da önüne geçmiştir[30]. Diş hekimliğinde CAD/CAM sisteminin kullanılmasıyla seramik materyallerin kondensasyon, eritme, kaynaştırma işlemleri nispeten azalmıştır[31].

CAD/CAM sistemlerinin avantajlarından birisi de tek seanslı uygulamalar yapılabildiği için hem hastalar hem hekimler için zaman kaybının olmamasıdır. Bu sayede çeşitli klinik problemlere yol açabilecek ölçü almanın yanı sıra geçici krom hazırlama gibi zorunluluklarda ortadan kalkar ayrıca bu faktörlerin elimine edilmesi küçük de olsa ekonomik kazançla sebep olur. CAD yazılımları sayesinde CAD/CAM sistemlerden hastalar kadar kazançlı çıkan başka bir grup ise laboratuvar teknisyenleridir. Alt yapılar ve restorasyonlar CAD yazılımlarıyla dizayn edildikleri için teknisyenlerin işleri kolaylaşmaktadır[32] (Çizelge 1).

Çizelge 1. Farklı üreticilere ait CAD/CAM sistemlerde kullanılabilen materyaller

Bilgisayar Destekli Üretilen Seramik Restorasyon Sistemleri	PolymerEsaslı Materyal	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Titanyum	Soy olmayan metaller	Soy Metaller	Silikat Seramik	ZrO ₂ -Pöröz	ZrO ₂ -Yan Sinterlenmiş	ZrO ₂ -Yoğun Sinterlenmiş	ZrO ₂ Blok
Atlantis ZimmerDental				X		X					X
BegoCeram		X	X								
BegoMedical				X	X	X					
CADCOM4											
ce.novation		X	X								
CentraDent			X						X		
Cercon			X					X			
Cerec		X	X				X		X	X	X
Cynoved Neo ^(TM)	X	X	X	X					X		X
Cyrtina	X		X						X		
DentaCAD	X		X	X	X			X	X		X
diadem		X	X						X		
DienerScanTec											
DigiDent		X	X	X			X	X	X		X
Etkon	X	X	X	X	X				X		X
Everest	X		X	X			X		X	X	X
FreeForm [®] Modeling TM											
GN-1	X	X	X	X			X	X	X		
Incise											
infiniDent		X	X		X	X	X	X	X	X	
Lava			X						X		
Perfactory	X										
Precident-DCS	X	X	X	X			X		X	X	X
Premium-Dental-System											
Procera		X	X	X						X	
RX-D					X	X					
Wol-Ceram		X						X			
XSM-3d DentalScanner											
ZenoTecSystem	X	X	X	X	X				X		

6.Yöntem

Tasarım konsepti belirli aşamaları içermektedir(Şekil 3);

**Şekil 3.** İmplant üretim döngüsünün şematik gösterimi

A- Dataların Bir Tarayıcı Tarafından Kaydedilmesi: Scanner

Sistemin bilgi toplayan parçasıdır. Diş hekiminin yaptığı diş preparasyonunu, komşu dişleri ve okluziyadaki dişlerin geometrisini intraoral ya da ekstraoral olarak tarar(Şekil 4). Temelde iki farklı görüntüleyebilme seçeneği vardır;



Şekil 4. CAD/CAM Implant Abutment Tarayıcı

i) Optik Tarayıcı

Bu tarayıcı seçeneğinin temelinde triangülasyon prosedürü diye isimlendirilen yapıların üç boyutlu görüntüsünün elde edilmesi vardır. Beyaz ışık, renkli ışık ya da lazer projeksiyonu kullanılarak güdük üzerinden optik tarama yapılır. Işık kaynağı ve reseptör ünite birbirleriyle uygun açıda yerleşmelidir. Optik tarayıcıların çoğu harekete duyarlıdır. Bu nedenle optik tarayıcılar ile veri toplanırken, hastanın oluşturduğu en ufak hareket bile, verilerin hatalı kaydedilmesiyle sonuçlanabilmektedir. Hızlı ve yüksek çözünürlükte verilerin elde edilmesi optik tarayıcıların avantajlarıdır. Birçok CAD/CAM sisteminde tarayıcı, sistemin bir parçasıdır ve yalnızca uygun CAD yazılımı ile çalışmaktadır[33](Şekil 5).

ii) Mekanik Tarayıcı

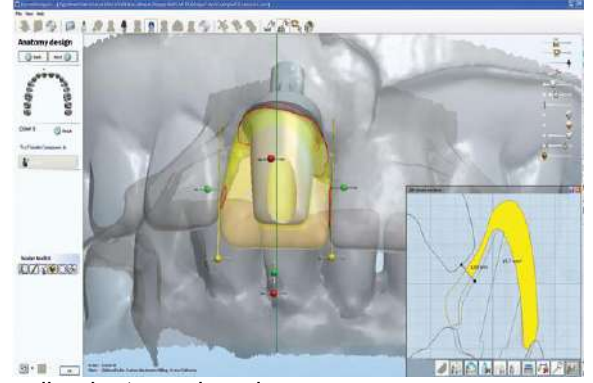
Mekanik tarayıcıda iğne ucu, küre ya da pin kullanarak güdük üzerinden mekanik tarama yapılır. Bu görüntüleme ana modelin mekanik olarak üç boyutlu ölçümü yapılır. Yüzeyin taranarak verilerin elde edilmesi aşaması CAD/CAM sistemleri arasında farklılık göstermektedir[33] (Çizelge 2).

Çizelge 2. CAD/CAM tarayıcı sistemleri

CAD/CAM Sistemi	Dijital Okuma			
	Mekanik	Optik		
		Ekstraoral	Intraoral	Işık Kaynağı
Lava®		+		Beyaz Işık
ce.novation	+	+	+	Rastgele
Pro 50™ WaxPro™		+		Beyaz Işık
DCS Precident®		+		Lazer
DECIM		+		Lazer
Cercon® smartceramics		+		Lazer
Perfactory®	+	+	+	Görünür Işık
Bego Medifactory		+		Beyaz Işık
Etkon		+		Lazer
GN-I		+		Lazer
diGident		+		Beyaz Işık
ZFN-Verfahren, Xawex		+		Lazer
Dentalsystem				
Everest®		+		Beyaz Işık
Celay®	Kopyalama			
Procera®	+			
Tricione 90	+			
CEREC®		+	+	Beyaz Işık
EDC®		+		Lazer
WOL-CERAM		+		Lazer
ATLANTIS		+		Lazer

B-Bu dataları uygun restorasyon haline getirecek sistem: Software(Yazılım)

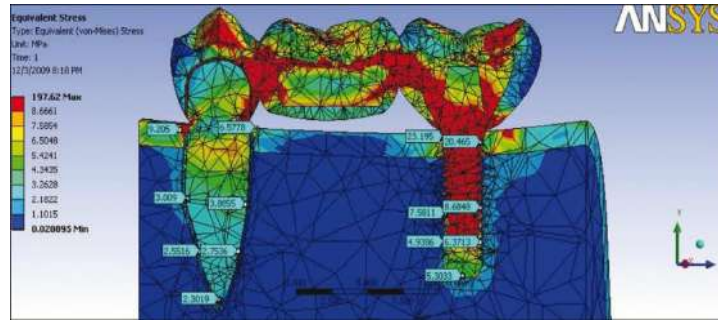
Bilgisayar ekranında restorasyonun üç boyutlu dizaynı ve planlamasının yapılabilmesi için bir bilgisayar ünitesi içerir. Kişiye özgü adapte edilmiş restorasyonun dizaynına ve üretilmesine izin veren birçok yazılım programı geliştirilmiştir. Kullanıcı CAD yazılımında bulunan şablonları direkt kullanabileceği gibi, modifikasyonlar oluşturarak kendi tasarımını da yapabilmektedir. Yazılım programları genellikle CAD/CAM sistemine özgüdür ve diğer sistemlerle uyumluluk göstermemektedir. Restorasyonun tasarımı tamamlandığında, CAD yazılımı sanal modeli farklı bir formata dönüştürerek CAM ünitesinin üretime geçmesini sağlamaktadır[33](Şekil 6).



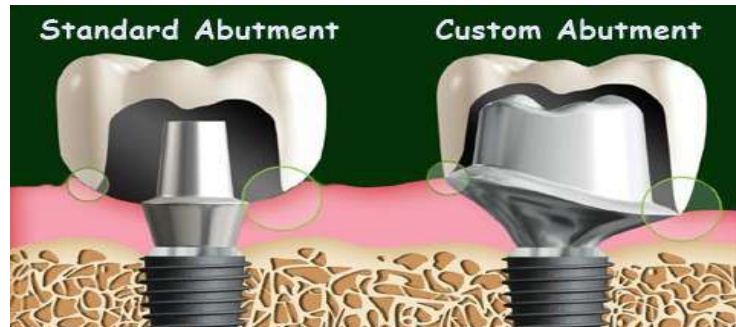
Şekil 6: CAD/CAM dentalimplant uygulamaları

C-Sonuç restorasyonu ortaya çıkaracak üretim teknolojisi: Hardware (Donanım)

Dizayn edilen implant tasarımı sonlu elemanlar yönetimiyle dijital ortamda analiz edilir(Şekil 7). Sonlu elemanlar gerilme analizi çalışmalarında amaç, üzerlerine yük uygulanan cisimlerin yapısal bütünlüklerinin bozulacağı durumlar karşısında yapısal bütünlüğünü bozabilecek zayıf noktaların hangilerinin olduğunun araştırılmasıdır. Bu sayede vida çevresinde gerçekleşen maksimum gerilme ve deformasyonların nerede oluşacağı tahmin edilebilmektedir. Analizden başarı ile geçen tasarımlar 3B yazıcı cihazına gönderilir. Sonlu elemanlar yönetimde başarılı bulunmayan tasarımlar yeniden tasarlanmak üzere gözden geçirilir.3B yazıcı cihazına gönderilen tasarım yazdırılarak kişiye özgü implant üretilir(Şekil 8).



Şekil 7. Sonlu elemanlar yöntemi ile implant uygulamaları



Şekil 8. 3 boyutlu yazıcı ile kişiye özgü implant üretimi**7. Sonuçlar**

Çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki; gelişen yöntemler ile birlikte kişiye özgü implant tasarımı ve üretimi mümkündür. Bu üretim sürecinde izlenilmekte olan ilk aşamamalzeme seçimidir. Hastanın ağız morfolojisi ve fizyolojisine uygun olarak seçilen malzemeninCAD/CAM sistemleri ve 3B yazıcı sistemler için de kullanılabilirliğinin mevcut olup olmadığına bakılır. Malzeme seçim işlemi tamamlandıktan sonra tarama işlemi gerçekleştirilir. Tarama ile bilgisayara aktarılan veriler CAD/CAM ile dizayn edilereksonlu elemanlar yönteminde analiz edilerek son aşama olan 3B yazıcıya gönderilir.

Bu yöntem sürecinin sağladığı birçok avantaj vardır. Geleneksel ölçü alma yöntemlerini ortadan kaldırarak bekleme sürelerini kısaltmıştır. Materyallerin daha kısa süre içinde elde edilmeleri sağlanmıştır. Standart abutmentler yerine hasta ile birebir uyumlu abutmentlerin üretilmesi, hastaya hem estetik hem fonksiyonel açıdan fayda sağlamaktadır. Hasta ile implant uyum oranının artması hastaların almış oldukları sağlık hizmetindeki memnuniyet oranını arttıracaktır. Bu avantajlar ve gelişen teknolojiler göz önüne alındığında; kişiye özgü implant üretimi,3 boyutlu yazıcılar ile daha mümkün olmakta ve uygulanan tedavi verimini önemli ölçüde arttırmaktadır.

Referanslar

1. Tunalı,B.(2000)Oral implantology.İstanbul:Nobel Tıp Kitabevleri.
2. Theglossary of prosthodontic terms,2005,aktaran: GEÇKİLİ, Onur, et al. Parsiyel dişsizliğin dentalimplantlar ve teleskop tutuculu protezler ile tedavisi: Bir Olgu Sunumu. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2012.3 (2012).
3. Bakke,2002,aktaran: GEÇKİLİ, Onur, et al. Parsiyel dişsizliğin dentalimplantlar ve teleskop tutuculu protezler ile tedavisi: Bir Olgu Sunumu. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2012.3 (2012).
4. Steveling,2001,aktaran: GEÇKİLİ, Onur, et al. Parsiyel dişsizliğin dentalimplantlar ve teleskop tutuculu protezler ile tedavisi: Bir Olgu Sunumu. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2012.3 (2012).
5. Doundoulakis,2003,aktaran: GEÇKİLİ, Onur, et al. Parsiyel dişsizliğin dentalimplantlar ve teleskop tutuculu protezler ile tedavisi: Bir Olgu Sunumu. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2012.3 (2012).
6. Gültekin,P ve Turp,V.(2015).Kişiyi Özel Dayanaklar.Türkiye Klinikleri Journal of Prosthodontics,1(1):69-76
7. Çimen,H.Diş implantının tarihçesi,www.doktorsitesi.com/makale/dis-implantin-tarihcesi adresinden 12 Mart 2016 tarihinde erişildi.
8. Güven,OveKeskin,A.(2001). Preprotetik Cerrahi, Ankara:Çağdaş yayınları.
9. Hans,1990,aktaran: Özcan,Erkan. et al. Derleme: Dentalimplantlarda başarısızlık nedenleri.Mustafa Kemal Üniversitesi Tıp Dergisi1.3 (2010).
10. Park,2003,aktaran:Pekşen,C. ve Doğan,A.İmplant dayanımı.Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği10.2(2011).
11. Altıntaş,1994,aktaran:Pekşen,C. ve Doğan,A. İmplant dayanımı.Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği10.2(2011).
12. Ratner,1996,aktaran:Pekşen,C. ve Doğan,A. İmplant dayanımı.Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği10.2(2011).
13. Silver ,1999,aktaran:Pekşen,C. ve Doğan,A. İmplant dayanımı.Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği10.2(2011).
14. Silver,1989,aktaran:Pekşen,C. ve Doğan,A. İmplant dayanımı.Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği10.2(2011).
15. Hench,1993,aktaran:Pekşen,C. ve Doğan,A. İmplant dayanımı.Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği10.2(2011).
16. Strub,2006, aktaran : Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
17. Raigrodski, 2004, aktaran : Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
18. Fasbinder,2005, aktaran : Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
19. Ersu B,2007,aktaran:Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
20. Akagawa,1993,aktaran:Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
21. Ardlin,2002,aktaran:Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
22. Bindl,2007,aktaran:Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.

23. Filser,2001,aktaran: Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
24. Giordano,2006,aktaran: Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
25. Akbar,2006,aktaran: Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
26. Fasbinder,2006,aktaran: Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
27. Ersu, B. Yüzügüllü,B. ve Canay.Ş.(2008). Sabit Restorasyonlarda CAD/CAM Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 32, 58-72.
28. Palin,2006,aktaran: Karaalioğlu,O ve Duymuş,Z.(2008). Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 1,25-32.
29. Duret,1991,aktaran: Karaalioğlu,O ve Duymuş,Z.(2008). Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 1,25-32
30. Mörmann, 1997, aktaran: Karaalioğlu,O ve Duymuş,Z.(2008). Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 1,25-32
31. Heffernan,2002,aktaran: Karaalioğlu,O ve Duymuş,Z.(2008). Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 1,25-32.
32. Feuerstein,2004, aktaran: Karaalioğlu,O ve Duymuş,Z.(2008). Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi,1,25-32.
33. Kalaycı,B,BveBayındır,F. "Güncel dental bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim sistemleri." Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 11.11 (2015).

KİŞİYE ÖZGÜ REFLEKSOLOJİ TABANLIKLARIN TASARIMI

Berat Barış BULDUM^a, Çağdaş YILMAZ^b, Ali AKDAĞLI^b, Ezgi KARA^a

a, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin/Türkiye, bsk-ekara@hotmail.com

b, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin/Türkiye, bmmcagdas@gmail.com

Özet

Günümüzde ağrı kontrolünde farmakolojik yöntemlerin kullanılmadığı durumlarda buna alternatif olarak yararlanılan bir yöntem olan refleksolojinin, son yıllarda yapılan araştırmalarda etkili olduğu kanıtlanmış ve klinik kullanım oranı artmıştır. Sağlık sektöründe refleksoloji tabanlıkları kullanılmaktadır. Tedavi almakta olan hastaların ayak fizyolojileri ve taban yüz ölçümleri doğal olarak birbirlerinden farklıdır. Bu farklılık tabanların yüzeye uygulamış oldukları bası kuvvetlerinin ilgili doku ve organların sinir uçlarına tam ve doğru iletimin sağlanmasını engellemektedir. Buna bağlı yapılan tedavinin yetersiz kaldığı, hatta yanlış sonuçlara yol açabileceği söylenebilmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, 3 boyutlu baskı teknolojileri yöntemi kullanılarak, kişiye özgü ayak tabanlıkları üretilmesi mümkündür.

Anahtar kelimeler: Refleksoloji, Ayak tabanlığı, 3 Boyutlu Yazıcı

PERSONAL REFLEXOLOGY FOOTPAD MANUFACTURING WITH 3D PRINTER

Abstract

Recently, the use of pharmacological methods of pain control in cases where it is used reflexology as an alternative. Also in research, it has proved to be effective reflexology and increased clinical usage rate. There flexology in soles are used in the health industry. Patients foot phisology and foot padarea are have to be different to each other. It causes different forces to be transmitted from the ground to the footpad. This situation prevents the provision of tissue and organ conduct of nerveending. Consequently the applied treatments remaininad equate. 3D printing technology could be used available to eliminate this problem.

KeyWords: Reflexology, Footpad, 3D Printing

1. Giriş

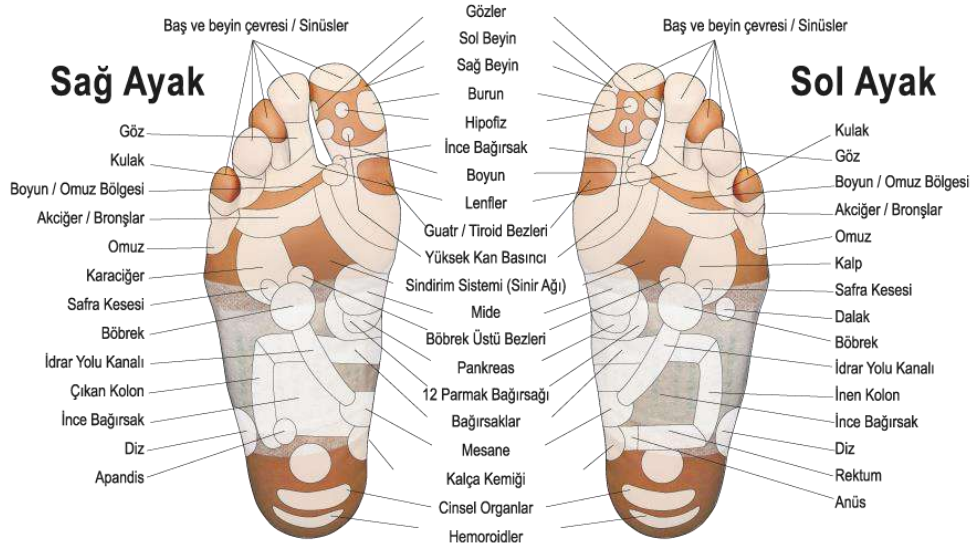
Refleksoloji alternatif tıp uygulamalarından bir tanesidir. Sözcük kökenindeki refleks terimi"yansıma, aksetme" anlamına gelmektedir. Tüm organların; el, ayak, gözbebeği ve kulaklarda yansıdığı bir refleks noktası bulunmaktadır. Refleksoloji, Uluslararası Refleksoloji Enstitüsü tarafından "tüm salgı bezleri, organlar ve vücut bölümleri ile ilişkili olan ellerde, ayaklarda ve kulaklardaki refleks noktalarına elle uygulanan, vücut fonksiyonlarının normalleşmesine yardım eden bir teknik" olarak tanımlanmıştır. Refleksoloji uygulamalarında; ayak bölgesi, diğer bölgelere oranla daha yaygın tercih edilmektedir [1].

Günümüzde alternatif tıp tedavilerine olan ilgi giderek artmaktadır. Güncel tedavi yöntemlerine karşı duyulan kuşku ve olası yan etkilerden korku, yüksek maliyetli yeni teknolojilere ulaşımındaki güçlük, hastalıkların ve hasta sayılarının artmasına karşı sağlık kuruluşlarındaki yetersiz hizmetler bu ilginin kaynaklarından bazılarıdır [2].Ulusal Sağlık Görüşme Anketi (NHIS) yetişkinlerin yaklaşık %38'inin Alternatif ve Tamamlayıcı Tedavi (TAT) yöntemlerini kullandıklarını belirtmektedir[3].

Refleksoloji, iyileşmeyi sağlamak için, refleks noktalarına ovma, sıvazlama ve sıkma hareketleri ile basınç uygulanarak gerçekleştirilen özel bir basınç tekniği ve enerjidengeleme sistemidir. Refleksoloji; ayak ve eldeki sinir noktalarını belirli tekniklerle uyarmanın ortaya elektrokimyasal mesajları çıkardığını bununda nöronların yardımı ile ilgili organı uyardığını savunur[1]. Uygulanan basınç ve masaj ile enerji blokajı kırılır sonuçta serbest enerji akımının ilgili organlara dengeli bir biçimde yayılmasına yardımcı olunur. Refleksoloji vücudun kendi kendini iyileştirme gücünü harekete geçirir ve vücudu canlandırır. Bu nedenle beden, zihin ve ruhu içeren bütünsel bir tedavi yöntemidir [4,5].

Refleksojinin vücuttaki uygulama noktalarından biri olan ayak bölgesi, sinir uçlarının yoğun bulunduğu bir bölgedir (Şekil 1).Bu bölgedeki sinir noktalarının uyarılmasında yardımcı olabilecek refleksoloji tabanlıkları kullanılmaktadır. Bu tabanlıkların standart kalıplar kullanılarak üretilmesi, yapılmak istenen tamamlayıcı tedavinin verimini düşürmektedir. Çünkü her birey farklı anatomik yapıya sahip ayak tabanına sahiptir. Dolayısıyla ayak tabanındaki sinir uçlarının yerleşimi, kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Bu nedenle

bireylere özgü tabanlık üretilmesi verimliliği arttıracaktır. Bu çalışmada kişiye özgü refleksoloji tabanlık üretim yöntemleri ele alınacaktır.



Şekil 1. Refleksoloji Ayak Taban Haritası[6].

2.Tarihçe

2.1. Refleksolojinin Tarihi

Refleksoloji yaklaşık 12 bin yıllık geçmişi olan eski bir uygulamadır ve 4000 yıl önce ilk uygulanma yeri olan Mısır'da hastalıkları vücuttan enerji akışını sağlayarak ortadan kaldırmak amacı ile uygulanmış, resimli yazılarla tasvir edilmiştir [7](Şekil 2).Refleksolojinin farklı formlarının ise Çin ve Amerikan Kızılderili kabileleri tarafından kullanıldığına dair kanıtlar vardır[8]. Çin halkına ait eski yazılar incelendiğinde, parmaklar ve ellerin kullanılmasıyla gerçekleştirildiği bir basınç terapisinin betimlenmesine rastlanmıştır [9]. Dynasty (AD 960-1280) sağ el ve ayaktaki özel noktalara basınç uygulamanın bele ait kas zorlanmalarında tedavi edici olduğunu tanımlamıştır. Refleksoloji 500 yıl önce Hindistan'da, modern refleksoloji ise 100 yıl önce ortaya çıkmıştır. Refleksoloji 1913 yılında Amerika'da yeniden doğmuş, Bekterev tarafından 1917 yılında refleksoloji terimi ifade edilmiştir [10]. Refleksoloji, 20. Yüzyılın erken dönemlerinde Hartford'da kulak-burun-boğaz doktoru olan Fitzgerald tarafından ise yeniden keşfedilmiş ve refleksoloji bölgesel terapi olarak yeniden adlandırılmış, Fitzgerald bu terapiyi anestezinin bir formu olarak tanımlamış, ağrıyı azaltma odaklı çalışmış [11,12], tedavi yöntemi Avrupa'da ve birkaç Amerika eyaletinde birçok enstitüde kullanılmış ve popülerite kazanmıştır [10]. Çağdaş refleksolojinin kurucusu olarak bilinen Ingham'da bölgesel terapinin üzerine çalışmış ve organlara ait semptomların eller ve ayaklar üzerindeki basınç noktalarında çalışarak hafifletilmesine ilişkin çalışmalar yapmış, 1930 yılında ayaklarda ellere göre daha fazla ağrıyı azaltıcı nokta olduğunu keşfetmiştir [13].Zaman içerisinde ise Amerika'nın birçok eyaleti başta olmak üzere, Avusturya, Yeni Zelanda, Singapur, Avrupa, İsrail, Kuzey Afrika ve Kuzey Amerika'da refleksoloji eğitimi veren okullar açılmış, konu ile ilgili önemli gelişmeler sağlanmıştır. Çin'de, Danimarka'da ve İngiltere'de ise en sık kullanılan alternatif ve tamamlayıcı tedavi yöntemi refleksolojidir [13,9].



Şekil 2. Refleksoloji Alanındaki ilk uygulamalar

2.2. Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihi

1984; İlk 3B yazıcı, stereolithography(SLA) teknolojisi kullanılarak Charles Hull tarafından geliştirildi[13].

1986; 3B yazıcılar üzerine 3DSystems adında ilk şirket kuruldu[14](Şekil 3).



Şekil 3. 3B Systems Şirket

1988; 3BSystems tarafından üretilen, SLA-250 adında ilk yazıcı tanıtıldı. –Seçici Lazer Sinterleme (SLS) ve Eriyik Yığılma Modelleme (FDM) teknolojileri bulundu[14](Şekil 4).



Şekil 4. SLA-250

1989; FDM teknolojisinin bulucusu ScottCrump tarafından, Stratasys isimli 3B yazıcı şirketi kuruldu[14](Şekil 5).



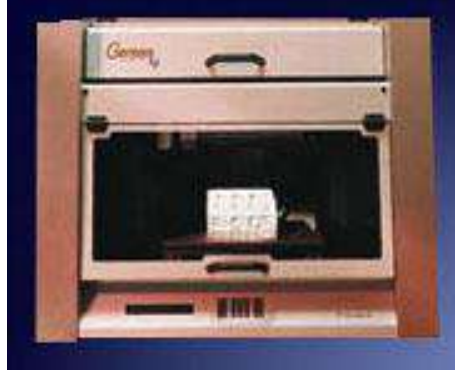
Şekil 5. Stratasys Şirketi Logosu

1993; Massachusetts Institute of Technology(MIT), 2 boyutlu yazıcılarda ki Injet teknolojisini kullanarak yeni bir teknoloji geliştirdi ve bu teknolojiye 3 Boyutlu Yazıcı (3DP) adı verildi. Bu teknoloji sayesinde renkli baskılar yapılabilindi[14](Şekil 6).



Şekil 6. 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisi

1995; Z Corporation şirketi, MIT'ye lisans ücretini ödeyerek 3DP teknolojisini kullandı ve 3B yazıcı satışına başladı. 1996; StratasysGenisys3DSYSTEMS Actua2100 Z Corporation Z402 2005; Z Corporation'un tasarladığı Spectrum Z510, yüksek çözünürlüğe sahip ilk yazıcı tasarlandı. Ayrıca bu yazıcı renkli baskı özelliğinede sahiptir[14](Şekil 7).



Şekil 7. Genesys 3D Systems

2007; Reprap ismi ile, açık kaynak kodlu 3B yazıcılar çıktı. Bunun sayesinde 3B yazıcılara ulaşma ve onları geliştirme imkanı arttı[14](Şekil 8).



Şekil 8. Reprap

2008; Object Geometries şirketi, Connex500'u geliştirdi ve bu ürün ile aynı anda farklı malzemeler kullanılarak 3 boyutlu ürün oluşturulabilindi(Bu şirket 2012 yılında Stratasys ile birleşti)[14] (Şekil 9).



Şekil 9. Connex 500

2009 ; Bu yıl itibariyle Makerbot ve 3D Systems'in geliştirdiği Cubify gibi modeller ile ev tipi 3B yazıcılarda artış oldu ve devamında birçok yeni marka oluştu[14](Şekil 10).



Şekil 10. Çeşitli 3D Yazıcı Modelleri

3. Refleksolojinin Etki Mekanizması Ve Kullanım Alanları

3.1. Refleksolojinin Etki Mekanizması

Refleksolojinin çalışma mekanizması vücudun tüm alanlarında iyileşmeyi sağlayan gizli enerji hareketidir. Refleks noktalarına basınç uygulanması ile periferik ve santral sinir sistemi uyarılır ve beyine bilgi akımı gerçekleşir. Refleksolojide bu etkilerin açıklanmasında bazı teoriler yer alır. Bunlar:

3.1.1. Enerji teorisi: Bu teoriye göre refleksoloji vücutta elektromagnetik alanlar arasında iletişimi sağlar. Zaman zaman enerji bloklarının meydana gelmesini ve zaman zaman da enerji akışına neden olarak, tıkanmış kanallardaki enerjinin tekrar dolaşmasına yardımcı olur.

3.1.2. Laktik asit teorisi: Refleksoloji laktik asitin ayaklarda mikrokristaller olarak kristallendiğini ve refleksolojinin bu kristalleri eriterek serbest akımına izin verdiğini savunur. Refleks bölgelerine yapılan baskı kalsiyum, laktat ve ürik asit kristallerinin emiliminde ve azalmasında etkili olması nedeniyle bu süreç "detoksifikasyon" olarak adlandırılmaktadır [15].

3.1.3. Sinir reseptörlerini algılama teorisi: Ayaklardaki reflekslerin organları etkilediğini ve vücuttaki organlar ile bu refleks bölgeleri arasında bir bağlantının olduğunu söyler. Nöronların yardımıyla ilgili organların uyarıldığını, gevşeme ve rahatlık oluşturduğunu, bu gevşemenin otonom yanıtı, endokrin, immün ve nöropeptit sistemi etkilediğini savunur.

3.1.4. Endokrin salınım teorisi: Refleksoloji duyuşsal uyarılarla aşırı yüklenen sinir yollarını açarak endorfin alımını uyarır. Bu maddenin duyuş durum ve stres ile ilişkisinin olduğu düşünülür ve morfinden 5 kat daha fazladır.

3.1.5. Terapatik ilişki: Dokunma ile enerji alışverişi yapılarak iyileşmenin sağlanmasıdır. Tüm bu teorilerin amacı; vücuttaki enerjiyi dengelemektir. Refleksoloji, inaktive olmuş bölgeleri uyararak ya da aşırı aktive olanları yatıştırarak tüm vücut sistemlerini dengelemeye yardım eder [5,16,17,18]

3.2. Refleksolojinin Kullanım Alanları

Refleksolojinin başlıca kullanım alanları: Panik atak, stres-anksiyete-depresyon [19], yorgunluk [20-22], uykusuzluk, ruhsal sıkıntı, migren, bel ve sırt ağrısı, romatizmal kas ağrıları ve spazmı azaltma [20,21,23], tiroid fonksiyon bozuklukları, kan şekeri dengeleme, kabızlık [23], hazımsızlık, depresyon, dismenore [19,25], astım, bazı üriner sistem sorunlar, egzama, bazı alerjiler, bağışıklık sistemini aktive etme, enfeksiyon süresini kısaltma, karpaltunel sendromu, kan dolaşımını düzenleme [21,26,27], kanser ağrıları ve kemoterapinin yan etkilerini hafifletme, bulantı ve kusmayı rahatlatma [21,28,29,30], doğum sürecinde, sonrasında ağrıyı azaltmak veya artırmak, servikaldilatasyonu artırmak, postpartumdönemde uterusinvolüsyonuna yardım ve süt salınımını kolaylaştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır [1,4,5,16,31,32].

3.2.1. Refleksolojinin Ağrı Kontrolünde Kullanımı

Farklı alanlarda gerçekleştirilen çeşitli klinik araştırma sonuçları refleksolojinin ağrı kontrolünde destekleyici bir yöntem olduğunu göstermektedir. Oleson ve Flocco(2007) refleksolojinin premenstrual semptomlara olan etkisini incelemek amacı ile yaptıkları çalışmada, refleksolojinin hastaların deneyimledikleri ağrı şiddetini azalttığını belirlemiştir [33]. Bolsoy(2008) tarafından perimenstrüel distressin hafifletilmesinde refleksolojinin etkinliğini incelemek amacı ile 64 üniversite öğrencisi ile yapılan araştırmada da, kulak, el ve ayak bölgelerine uygulanan refleksolojinin perimenstrüel distress puanlarını ve premenstrüel dönem semptomlarından algılanan ağrı skor düzeyini azalttığı bulunmuştur [11]. Poole ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada; kronik bel ağrısında refleksolojinin etkisini incelemişler ve hastaların algıladıkları ağrı düzeyinin azaldığı bulunmuştur [34]. Dolatian ve arkadaşları (2011) doğum süreci yeni başlamış hamilelerde yaptıkları çalışmada refleksolojinin doğum ağrısına etkisini incelemişler ve refleksolojinin algılanan ağrının şiddetini azalttığını saptamışlardır [35]. Smith ve arkadaşları (2012) yaptıkları benzer bir çalışmada da refleksolojinin doğum ağrısını azalttığını bulmuşlardır [36,18].

Stephenson ve arkadaşları (2000) tarafından göğüs ve akciğer kanseri tanısı almış hastalar üzerinde 30 dakika uygulanan ayak refleksolojisinin ağrıya etkisini incelemek amacı ile yapılan çalışmada, deney grubunda ağrı skorlarının istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azaldığı saptanmıştır [37]. Stephenson ve arkadaşları (2007) tarafından farklı kanser tanısı alan hastalarla yapılan çalışmada, refleksolojinin hastaların ağrı skor düzeylerine etkisi incelenmiştir. Hastalara 24 saat içerisinde 30'ar dakika olmak üzere 2 kez refleksoloji uygulanmıştır. Araştırmanın sonucunda, hastaların ağrı skorlarında azalma olduğu ve opioid ihtiyaçlarının azaldığı belirlenmiştir [12]. Park ve arkadaşları (2006) opere olmuş meme kanseri

tanısı almış hastalara uyguladıkları refleksolojinin hastaların algıladıkları ağrı düzeylerini olumlu yönde etkilediğini bulmuşlardır [38]. Sharp ve arkadaşları (2010) tarafından opere olmuş meme kanseritanısı almış hastalara uygulanan refleksolojinin hastaların algıladıkları ağrıyı azalttığı saptanmıştır [39]. Wyatt ve arkadaşları meme kanseri tanısı almış ve kemoterapi tedavisi gören kadın hastalarda refleksolojinin yaşam kalitelerine olan etkisini inceledikleri çalışmalarında birçok semptomun yanı sıra ağrıyı da azalttığını belirlemiştir [40].

Poole ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada; kronik bel ağrısında refleksolojinin etkisini incelemişler ve hastaların algıladıkları ağrı düzeyinin azaldığı bulunmuştur [34]. Quinn ve arkadaşları (2008) tarafından refleksolojinin bel ağrısına olan etkisinin incelendiği bir çalışmada; hastalar her hafta kırk dakika olmak üzere altı hafta boyunca refleksoloji uygulanmış ve hastaların ağrı skorlarında azalma olduğu belirlenmiştir [33]. Aynı hasta grubunda Eghbal ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada da iki hafta süresince 40 dakika uygulanan refleksolojinin hastaların ağrısını azalttığını bulmuşlardır [41].

Khan ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada; romatoid artritli hastalarda haftada bir seans olmak üzere altı hafta boyunca uygulanan refleksolojinin hastaların algıladıkları ayak ağrı skorlarını olumlu yönde etkilediği saptanmıştır [42]. Siev- Ner ve arkadaşları (2003) tarafından multiple sklerozlu hastalarda yapılan araştırmada; refleksolojinin multiple sklerozun semptomlarını hafifletmede etkili olduğu, hastaların algıladıkları ağrı şiddetini azalttığı belirlenmiştir [43]. Hughes ve arkadaşları (2009) refleksolojinin multiple sklerozlu hastaların deneyimlediği ağrı ve diğer semptomlara olan etkisini inceledikleri çalışmalarında, refleksolojinin hastaların algıladıkları ağrıyı anlamlı düzeyde azalttığını bulmuşlardır [33]. Gunnarsdottir ve Peden-McAlpine (2010) refleksolojinin fibromiyalji hastalarda semptomlara olan etkisini inceledikleri çalışmalarında; refleksolojinin özellikle baş, boyun ve kollarda deneyimlenen ağrıyı önemli düzeyde azalttığını belirlemiştir [44].

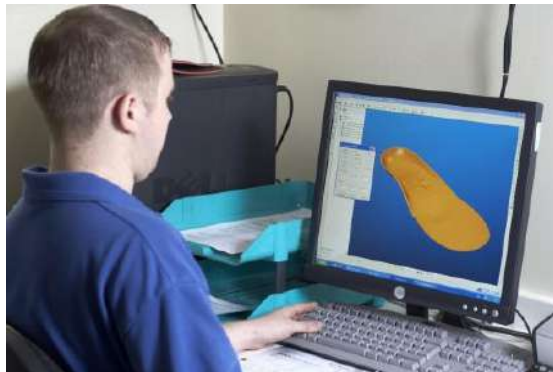
Launso ve arkadaşları (1999) tarafından refleksolojinin kronik baş ağrısı üzerine etkisinin değerlendirildiği araştırmada, hastalara 6 ay süre ile refleksoloji uygulanmış ve refleksolojinin hastaların iyileşmesine, enerji düzeylerinin yükselmesine, baş ağrılarının nedenlerini algılamalarına yardımcı olduğu, algıladıkları ağrı şiddetinin azaldığı saptanmıştır [45].

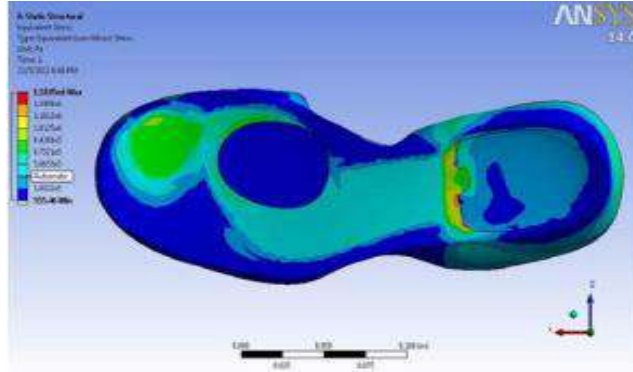
Hodgson ve Andersen (2008) demanslı yaşlı bireylerde refleksolojinin psikolojik distrese, ağrı ve demans semptomlarına etkisini değerlendirmek amacı ile yaptıkları bir araştırmada, refleksolojinin ağrı ve ruhsal gerginlik düzeyini azalttığını saptamışlardır [46,18].

Özdemir ve arkadaşları tarafından (2013) yapılan çalışmada; haftalık periyodlar halinde her bir seansı 30 dakika sürerek uygulanan refleksolojinin hemodiyaliz hastalarının deneyimlediği ağrı şiddetini azalttığı bulunmuştur [47]. Samuel ve Ebenezer (2013) akut ağrı deneyimleyen sağlıklı bireylerde refleksolojinin uygulanan girişimlere yönelik bireylerin ağrı eşikini ve toleransını arttırdığını belirlemiştir [48].

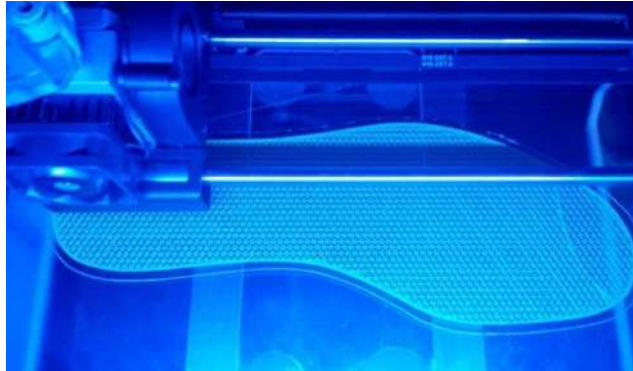
3. Yöntem

Ayak tabanında tüm organlara karşılık gelen sinir noktaları bulunmaktadır. Organların işleyişinde meydana gelen herhangi bir aksaklık durumunda, ilgili organa karşılık gelen sinir noktasında enerji blokajları oluşur. Bu ağrılar göz önünde bulundurularak basınç uygulanacak noktaların yeri belirlenir. Belirlenen noktalara tümsek şeklinde çıkıntılar yerleştirilmesi hedeflenir. Noktalar işaretlenerek 3 boyutlu tarayıcılar aracılığı ile kişinin 3 boyutlu topografik ayak görüntüsü bilgisayar ortamına aktarılır. Bu sistem sayesinde ayaktaki her farklı nokta doğru olarak tespit edilmektedir. Tabanlık imalatı için özel hazırlanmış bilgisayar programı (CAD) ile ölçümlerden elde edilen bilgiler kullanılarak kişiye özel tabanlık dizayn edilir (Şekil 11).



Şekil 11.3B yazılımı aracılığıyla tabanlık tasarımı [49].**Şekil 12.** Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analiz[50].

Dizayn edilen tasarım sonlu elemanlar yönetimiyle dijital ortamda analiz edilir (şekil 12). Sonlu elemanlar yöntemi ile ayağın içinde oluşan gerilme ve deformasyonları tahmin edebilmemiz mümkündür. Bu sayede ayakta toplanan aşırı yükten ötürü, tabanın hangi bölümünde maksimum gerilme ve deformasyonların oluşacağını tahmin edebilmeyi sağlamaktadır. Analizden başarı ile geçen tasarımlar 3B yazıcı cihaza gönderilir(şekil 13). Sonlu elemanlar yönetiminde başarılı bulunmayan tasarımlar yeniden tasarlanmak üzere gözden geçirilir.

**Şekil 13.**Tabanlık Üretim Aşaması[51].

4. Sonuç

Gelişen teknolojiyle birlikte kişiye özel tedavi hizmetleri de giderek yaygınlaşmaktadır. Bu tedavi yöntemlerinden biri olan 'refleks' bilim dalı ele alınmıştır. Çalışmalar incelendiğinde; refleksoloji uygulama yöntemlerinden biri olan baskı tekniği yöntemi ile birçok alanda ağrı kontrolü ile tedaviye yardımcı etkilerin mümkün olduğu görülmektedir. Bu amaçla, kişilerin rahatsızlıkları doğrultusunda üretilen tabanlıklara yerleştirilen tümsek noktalar sayesinde, hedef organa yönelik ağrı kontrolünün sağlanması ve tedaviye yardımcı etkilerin gerçekleşmesi beklenmektedir. Tüm bunlar gerçekleşirken hastalar günlük hayatlarına ara vermeden, sahip oldukları bu tabanlıklar sayesinde kendi kendilerini tedavi edebilme imkânına sahip olabileceklerdir. Ayrıca ağrı kontrolünde kullanılan ilaç alımını azaltmaya yardımcı olması beklenmektedir.

Piyasada üretimi ve satışı yapılmakta olan refleksoloji tabanlıkları standart bir kalıp olarak sunulmaktadır. Bu standart kalıplar, kişilerin ayak anatomilerinin birbiri ile birebir aynı olmadığı gerçeği göz önünde bulundurulduğunda gerçekleştirilmesi beklenen tedaviyi eksik ve yetersiz kılmaktadır. Kişiye özgü tabanlık üretimi ile bu sorunun da önüne geçilmesi mümkündür.

Kaynakça

1. Tabur, H. ve Başaran E.B.Z.(2009) Refleksoloji'yeGiris. İzmir: Kitap Dostu Yayınları 2009;11-140.

2. Turan,N. Öztürk, A. Kaya, N.(2010).Hemşirelikte yeni bir sorumluluk alanı: tamamlayıcı terapi. Maltepe Üniversitesi Hemşirelik Bilim ve Sanatı Dergisi,3,s.93-98.
3. Cırık V,2014, aktaran: Doğan,H.(2014).Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic MedSci 4(4), s.89-94.
4. Wilhelm, 2009, aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
5. Çevik K.(2013).Hemşirelikte tamamlayıcı ve alternatif tedavi: Refleksoloji.Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi,29,s.71-82.
6. "Ayağınızın altındaki sağlıktan haberiniz var mı?" www.mtsaglikli.com 12 Mart 2016 tarihinde erişildi.
7. Gwen, 2005, aktaran: A.K.Esra ve Uyar,M.(2014).Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi,5(1),s
8. Stephenson,1997,aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1
9. Cade(2002). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1
10. Kulik(2002) aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
11. Bolsoy(2008) aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1
12. Stephenson(2007).N, aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1
13. O'Mathuna(2007). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1
14. 3D Yazıcı Tarihi .<http://www.priyoid.com/3d-yazici-teknolojisi/3d-yazici-tarihi/> 12 Mart 2016 tarihinde erişildi.
15. Polat(2013). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
16. What is reflexology. <http://www.reflexology-research.com/index.php>. 12 Mart 2016 tarihinde erişildi.
17. Ayçeman N. Refleksoloji teoripisi.<http://www.academicana.com/genel/refleksoloji-terapisi-2/>.12 Mart 2016 tarihinde erişildi.
18. Korkan EA, Uyar M. Ağrı kontrolünde kanıt temelli yaklaşım: Refleksoloji. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi 2014;5:9-14.
19. Oh(2006). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
20. Özdemir(2011). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
21. Won(2002). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
22. Polat(2013). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
23. Quinn(2008). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
24. Çevik(2014). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
25. Bolsoy(2008). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
26. Somchock(2006). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
27. Güven D. Ş. Hipertansiyonlu Bireylere Uygulanan Ayak Refleksolojisinin Kan Basıncı ve Yaşam Kalitesine Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İç Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Kayseri: Erciyes Üniversitesi, 2011.
28. Wilkinson(2008). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
29. Özdelikara A. Meme Kanseri Hastalarda Refleksolojinin Kemoterapiye Bağlı Bulantı, Kusma ve Yorgunluk Üzerine Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İç Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, 2014.
30. Yang(2005). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
31. Korkan EA, Uyar M. Ağrı kontrolünde kanıt temelli yaklaşım: Refleksoloji. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi 2014;5:9-14.
32. Kurt S, Can G. Refleksoloji ve kullanım alanları. Sağlıkla Dergisi 2013;3:54-5.
33. Quinn(2008). aktaran: Doğan, H.(2014). Ellerin İyileştirme Sanatı: Refleksoloji. Eur J Basic Med Sci4(4),s.89-94.
34. Poole(2007). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
35. Dolatian(2011). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
36. Smith(2012). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.

37. Stephenson(2000) aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
38. Park(2006). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
39. Sharp(2010). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
40. Wyatt(2012). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
41. Eghbali(2012). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
42. Khan(2006). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
43. Siev(2003). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
44. Gunnarsdottir(2010). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
45. Launso(1999). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
46. Hodgson(2008). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
47. Özdemir(2013). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
48. Samuel(2013). aktaran: A.K.Esra ve Uyar, M.(2014). "Ağrı Kontrolünde Kanıt Temelli Yaklaşım: Refleksoloji." Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.5.1.
49. <http://gfxspeak.com/2013/04/05/salts-techstep-boosts-orthotics-production/> 15 Mart 2016 tarihinde erişildi.
50. Jalil,M. ve Alex,C. (2013).Numerical Analysis of SportShoesAnkleProtection. EURECA 2013.Taylor'sUniversity.
51. <http://www.roboticstomorrow.com/article/2015/05/how-will-3d-printing-revolutionize-medicine/6098/> 15 Mart 2016 tarihinde erişildi.

3 BOYUTLU ENDÜSTRİYEL YAZICILARDA YÜKSEK TORKLU ADIM MOTORLARIN KULLANILMASI

Erşah AKGÜL^a, Burak GÜLER^b ve Kerim ÇETİNKAYA^c

a, K.Ü, Teknoloji Fakültesi, Karabük/TÜRKİYE, ersahakgul@gmail.com,
b, K.Ü, Teknoloji Fakültesi, Karabük/TÜRKİYE, burakkugler@hotmail.com,
c, K.Ü, Teknoloji Fakültesi, Karabük/TÜRKİYE, kcetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

Günümüzde masaüstü 3B yazıcılar yerine daha büyük yazdırma alanına sahip endüstriyel boyutlardaki 3B yazıcılar tercih edilmektedir. Bu çalışmada hobi amaçlı masaüstü tip 3B yazıcı ve endüstriyel boyutlardaki 3B yazıcının karşılaştırılması yapılmıştır. Arduino + Ramps 1.4 kartları üzerindeki A4988 adım motor sürücüleri yerine, endüstriyel boyutlardaki CNC makinelerinde kullanılan 7.2 A'e kadar akım sağlayabilen CWD860 sürücüsü kullanılmıştır. Böylelikle 0,63 Nm'lik adım motorlar yerine 8,3 Nm'lik adım motorlar kullanılarak yüksek torka sahip endüstriyel tipte 3B yazıcının üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Arduino, Adım Motor Sürücü, 3B Yazıcı

USING HIGH TORQUE STEPPER ON INDUSTRIAL 3D PRINTERS

Abstract

Nowadays desktop 3D printers in industrial size with larger print area instead of 3D printers are preferred. In this study, industrial size 3D printer and hobby desktop 3D printer were compared. Arduino and 1.4 Ramps cards was used instead of A4988 stepper motor drivers and CWD860 stepper motor driver was used which can provide current up to 7.2 that is install on CNC industrial size machines. Thus, industrial size 3D printer which has step motor with 8.3 Nm instead of 0.63 Nm was produced.

Keywords: Arduino, Stepper Driver, 3D Printer

1. Giriş

1.1 Genel bilgiler

RepRap, eritme ve katılaştırma yöntemini kullanan, kendi kendini kopyalayabilen ve kişiselleştirilebilen bir hızlı prototipleme makinesidir. Hobi veya eğitim amaçlı kullanılıp, küçük boyutlara sahip 3 boyutlu yazıcılardır. RepRap, Bath Üniversitesi'nden Adrian Bowyer tarafından 2004 yılında kurulmuştur. Stratasys tarafından tescillen "Eriyik Yiğın Biriktirme ile Modelleme" terimi yerine, RepRap topluluğu, "Eriyik Filament Fabrikasyon" terimini kullanmış ve kısıtlama olmadan herkesin kullanımına sunmuştur [1].

Kendi bileşenlerinden önemli bir kısmını oluşturma yeteneğine sahip olduğu için RepRap, "kendini kopyalayan" anlamına gelir. RepRap Bath Üniversitesi tarafından tescillenmiş ve 2 adet GPL versiyonu altında kayıtlıdır [2].

Bu koşullarda, bu lisans altında, herhangi bir kişi bir repprap makinesi düzenleyebilir ve dağıtabilir. Bu değişiklikler yine açık kaynak olarak saklanmalıdır. Makineyi, herkes herhangi bir ücret ödemedi, kopya ederek sınırsız sayıda inşa edebilir. Çoğunlukla repprap makineleri hobi-eğitim amaçlı, masaüstü kullanıma uygun yapılmaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel tipte bir repprap makinesi yapılmış ve masaüstü repprap yazıcıların motor sürücüleriyle kıyaslaması yapılmıştır.

1.2 RepRap modelleri ve özellikleri

RepRap topluluğu tarafından geliştirilen 3D yazıcılar aşağıdaki özelliklere sahiptir [3]:

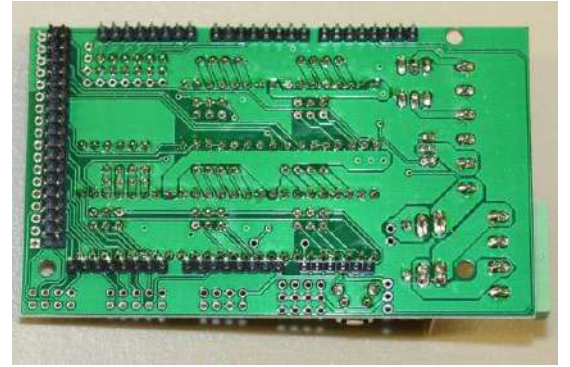
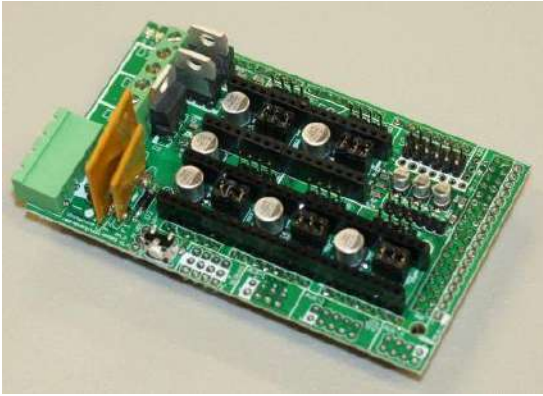
- Eriyik Filament Fabrikasyon modelini kullanan makinelerdir ve kullandıkları termoplastik bileşenler genellikle ABS ve PLA'dır.
- Bugüne kadar geliştirilen ve ağırlıklı olarak kullanılan modeller; Darwin, Mendel, Huxley, Wallace ve farklı türevleri olan, Prusa Mendel, MendelMax, RepRapPro Huxley, RepRapPro Mendel'dir.
- Makinenin, nozul çapı genellikle 0,3 – 0,5 mm arasındadır.
- Makinenin şasesinde kullanılan metal parçalar ve ara elemanlar ise genellikle 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş parçalardır.

Darwin tipi, rebrap topluluğu tarafından ilk defa 2007’de geliştirilen 3 boyutlu yazıcı modelidir [4].

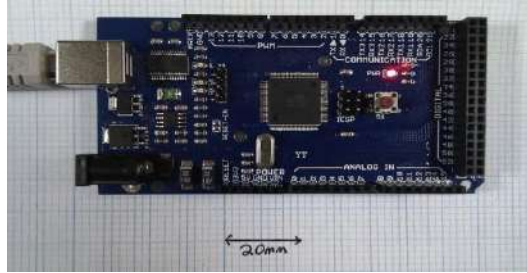
Mendel tipi, rebrap topluluğu tarafından geliştirilen ikinci makinedir. M8 sonsuz vidalar ve 3 boyutlu yazıcılardan üretilmiş plastik parçalar ile inşa edilmiş üçgen piramit şeklinde bir yapıya sahiptir [5].

Prusa tipi, Josef Prusa tarafından tasarlanan ve 3 boyutlu yazıcılar arasında en çok kullanılan rebrap makinesidir [6].

RepRap 3 boyutlu yazıcıların elektronik aksamları, mikroişlemci ve elektronik kartları, adım motorları, adım motor sürücüleri, merkezi olarak nitelendirilen mikroişlemciler, dışardan aldıkları verileri işleyerek yazıcıya gönderilmesini sağlar. Yaygın kullanılan kartlar, RAMPS eklentisi kullanan Arduino Mega 2560, tek kart üzerinden kontrolü sağlayan Sanguinololu, ve yine tek kart üzerinden ihtiyaç duyulan devre elemanlarını üzerinde barındıran Generation 6 kartlarıdır. Bütün bu elektronik kartlar üzerinde 8-Bit ATmega mikroişlemcisi vardır [7]. RAMPS eklenti kartı ve Arduino Mega 2560, Şekil 1 ve Şekil 2 ’de gösterilmektedir [8].



Şekil 1. RAMPS 1.4 eklenti kartı (üst ve alt görünüm) [8]



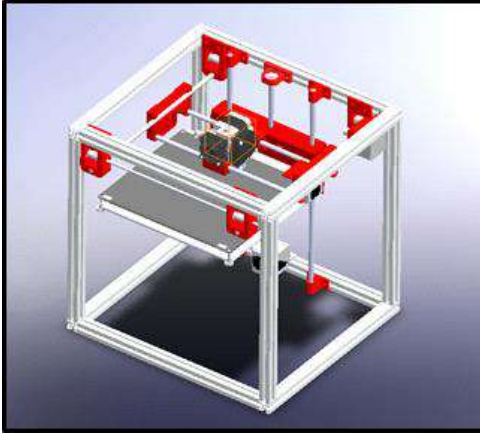
Şekil 2. Arduino Mega 2560 Mikroişlemci kartı [8]

RAMPS 1.4 (RepRap-Arduino-Mega-Pololu-Shield) elektronik kartı, 3 boyutlu yazıcının ihtiyacı olan gerekli devre elemanlarını ve Pololu adım motor sürücülerini üzerinde taşıyan, Arduino Mega 2560 mikroişlemcisine uygun olarak tasarlanmış eklenti kartıdır [9].

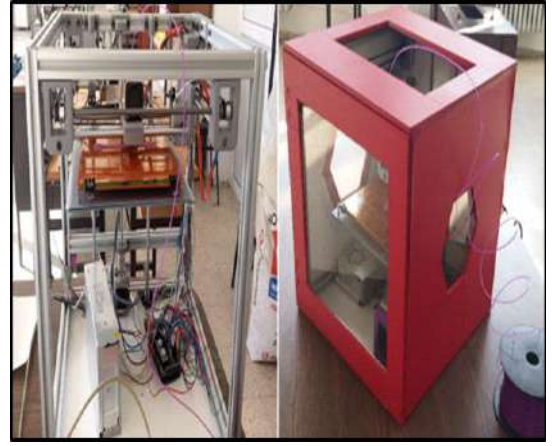
2. Hobi- Eğitim Amaçlı 3 boyutlu yazıcı

Rebrap topluluğundan yararlanılarak tasarlanan 3 boyutlu yazıcının CAD modeli

Şekil 3’te, üretimi yapılmış prototipi ise Şekil 4’te gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 1’ de 3B yazıcının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3. Hobi-eğitim amaçlı 3 boyutlu yazıcı resmi



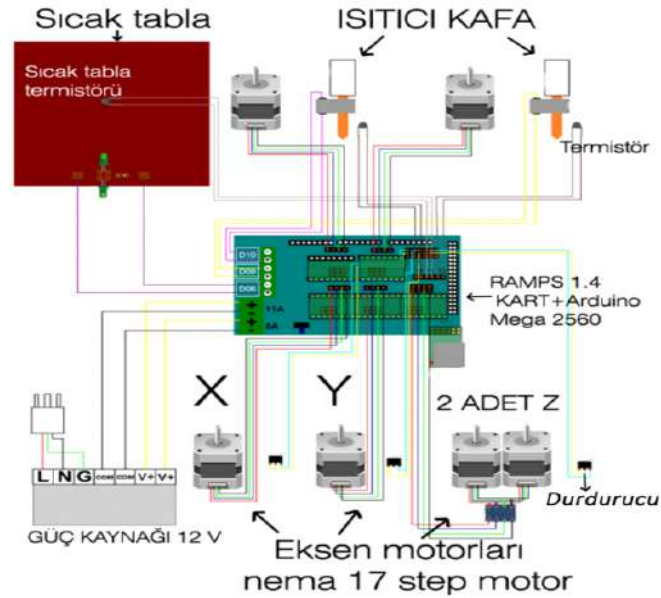
Şekil 4. Hobi-eğitim amaçlı 3 boyutlu yazıcı modeli

Çizelge 1. Hobi-eğitim amaçlı 3 boyutlu yazıcı özellikleri

Model	Hobi-eğitim
Teknoloji	(Eriyik Filament Fabrikasyon)/Temoplastik Ekstrüzyon
Malzeme Maliyeti	2.000,00 TRY
Boyutlar	(Genişlik x Derinlik x Yükseklik) 390 mm x 390 mm x 390 mm
Ağırlık	9.0 kg
İşleme Kapasitesi	(Genişlik x Derinlik x Yükseklik) 170 mm x 150 mm x 150 mm
Kullanılan Sarf malzeme	PLA, ABS, Kompozit

2.1. Elektronik bağlantı şeması

Şekil 5'te Hobi-eğitim amaçlı 3 boyutlu yazıcıda kullanılan elektronik bağlantı şeması gösterilmektedir.



Şekil 5. Hobi-eğitim amaçlı 3 boyutlu yazıcının elektronik bağlantı şeması [8]

Yazıcının elektronik bağlantılarında kullanılan elemanlar Çizelge 2 'de verilmiştir.

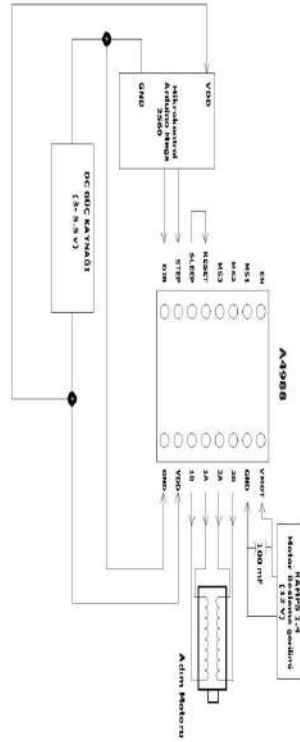
Çizelge 2. Hobi-eğitim amaçlı 3boyutlu yazıcının elektronik elemanları

Parça	Tür	Adet
Kontrol kartı	Arduino Mega 2560+ RAMPS 1.4	1
Eksen Motorları(ekstruder için motor sürücüsü dahil)	NEMA17 Adım motoru	4
Motor Sürücüler	A4988 Pololu	4
Isıtıcı kafa seti	MK8	1

Prototipi yapılan 3B yazıcıda Arduino Mega ve RAMPS 1.4 eklenti kartının üzerinde bulunan A4988 Pololu adım motor sürücüsü kullanılmıştır. Şekil 6'da kullanılan adım motor sürücüsü gösterilmiştir.

**Şekil 6.** Pololu adımı motor sürücüsü (A4988)

Adım motor sürücüsü, RAMPS kart aracılığıyla Şekil 7 'de gösterildiği gibi bağlantısı yapılmıştır. RAMPS karttan motor çalışma gerilimi 12 V, Arduino karttan ise sürücü çalışma gerilimini 5V kullanılmıştır.

**Şekil 7.** A4988 Pololu adım motor sürücüsü bacak bağlantıları

Hobi amaçlı olarak üretilen yazıcılarda adım motor sürücüsü olarak faz başına 2 amper çalışma akımına sahip A4988 adım motor sürücüsü kullanılmıştır. Endüstriyel tip olarak üretilen 3B yazıcıda faz başına 7,2

Amper çalışma akımına sahip CWD860 adım motor sürücüsü kullanılmıştır. A4988 ve CWD860 adım motor sürücülerini karşılaştırmalı özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. A4988 ve CWD860 sürücü özellikleri [10] [11]

	A4988		CWD860		
Parametre	Min	Maks.	Min.	Maks.	Birim
Giriş Voltajı (DC)	8	35	24	90	VDC
Giriş Voltajı (AC)	-	-	20	60	VAC
Çıkış Akımı	-	2	-	7,2	A
Puls sinyal frekansı	-	50	-	200	KHZ

Hobi amaçlı 3B yazıcıda 2 amper anma akımına sahip 0,63 Nm kavrama torku üretebilen Nema17 tip adım motoru kullanılmıştır. Endüstriyel tip 3B yazıcıda ise 8,3 Nm kavrama torku üretebilen 7,2 amper anma akımına sahip 86BHH118 tip adım motoru kullanılmıştır. Nema17 tipi ve 86BHH118 tipi adım motorlarının özellikleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Nema17 ve 86BHH118 tipi adım motor özellikleri [12], [13]

	Nema17	86BHH118	
			Birim
Faz	2	2	Adet
Uzunluk	48.3mm	118 mm	mm
Anma akımı	2	4,9	A
Kavrama Torku	0,63	8,3	Nm
Motor Ağırlığı	0,36	1	kg

Endüstriyel tip 3 boyutlu yazıcılarda yüksek tork elde edebilmek için Nema17 adım motoru yeterli olmamaktadır. Bu nedenle yüksek tork değerine sahip 86BHH118 adım motoru tercih edilmiştir. 86BHH118 adım motorunun yüksek akım beslemesini sağlayabilmek için CWD860 kullanılmıştır.

3. Endüstriyel Tipte 3B Reprap Yazıcı

Prototipi üretilen 3B yazıcının CAD modeli Şekil 8'de, prototipi ise Şekil 9'da gösterilmiştir. Yazıcının montajında kullanılan elektronik elemanlar Çizelge 5'de, yazıcının teknik özellikleri ise Çizelge 6'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Endüstriyel tip yazıcı resmi



Şekil 9. Endüstriyel tip yazıcı modeli

Çizelge 5. Endüstriyel tip 3 boyutlu yazıcının elektronik elemanları

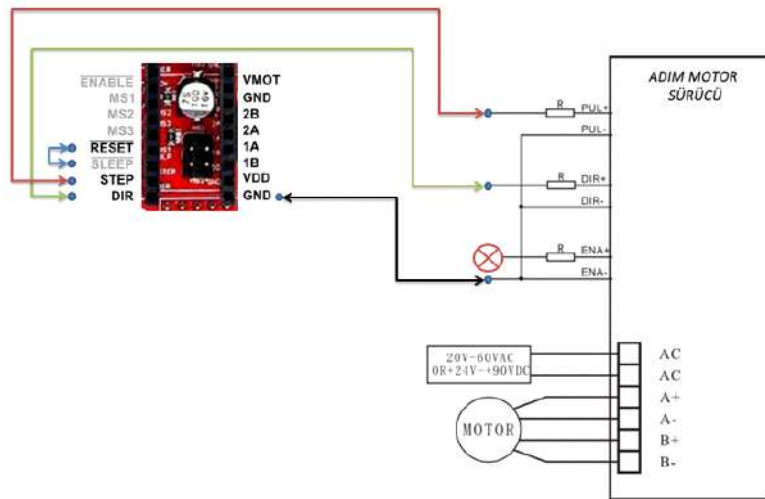
Parça	Tür	Adet
Kontrol kartı	Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4	1
Eksen Motorları	86BHH118 Adım motoru	5
Motor Sürücüler	CWD860	5
Isıtıcı kafa seti	MK8	2
Ekstruder için motor sürücüsü	A4988 Pololu	2
Ekstruder için adım motor	Nema17	2
Isıtıcı tabla	PCB 12V	1
Termistör	100K - Ohm	1
Güç Kaynağı	24 VDC, 30 A (Led Trafo)	2

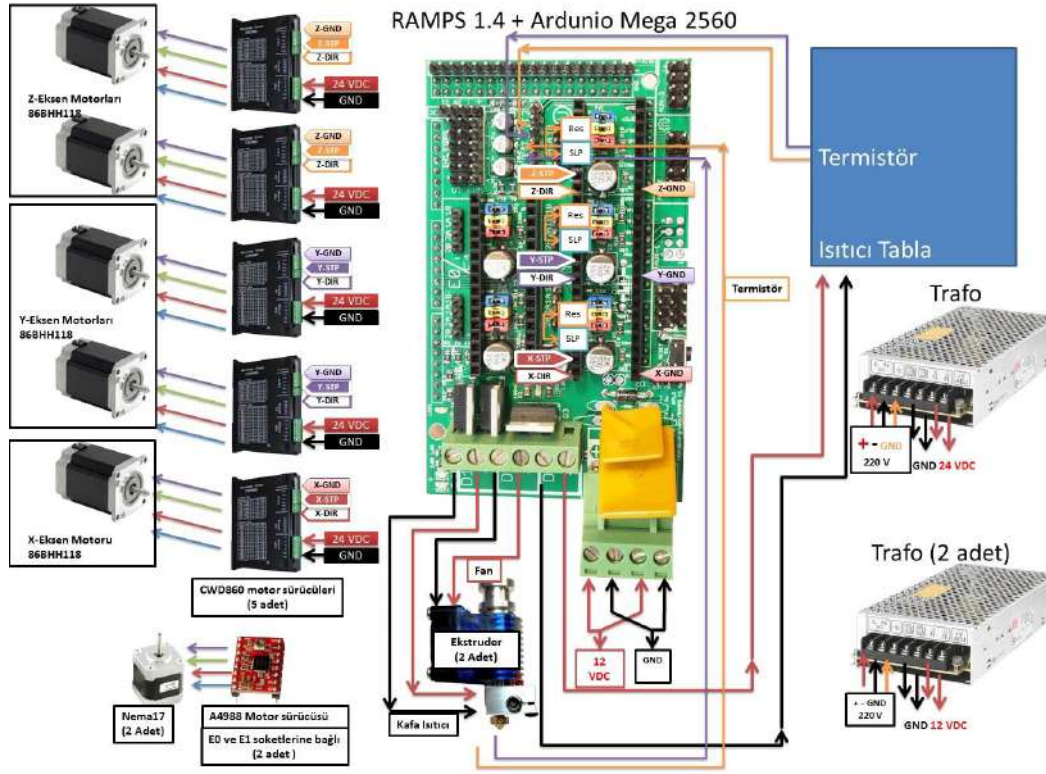
Çizelge 6. Endüstriyel tip yazıcı özellikleri

Model	Endüstriyel
Teknoloji	(Eriyik Filament Fabrikasyon)/Temoplastik Ekstrüzyon
Ortalama Malzeme Maliyeti	12.000,00 TRY
Boyutlar	(Genişlik x Derinlik x Yükseklik) 990 mm x 1035 mm x 1540 mm
Ağırlık	87.0 kg
İşleme Kapasitesi	(Genişlik x Derinlik x Yükseklik) 600 mm x 700 mm x 800 mm
Kullanılan Sarf malzeme	PLA, ABS, Kompozit

Üretilen endüstriyel tipteki 3B yazıcıda kullanılan CWD860 sürücüsünün çalışma voltajı 24 V'dir. Kullanılan RAMPS kart 12 V gerilim verebileceğinden dolayı adım motor sürücüsünün gerilim beslemesi RAMPS kart haricinde yapılmıştır. CWD860 adım motor sürücüsü şebekeden gelen 220 V AC gerilimi 24 V DC gerilime dönüştüren güç kaynağı kullanılarak yapılmıştır.

RAMPS 1.4 üzerindeki adım motor sürücüsü yuvaları ile CWD860 sürücüsünün bağlantıları Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu bağlantılarda PUL ve DIR sinyallerinin pozitif sinyalleri kullanılmış, RAMPS 1.4'te sırasıyla STEP ve DIR yuvalarına, negatif kutuplar ise GND yuvasına bağlanmıştır. STEP, motora gönderilen adım sinyallerini, DIR ise motor milinin döneceği yönü belirtmektedir. Endüstriyel tipte 3 boyutlu yazıcının genel elektronik bağlantı şeması Şekil 11'de gösterilmiştir.

**Şekil 10.** CWD860 ile RAMPS 1.4'ün sürücü yuvası bağlantıları



Şekil 11. Endüstriyel tip 3 boyutu yazıcı elektronik aksamı bağlantı şeması

4. Yazılım

Mikroişlemci, 3 boyutlu yazıcının kontrol ünitesi olarak nitelendirilir. Motorların hareket ve ısı kontrolleri için gerekli olan sinyallerin hesaplamasını ve uygun bağlantı noktalarına gönderilmesini sağlar. Arduino kartın kullanıldığı rebrap makinelerde, Arduino işlemci kartının programlanması gerekmektedir. Bunun için yine açık kaynak koda sahip hazır yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımlardan yaygın olarak kullanılan, açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir yazılım olan Marlin [14] kullanılmıştır.

Marlin yazılımının kullandığı "Configuration.h" dosyasındaki tanımlamalar Çizelge 7'da gösterildiği gibi düzenlenmiştir.

Çizelge 7. Configuration.h Ayarlamaları

#define SERIAL_PORT 0	"Serial port sürekli değişken olacağından sıfır olarak kalmalı, bu sayede varsayılan port ne ise o portu kontrol edecektir."
#define BAUDRATE 115200	"Portun saniyedeki ileteceği veri sayısıdır. Aygıt yöneticisinden de kontrol edilebilir. Genellikle 115200 ve 9600 değerleri kullanılır."
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_13_EFB	"Arduino üzerindeki kullanacağınız eklenti kartının türünü belirtir. EFB (Extruder, Fan, Bed), yani Ramps kartınıza, sırasıyla D10,D9,D8 terminallerindeki ısıtıcı çıkışlarına hangi elemanları bağladığınızı belirtmek içindir. Genellikle bağlantı şemalarındaki gösterim bu sıradadır."
#define TEMP_SENSOR_0 1	1. Ekstruder için girilen değer "1"
#define TEMP_SENSOR_1 1	2. Ekstruder için girilen değer "1"
#define TEMP_SENSOR_BED 1	"Isıtıcı tabla için" girilen değer "1"
#define HOMING_FEEDRATE {50*60, 50*60, 4*60, 0}	"Eksenlerin Home pozisyonuna giderken kullanacağı ilerleme hız değerleri. Sırasıyla X,Y,Z,E. Milimetre/saniye cinsinden. E, yani ekstruder için sıfır değeri girilmeli."
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {100,100,219,96.5}	"Burada X,Y,Z ve E motorlarının saniye başına ilerleyeceği mm miktarı"

5. Sonuç

Hobi-eğitim amaçlı masaüstü 3 boyutlu yazıcılarda Nema17 tip adım motorlar kullanılarak parçalar yazdırılabilmektedir. Endüstriyel tip yazıcılarda Nema17 tip adım motorlar ve A4988 adım motor sürücülerini düşük akım ve güç özelliklerinden dolayı yetersiz kalmaktadır. Endüstriyel tip 3B yazıcılarda 86BHH118 tip adım motoru ve CWD860 adım motor sürücüsü kullanılarak yüksek tork elde edilmiştir. Endüstriyel boyutlardaki yazıcının üretimi ile daha büyük işleme kapasitesine sahip 3B yazıcı elde edilmiştir.

Kaynakça

1. A.Bowyer. Reprap: the replicating rapid prototype. Robotics Özel Sayı no:1. 2011, s. 177-191.
2. Free Software Foundation. [Çevrimiçi] <http://www.gnu.org/licenses/licenses.en.html>.
3. Additive manufacturing with RepRap methodology: current situation and future prospects. Romero, Luis. Austin : Teksas Üniversitesi, 2014. 25th Annual International Solid Freeform Fabrication (SFF) Symposium.
4. Darwin. RepRap. [Çevrimiçi] <http://reprap.org/wiki/RepRapOneDarwin>.
5. Mendel. RepRap. [Çevrimiçi] <http://reprap.org/wiki/Mendel>.
6. Prusa. RepRap. [Çevrimiçi] <http://reprap.org/wiki/Prusa>.
7. Atmel. Atmega. Atmel. [Çevrimiçi] www.atmel.com/devices/atmega128.aspx.
8. RepRap. RepRap Wiki. RepRap. [Çevrimiçi] <http://reprap.org/wiki/RepRap>.
9. Russel, Johnny. RepRap. RAMPS 1.4. [Çevrimiçi] http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4.
10. Changzhou Chuangwei Motor & Electric Apparatus Co., Ltd. CWD860 Datasheet. CircuitSpecialist. [Çevrimiçi] Alıntı Tarihi: 08 Nisan 2016.] <https://www.circuitspecialists.com/content/125498/CWD860.pdf>.
11. Pololu Robotics & Electronics. Pololu A4988. Pololu. [Çevrimiçi] <https://www.pololu.com/product/1182>.
12. PCBLinear. Nema17. PCBLinear. [Çevrimiçi] <http://www.pbclinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor> [-Support-Document.pdf].
13. Şahin Rulman. 86BHH118 Adım Motor Teknik Özellikleri. Şahin Rulman. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 08 Nisan 2016.] http://sahinrulman.com/site/images/stories/teknik-ozellikler/stepmotor/86BHH118-Y490A-Y32A_ENG.pdf.
14. Zalm, Erik Van der. Marlin. Github. [Çevrimiçi] 2011. <https://github.com/ErikZalm/Marlin>.

YAŞ PASTA SÜSLEMELERİ İÇİN 3D YAZICI TASARIMI VE PROTOTİPİ

Murat SUBAŞIa, AzebÖZCANa, Şeref AYKUTa

aBitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, TÜRKİYE
msubas117@gmail.com, azep13@hotmail.com, saykut@beu.edu.tr

Özet

Tasarladığımız üç boyutlu yazıcı yaş pasta süslemeleri ve tabak süslemeleri için kolaylık sağlayacaktır. Yaş pasta üretimi yapan iş yerleri veya imalathanelerde tamamıyla elle ve uzun sürede yapılan; özen, maharet ve yetenek isteyen yaş pasta süslemeleri bu yazıcı ile daha pratik ve kısa sürede yapılabilir. Bu çalışma ile bilgisayar destekli tasarlanmış, her türlü resim ve şekiller ile birlikte tatlı tabakları için hazırlanan çikolata ve krema süslemeleri pratik şekilde yapıp, değişik pasta ve tabak süsleme modelleri tasarım ve prototip gerçekleştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: 3D Yazıcı, Kek Süslemesi, Prototip

3D PRINTER DESIGN AND PROTOTYPE FOR CAKE DECORATIONS

Abstract

Three-dimensional (3D) printer we have created provides convenience for cake and plate decorations. Cake decorations, which require attention, skill and ability, are made in workshops and factories entirely by hand and takes for a long time. With this printer this became more practical and can be done in a short period of time. In this study, computer-aided designed figures, human and inanimate portraits or also chocolate and cream decorations prepared for dessert plates are made in practical manner and various cake and plate models and prototype were constituted.

Keywords: 3D Printer, Cake Decoration, Prototype

1. Giriş

Gelişmekte olan üretim yöntemlerinden olan ve yeni bir parça oluşturmak için malzemenin kaldırılması yerine işlemin tamamının istenen şekli oluşturmak için birbirini takip eden desenlere malzeme eklenmesi yöntemi olan "Katmanlı Üretim" (Additive Manufacturing) olarak da bilinen imalat yöntemi, 3D baskı yöntemidir. Bu yöntem geliştirmekte ve gün geçtikçe kullanım alanları artmaktadır. Katmanlı üretim yöntemi yaygın olarak 3D yazıcı olarak bilinmekte olup tasarımla birlikte, küçük ölçekli üretimler ve potansiyel olarak dağıtılmış üretim için de yararlı olduğu kanıtlandığından, teknik olarak hızlı bir büyüme yakalamıştır [1-8]. 3D yazıcılarda kullanılan tekniğin geleneksel üretimde kullanılan işleme ya da biçimlendirme tekniklerinden hayli farklı olduğunu görüyoruz. Malzemenin delme ya da kesme gibi işlemler sonucunda çıkarılıp uzaklaştırılması esasına dayanan geleneksel talaş kaldırma tekniğinin tersine, üç boyutlu yazıcı ile gerçekleştirilen üretimin, malzeme eklemeye yönelik bir teknoloji olduğu anlaşıyor [9]. Katmanlı üretim olarak kabul edilen 3D Yazıcı teknolojisi, bilgisayar ortamında tasarladığınız 3 boyutlu objeleri somut hale dönüştürebileceğiniz hızlı prototipleme araçlarıdır. STL dosyası olarak kaydedilen 3D tasarımlar, 3D yazıcıya gönderilerek katman katman imalata dönüştürülür [10].

3D yazıcıların en çok kullanıldığı sektörlerden biri medikaldır. Özellikle cerrahlar ameliyat öncesi hastaya uygulayacakları prosedürü tam olarak kavrayabilmek için organ modellerini kullanırlar. Prototip geliştirme, özel parçaların imalatı, havacılık, askeri, biyomedikal mühendisliği, diş hekimliğinde, tıp gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bunların dışında kuyumculuk, sanat, mimari, moda tasarım ve iç mimari gibi bir çok alanda da kendine yer bulmuştur [11]. Baskı malzemeleri olarak çeşitli baskı malzemelerin yanı sıra polilaktik asit (PLA), akrilonitrilbutadienstiren (ABS), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ile baskı yapılmaktadır [12]. Açık kaynaklı yazıcılar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Son zamanlarda araştırma araçlarının, özellikle önceden tasarlanmış ise tasarım ve baskısı satın almaya nazaran daha ucuza yapılabilmektedir [13-14]. Bununla birlikte, bilimsel ekipmanlar için düşük maliyetli 3D baskı kullanılması, kimyasal reaksiyonlar için polimer ve seramik malzemeler [15], taşıma sıvısı [16], optik malzemeler [17], analitik cihazlar [18] ve fizyolojisi laboratuvar bileşenleri [19] kullanımı ile sınırlıdır. Gelecekteki uygulamalar tıpta insan uzuvları, binalar ve arabalar üzerine öngörülmektedir. Kavramsal tasarım aşamasında tasarımcının parçayı ya da ürünü daha kolay algılayabilmesi için 3D yazıcılar ile üretilmiş bir modeli kullanılır

3D baskı, üç boyutlu bir modelin madde olarak çıktısının alınması olarak tanımlanır. Elde edilen bu maddesel çıktı, iki boyutlu katmanların ardışık olarak üst üste biriktirilmesinden meydana gelir [20]. 3D baskı modelleme ile katmanlara ayırarak yazılım geliştirilir. Bu yazılım çoğu durumda 0,01 mm kalınlığında veya daha az inceliğe sahip modeller geliştirilmektedir. Daha sonra her katman yazıcı tarafından yapı levhasının üzerine çizilir. Tasarımı tamamlandıktan sonra, yapı levhası düşürülür ve gelecek katman bir önceki katmanın üzerine ilave edilir. Bu tipik üretim teknikleri “Eksiltmeli Üretim” olarak da bilinir. Çünkü işlem bir ön şekillendirilmiş parçadan elde edilen kaldırılmış malzemelerin bir tanesidir. İşlemler, frezeleme, tornalama ve kesme gibi çıkarmalı üretim teknikleridir. Bu tip proses çok fazla atık oluşturur; Kesilen malzeme genellikle herhangi bir şey için kullanılamaz ve hurdaya çıkarmaktadır. Hurdaya çıkabilecek malzemeyi 3D basım gerekli olduğu yerde kullanılacağı için, geriye sadece çok az bir atık kalır. Bu sebepten dolayı, 3D basım atık miktarını azaltmaktadır.

Eritmeli Biriktirme Modellemesi (FusedDepositionModeling, FDM), bir eklemeli üretim teknolojisidir. Genellikle modelleme, prototip geliştirme ve üretim uygulamalarında kullanılmaktadır. FDM, katmanlara malzeme ekleyerek “eklemeli” prensibi ile çalışır. Bir plastik tel veya metal tel bobinden çözülerek şekillendirilir. Bu, akışı açan ve kapatabilen bir ekstrüzyon memesi için malzemeyi destekler. Malzemeyi eritmek için meme ısıtılır ve meme yatay ve dikey yönlerde bir numerik kontrol mekanizması tarafından ve direkt olarak bir bilgisayar destekli üretim yazılım paketi tarafından hareket ettirilir. Memeden ekstrüzyondan sonra malzeme sertleştiğinden dolayı katmanlar oluşturmak için termoplastik malzemenin küçük parçalarını çıkartarak model veya parça oluşturulur.

Yeni bir ürünün üretilmesi her zaman aynı tasarımın pek çok tekrarlanmasından elde edilmesidir. 3D baskı ile tasarımcılara kendi tasarımlarını oluşturma, görme ve dokunabilmelerine imkân verdiği için bir devrim oluşturmıştır. Artık gerçek parçayı görmek için beklemeye gerek kalmadan, tasarımcılar kendi arasında karar verip kolayca 3D baskıyı kullanarak kendi tasarımlarını kolayca elde edebilirler. Günümüzde her fikrin bir versiyonu oluşturulmuş olup bir gün sonra incelenir ve bu tasarımlar karşılaştırılabilir. 3D baskı da kullanılacak parçalar CAD yazılımı gibi yazılımlarda tasarlanması gerekmektedir. Bu tip üretim genellikle CAD tasarımın kalitesine ve yazıcının doğruluğuna bağlıdır.

3D yazıcılar da gerçek nesnenin veya bilgisayar ortamında CAD verisi olarak çizilmiş olan parçaların CAM işlemini yapacak olan programda katmanlara ayrılması ve her katmana ait kesit görüntüsünün ortaya çıkarılmasıyla ilk işlem tamamlanır. Daha sonra bu resimler belirli bir sıraya sokulur ve yazıcıyı kontrol edebilecek ara yüze sahip olan programda kodlanır. Bu sayede katman kalınlıklarına göre ‘G’ kodu gönderilerek eksenlere hareket verilir. Her hareket sonrasındaki katmana ait kesit görüntüsü yansıtılır. Bu işlemler peşi sıra devam ettirilir ve tamamlandığında parça yazdırma işlemi de sona erer. Tasarımı yapılmış olan ürün temel olarak bu şekilde çalışmaktadır [21].

Bu çalışmada bir 3D baskı ile yaş pasta süsleme için üç boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipgerçekleştirilmiştir. Krema ve eriyik çikolata vb. malzemelerin 3D baskı işlemi ile katman katman şekiller ve süslemeler oluşturmaları için tasarlanmıştır. Eriyik olarak hazırlanmış olan krema ve erimiş çikolata vb. malzemeleri pistonun silindir içerisinde sıkıştırarak nozuldan enjekte edilerek yaş pasta üzerine şekil ve kelimeler oluşturmaktır.

2. Materyal ve Malzeme

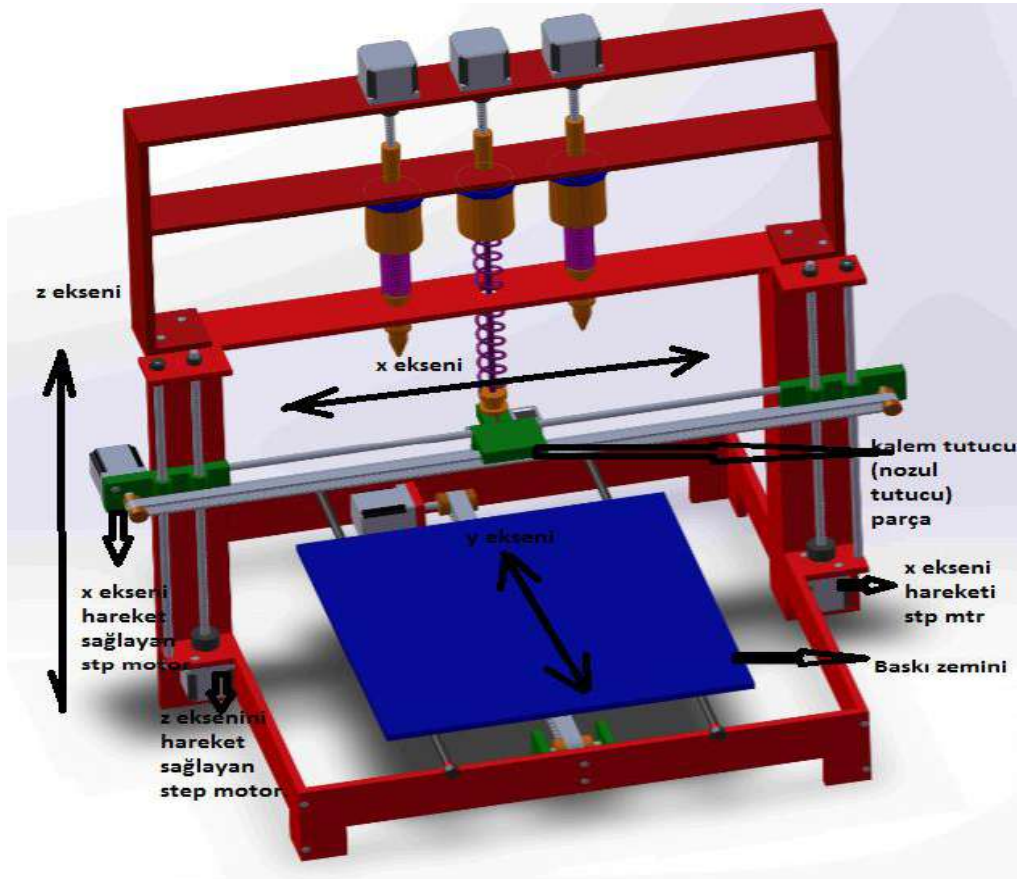
Tasarladığımız üç boyutlu yazıcı ile yaş pasta süslemeleri ve tabak süslemeleri yapılacaktır. Tasarladığımız 3D yazıcı üç eksenle hareket kabiliyetine sahiptir. Üç farklı hazneden farklı kremaları kullanarak üç piston-silindir yardımıyla yaş pastanın üzerine enjekte edebilmektedir. Hazneden piston yardımıyla krema hortumlar vasıtasıyla nozul ucuna enjekte edilmektedir. Bu nozullarla istediğimiz çaplara sahip uçlar kullanarak krema kalınlığını ayarlayabiliriz. Kullanılan yazılım ile tasarladığımız resim, şekil veya herhangi bir yazıyı yaş pastaya veya tabak süslemeye resmedebilmektedir. Çizelge 1’de 3D yaş pasta süsleme için yazıcı teknik özellikleri aşağıdaki gibidir. Yaş pastalar ve süslemeler için yapacağımız çalışmalar daha önce elle yapılırken görsel olarak istenilen kalite elde edilemiyordu. 3D ile yapılacak süslemeler daha karmaşık ve göz alıcı yapılabilmektedir.

Çizelge 1. 3D yaş pasta süsleme için yazıcı teknik özellikleri

Makine Elemanları	Ebatları	Özellikleri
Yazıcının şaseboyutu	500x500x600 mm	----
Baskı hacmi	400x400x400 mm	----
Baskı malzemesi	Krema, erimiş çikolata vb.	----
Step motor	Nema 17	200 Adım 42x48 mm 4V step motor
Nozul çapı	ϕ 0,5 mm	----
Silindir çapı ve yüksekliği	ϕ 60 ve 100 mm	----
Piston çapı	ϕ 60 mm	----
Azami akışdebisi	50mm ³ /s	----

3. Tasarım ve Modelleme

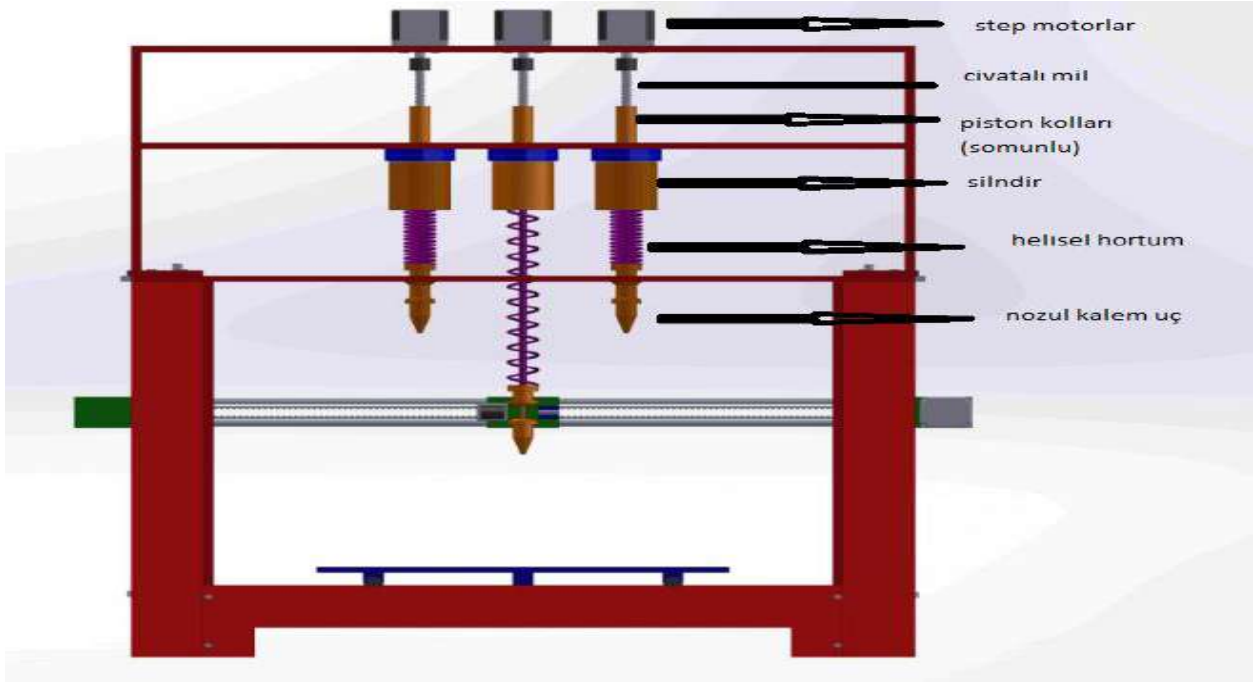
Alt kısımda baskı zemini görülmektedir. Bu baskı zemini Ydüzlemini oluşturur. Baskı zemini dişli kasnağa sabitlenmiştir. Dişli kayışı hareket ettiren alttaki step motordur. Step motorda oluşan dönme hareketi doğrusal harekete dönüşür. Şekilde görüldüğü gibi Xekseni milleri üzerinde hareket etmesi gereken kalem tutucu (nozül tutucu) parçası vardır. Bu parça Xeksenindeki yatay dişli kayışa sabitlenmiştir. Bu dişli kayışı X eksenı boyunca hareketini sağlayan bir adet step motor vardır. Bu step motordan alınan dönme hareketi doğrusal harekete dönüştürülür. Bu sayede nozul tutucu X doğrultusunda hareket yapar. Şekilde yanlarda sağ ve solda iki adet step motor vardır. Bu step motorlar vidalı miller sayesinde dönme hareketi, doğrusal harekete dönüştürür. Bu sayede nozul tutucu, millerin ve Xekseni hareketi sağlayan step motorun bulunduğu parçayı Z eksenı boyunca hareketi sağlanmış olur. Şekil 1'de tasarlanan 3D yazıcı hareket parçaları gösterilmiştir.



Şekil 1. 3D yaş pasta, tabak süsleme yazıcı hareket parçalarının görünümü ve tanıtılması

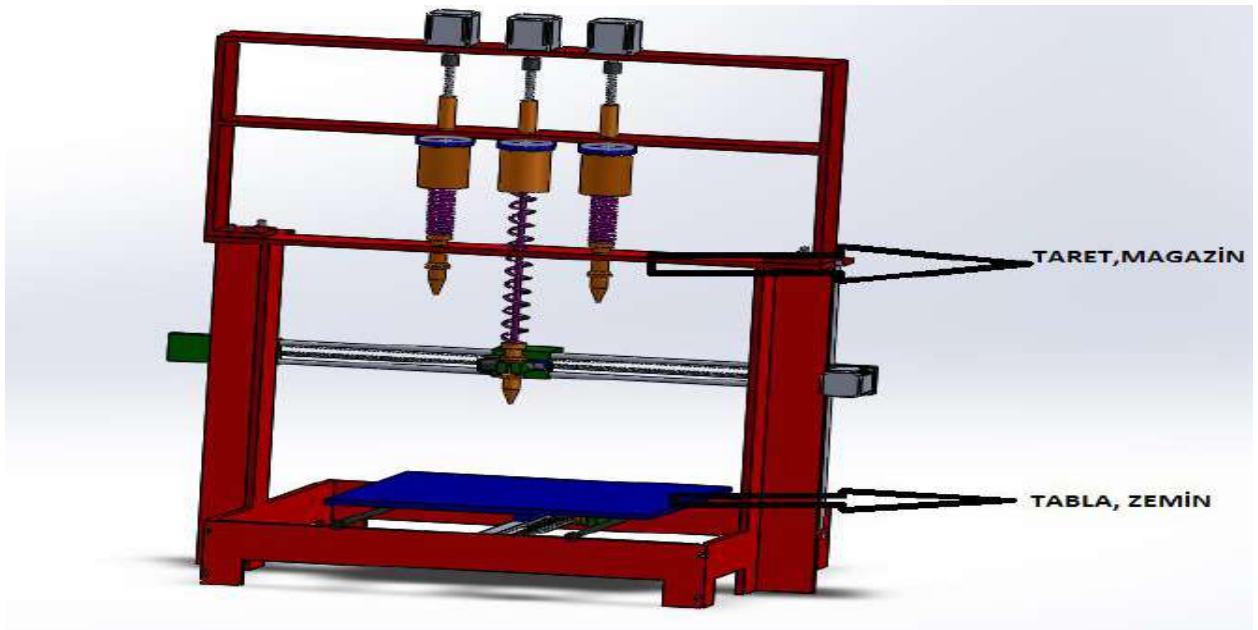
Tasarlanmış olduğumuz yazıcıda üç adet piston-silindir enjektörü vardır. Bu silindirlerin içine krema, çikolata vb. malzemeler konur. Pistonların hareketini şekilde üstte görünen step motorlar sağlar. Step motorlara kaplinlerle vidalı miller bağlıdır. Vidalı miller piston kolunda(somunlu) dönerek ileri ve geri hareketi yaptırır. Hareket eden piston silindir içerisinde krema, çikolata vb. malzemeyi enjekte edilir.

Enjekte edilen süsleme malzemesi helisel yapıları hortumlar vasıtasıyla nozula taşınır. Nozuldan çıkan krema pasta veya tabak üzerine akacaktır. Şekil 2'de nozula gelen kremanın akıtılması, enjekte edilmesi ile ilgili parçalar görülmektedir.



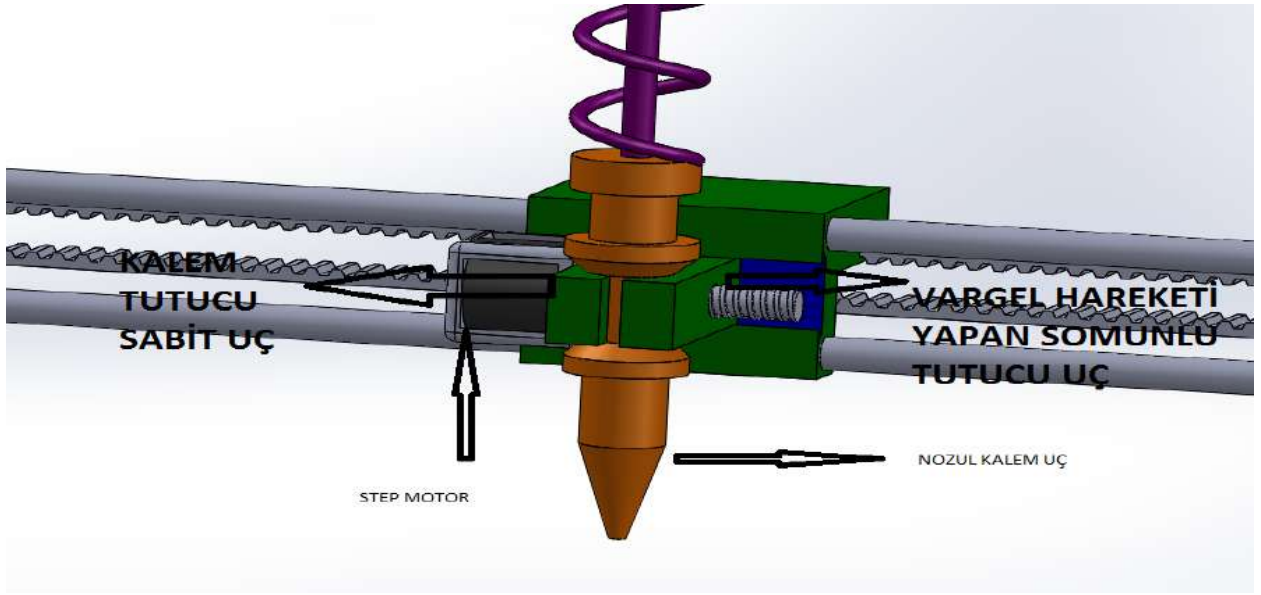
Şekil 2. 3d yaş pasta, tabak süsleme yazıcı nozula gelen kremanın akıtılması, enjekte edilmesi ile ilgili parçaların görünümü

CNC üretim tezgahlarında talaş kaldırıcı kesici uçların üzerinde bulunduğu taret ve magazin adlı tutucular bulunur. Bu 3D yazıcı tasarımımızda tarete ve magazine benzer nozulların durduğu zemin bulunur. CNC üretim tezgahlarında kesici uç değişiminde olduğu gibi, tasarımımızda uç değişimi yapılır. Kodları bilinen nozullar sayesinde takım tutucu, gerekli olan nozul tutularak işlemi gerçekleştirir. Şekil 3'te 3D yazıcı ait nozulları görülmektedir.

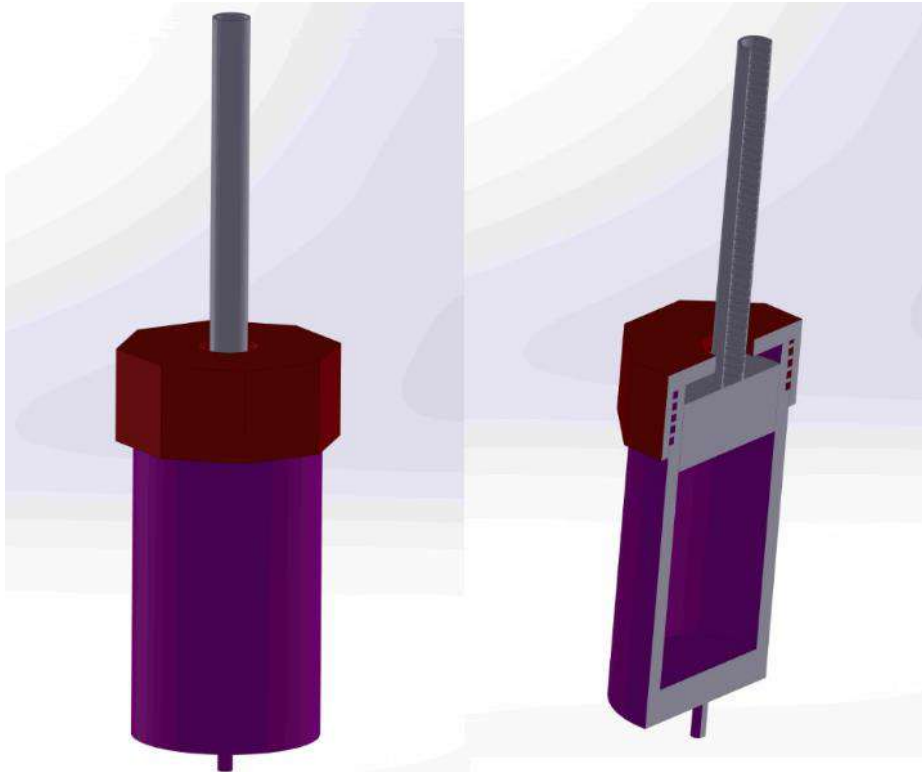


Şekil 3. 3D yaş pasta, tabak süsleme yazıcı nozulları görünümü

Nozul tutucuya ait ucunda vida millî bulunan step motor, bağlı olup yapısında bir sabit kısım birde hareketli kısım vardır. Hareketli kısım (vida delikli hareketli) açma-kapama yaparak nozul tutup bırakılır. Bu hareketi step motor sağlar. Şekil 4'te nozul tutucu parça görülmektedir.

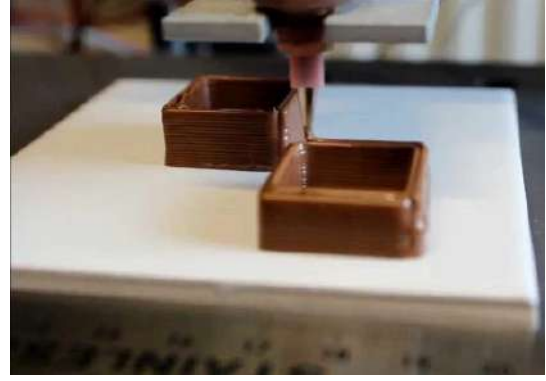
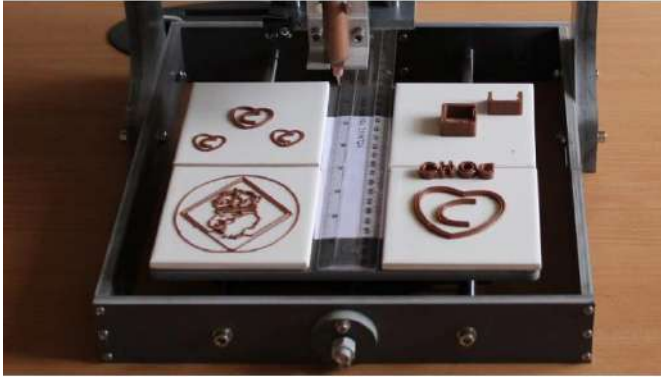


Şekil 4. 3D yaş pasta, tabak süsleme yazıcı nozul tutucu parçasının görünümü



Şekil 5. 3D yazıcı için tasarlanan piston-silindir mekanizması

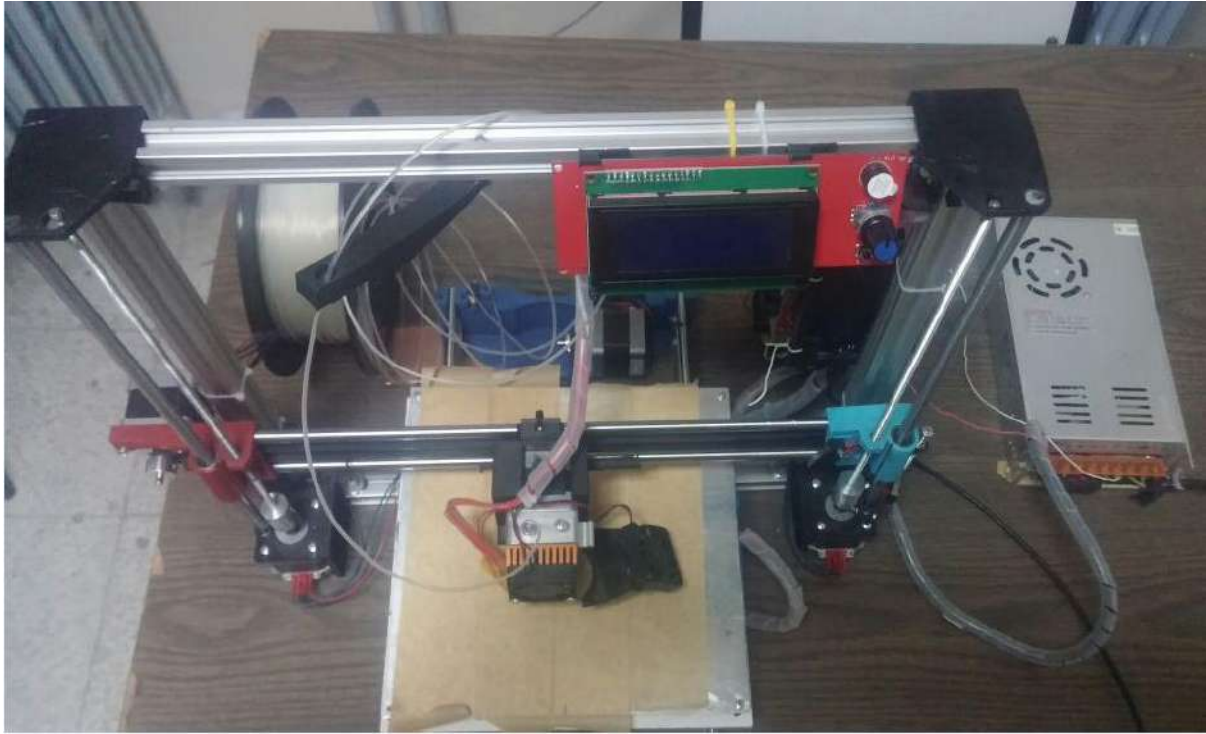
Yukarıdaki Şekil 5'te piston-silindir mekanizması görülmektedir. Silindirin içerisinde konulan akışkan krema veya çikolatayı pistonlar hareket ettirilerek krema enjekte edilir. Step motorundan aldığı hareket ile silindiri ileri doğru hareket ettirilerek azami akış debisi 50 m³/s olacak şekilde süsleme gerçekleştirilmektedir. 3D yazıcı ile yapılan çalışmalar Şekil 6'da gösterilmiştir [22].



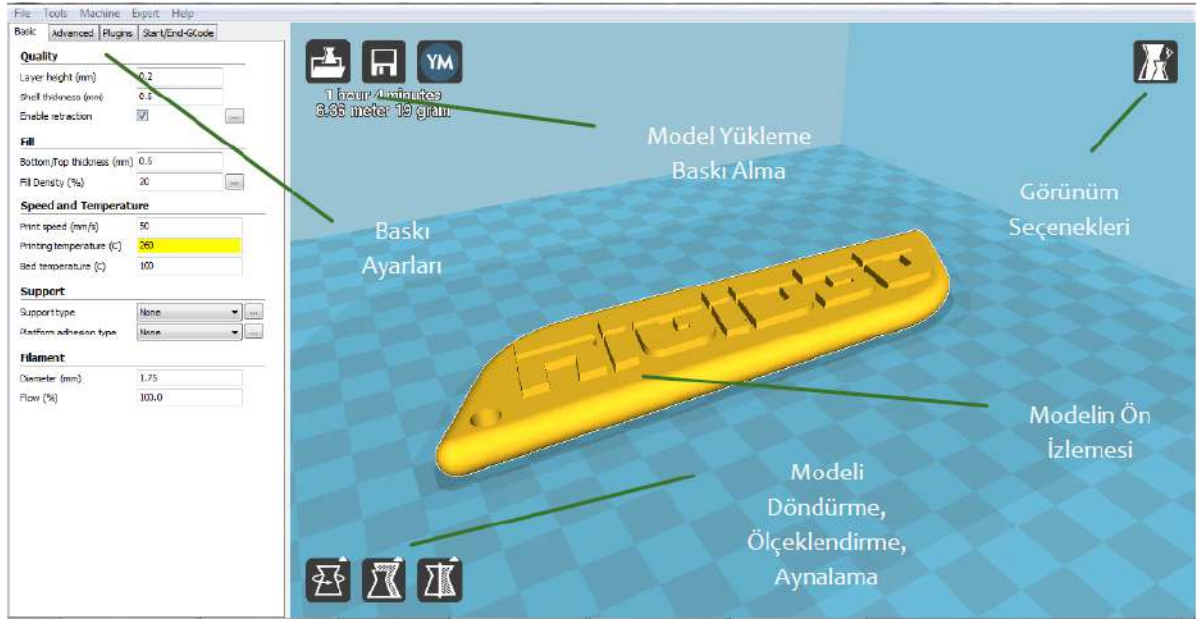
Şekil 6. 3D yazıcı ile yapılmış pasta ve tabak süslemesi

4. Prototip Geliştirme ve Yazılım

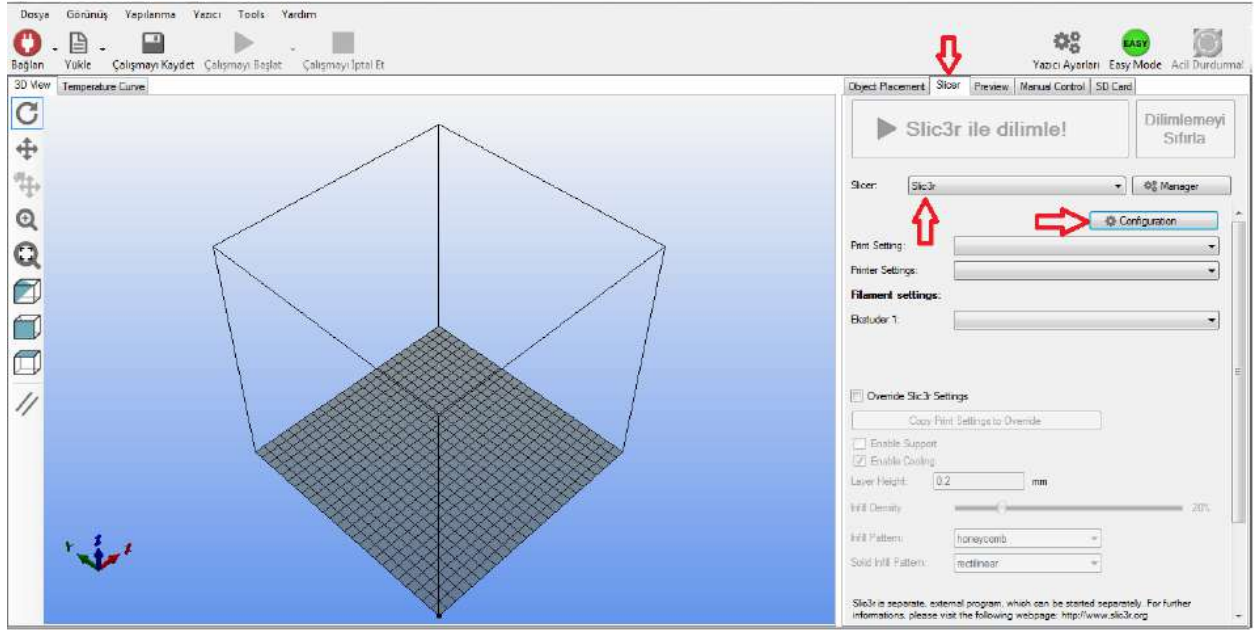
Yaş pasta ve tabak süslemeleri için aşağıda gösterilen şekillerden daha net ve karmaşık süsleri 3D yazıcı ile oluşturmuştur. Kullanılan krema veya erimiş çikolata nozullardan akacak Şekilde7'de tasarımı gerçekleştirmiştir. Rigid3D yazılım Şekil 8'de 3D yazıcı yazılımın bilgisayar ortamındaki görüntüsü ile yazılımın ana ekranında yüklediğimiz modelin ön izlemesi yapılabilir, model üzerine tıkladığımızda sol alt köşedeki 3 eksenli modeli döndürülebilir, ölçeklendirilebilir ve aynalama yaparak kopya oluşturulabilir. Ayrıca aynı anda birden fazla nesnenin çıktısını almak için birden fazla model açılabilir. Şekil 9'da ise üretimi gerçekleştirilecek süsleme için stok model oluşumu görülmektedir.



Şekil 7. 3D yazıcı prototip çalışması

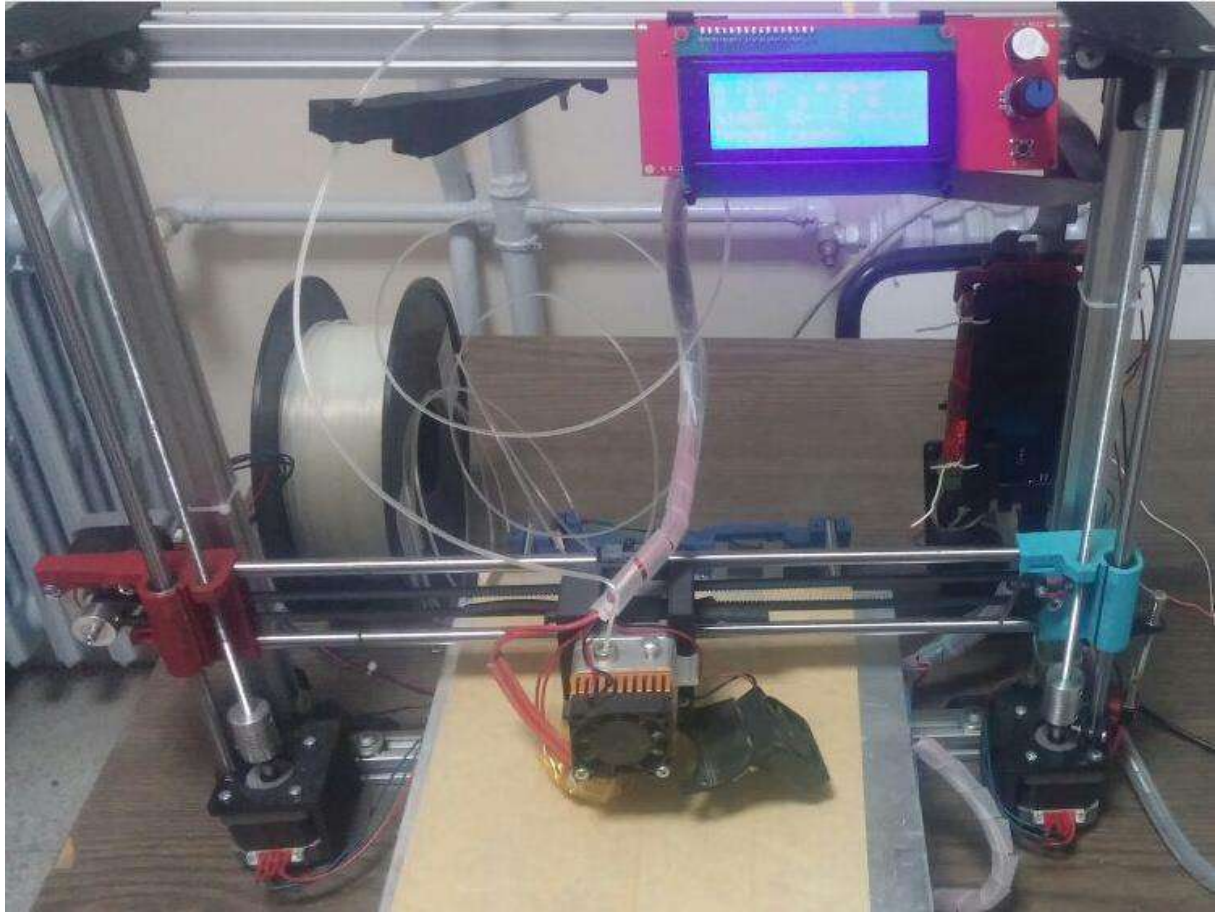


Şekil 8. 3D yazıcı yazılımının bilgisayar ortamındaki görüntüsü



Şekil 9. 3D yazıcı yazılımının bilgisayar ortamındaki stok modeli

Süsleme için kullanılan malzemeler isteğimiz renkte ayarlayabilir. Bu çalışmada farklı bir çalışma olan gıda sektöründe 3D boyutlu yazıcının kullanılmasıdır. Hobi amaçlı kullanılabilen bir 3D boyutlu kek veya tabak süslemek için prototip hazırlanma aşaması görülmektedir. Bilgisayar ortamında oluşturulacak şekiller veya süslemelerin 3D yazılım vasıtasıyla nesnelere aktarımı gerçekleştirilecektir. Şekil 10'da Rigid3D yazılımının kullanıcı arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 10.3D yazıcı yazılımın bilgisayar ortamındaki görüntüsü



Şekil 11.3D yazıcı yazılımın bilgisayar ortamındaki görüntüsü

Üç boyutlu yazıcıyı kontrol edebilmek için prototip ile bilgisayar arasındaki bağı kuran yazılım Şekil 11'de görülmektedir. Yazılım olarak Rigid3D yazılımı kullanılmıştır, bilgisayar arayüzü ve tasarım yazılımı gerekmektedir. Ana yazılım için yazıcının kontrol kartını ve sürücülerini, G ve M kodlarına göre hareket ettirerek eksenlerin çalışmasını sağlar. Bir yazıcının kontrolü, yazdırılacak olan şekli katmanlarına bölen ve 3D modelin doldurularak üretebilmesi için, üretim takım yollarını çizen bir bilgisayar arayüz programı sayesinde yapılır. Üç boyutlu yazıcılar CAD programından gelen dosyaları, modeli doğrudan yazdırmak için kullanamazlar. CAD programlarında oluşturulan model dosyalarının işlenmesi gereklidir. Modeller üretilebilir hale gelmeden önce dilimleme ve gönderme olarak adlandırılan iki yazılım işleminden geçer. Bu işlem, modeli yazdırılabilir katmanlarına bölerek, üretim takım yollarını oluşturur. Yazıcı hareketlerinin kontrol edilebildiği arayüz programı sayesinde doluluk oranları, nozul çapı vb. diğer işlevler için bir kontrol arabirimi sağlar ve hareketleri yazıcıya gönderir. Bilgisayar destekli imalat (ComputerAidedManufacturing, CAM), CAD dosyalarını makinenin diline çeviren bir arabirimdir. Üç boyutlu modeli makine diline çevirebilmek için modelin STL uzantılı dosyası oluşturulur. Baskı için kullanılan makine formatı G ve M kodları oluşturularak bilgisayardaki ana yazılıma aktarılarak üretim gerçekleştirilir. CAM için üretin programlama menüsü 3D yazıcı yazılımın bilgisayar ortamındaki görüntüsü görülmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, yaş pasta süslemek içingeleneksel yöntemlerikullananimalathanelerde, insan yeteneğine bağlı bir işlem ile gerçekleştirilmektedir. Bu 3D yazıcı üretimi ile yeteneğe ve maharete gerek kalmadan yaş pasta süslemesi sağlanacaktır. Yapılan bu prototipyazıcı ile mevcut yazıcılardan farklı olarak krema, erimiş çikolatayı enjektör görevi gören piston ve silindir mekanik sistemi kullanılarak malzemenin pasta üzerine enjekte edilmesi sağlanacaktır. İhtiyaç duyan herkese hitap eden bu yazıcı her pasta imalathanesinin gerek duyacağı, geleneksel yöntemlerin aksine müşterinin isteğine bağlı tasarımların seçilerek pasta süsleme işlemi yapılacaktır. Bu sayede pasta süslemedebir çığır açarak, teknolojinin en üst düzeyde kullanımı sağlanarak ve zaman kaybı aza indirilip müşteri memnuniyeti sağlanacaktır. Ayrıca tasarımı gerçekleştirilmiş olan 3D yazıcının prototipi hazırlanmış olup yakın gelecekte, hayatımızın her aşamasında kolayca kullanımı gerçekleştirilecektir.

Referanslar

1. Gebhardt, A., Rapid Prototyping. Berlin, Germany: HanserVerlag, 2003.
2. Sheng, W., Xi, N., Chen, H.,Chen, Y., and Song M., Part geometric understanding for tool path planning in additive manufacturing, in Proc. IEEE Int. Symp. Comput.Intell.Robot.Autom.,Vol. 3, pp. 1515-1520, 2003
3. Crane N., Tuckerman J., and Nielson G.N., Self-assembly in additive manufacturing: Opportunities and obstacles, Rapid Prototyping J., Vol. 17, no. 3, pp. 211-217, 2011.
4. Lass,N., TropmannA., Ernst A., ZengerleR., and P. Koltay, Rapid prototyping of 3D microstructures by direct printing of liquid metal at temperatures up to 500°C using the starjet technology, in Proc. 16th Int. Solid-State Sensors, Actuat. Microsyst. Conf., pp. 1452-1455, Jun. 2011.
5. PetrovicV., Gonzalez J. V. H., FerrandoO. J., Gordillo J. D., PuchadesJ. R. B., and GrinanL. P., Additive layered manufacturing: Sectors of industrial application shown though case studies, Int. J. Prod.Res., Vol. 49, no. 4, pp. 1061-1079, 2011.
6. UpcraftS. and Fletcher R., The rapid prototyping technologies, Assembly Autom., Vol. 23, pp. 318-330, Jan. 2012.
7. WittbrodtB. T., Glover A. G., LauretoJ., AnzaloneG. C., OppligerD.,Irwin J. L., et al., Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers, Mechatronics, Vol. 23, no. 6, pp. 713-726, 2013.
8. Lipson H. and KurmanM., Fabricated: The New World of 3D Printing, 1st ed. New York, NY, USA: Wiley, Feb. 2013.
9. TÜBİTAK BilimveTeknik-Aralıksayı 541, 2012
10. <http://www.priyoid.com/3d-yazici-teknolojisi/> (25 Mart 2016)
11. <http://www.3byazici.com/p/3d-yazic-nedir.html> (25 Mart 2016)
12. BaechlerC., DeVuonoM., and Pearce J. M., Distributed recycling of waste polymer into RepRap feedstock, Rapid Prototyping J., Vol. 19, no. 2, pp. 118-125, 2013.
13. Pearce J. M., Building research equipment with free, open-source hardware, Science, Vol. 337, no. 6100, pp. 1303-1304, Sep. 2012.
14. Pearce J. M., Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs. New York, NY, USA: Elsevier, 2014.
15. SymesM. D., KitsonP. J., Yan J., Richmond C. J., Cooper G. J. T., Bowman R. W., et al., Integrated 3D-printed reactionware for chemical synthesis and analysis, Nature Chem., Vol. 4, pp. 349_354, Apr. 2012.
16. KitsonP. J., SymesM. D., DragoneV., and Cronin L., Combining 3D printing and liquid handling to produce user-friendly reactionwarefor chemical synthesis and purification, Chem. Sci., Vol. 4, no. 8, pp. 3099-3103, Jun. 2013.
17. Zhang C., AnzaloneN. C., FariaR. P., and Pearce J. M., Open-source 3D-printable optics equipment, PLoS ONE, vol. 8, no. 3, pp. 59840, Mar. 2013.
18. AnzaloneG., Glover A., and Pearce J. M., Open-source colorimeter, Sensors, Vol. 13, no. 4, pp. 5338-5346, 2013.
19. SulkinM. S., WidderE., Shao C. C., HolzemK. M., GloschatC., GutbrodS. R., et al., 3D printing physiology laboratory technology, Amer. J. Physiol. Heart Circulatory Physiol., Vol. 305 nos. pp. 1569-1573, 2013.
20. Aydın, L, Üç Boyutlu Yazıcıyla Ayak Bileği Ortezinin Tasarımı ve Geliştirilmesi. Yüksek Lisan Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2014
21. Kayacan MY, Gören A, Reçine Kürlleme Metoduna Dayalı Üç Boyutlu Yazıcılarda Optimum Kürlleme Süresinin Belirlenmesi, Endüstri ve Otomasyon, Kasım 2014.
22. <http://turkisi.programlar.ntv.com.tr/3d-cikolata-makinesi-nasil-yapilir> (10 Nisan 2016)

3 BOYUTLU YİYECEK YAZICISI TASARIMI VE PROTOTİPİ

Gülce KAYA^a, Hatice EVLEN^b, Kerim ÇETİNKAYA^b

^aKarabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE
glcekaya@gmail.com

^bKarabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE
hakgul@karabuk.edu.tr, kchetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

3 boyutlu yazıcılar, özellikle mühendislik, mimarlık, tıp alanlarında kullanılan ve gün geçtikçe hayatımızı daha da kolaylaştıracak gelişmelere imza atacak olan teknolojik cihazlardır. Yakın bir zaman önce, 3 boyutlu yazıcılar yiyecek sektöründe de rol almaya başlamış ve dünya mutfağına futuristik bir yöntem olarak giriş yapmıştır.

Bu çalışmada yiyecek sektöründe kullanılmak ve geliştirilmek üzere kartezyen tipi 3 boyutlu yazıcı prototipi ve kafa tasarımı ve prototipi yapılmıştır. Kullanılan hammaddeler kurabiye hamuru, çikolata, meyve aromalı hamurlar ile geliştirilebilir tarifleri içerebilir. Ayrıca çıkan ürünler table ısıtmalı sistemle pişirilip servise hazır hale getirilebilir. Sistemin boyutları XYZ sırasıyla 400x400x360mm dir. Arduino kontrol kartı kullanılmıştır ve table sıcaklığı arduino ile control edilmektedir. X ekseninde 1, Y ekseninde 1, Z ekseninde 2, extruder da 1 olmak üzere toplam 5 adet 0.5 Nm' lik adım motoru kullanılmıştır. Kafa tasarımında Power ABS malzemeden hazne tasarlanıp üretilmiş ve malzeme iletimi günümüzde kullanılan pistonlu sistemlerden farklı olarak helezonik plastik mil yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: 3 boyutlu yazıcı, Yiyecek yazıcısı

Abstract

3D printers are the technological devices used especially in engineering, architecture, and medicine. Because of the rapid improvement, they provide significant amenities to our lives day after day. Recently, 3D printers have started to take place in food industry and entered into world cuisine as a futuristic way.

In this study, a cartesian type 3D printer prototype and a 3D printer head prototype were developed. This machine can process developable recipes with ingredients such as cookie dough, chocolate, and fruit-flavored dough. In addition, printed product can be cooked via built-in heated tray for the purpose of serving. The X,Y,Z dimensions of the system are 400x400x360mm respectively. An Arduinio control card was used in the printer to measure the temperature of the heated tray. In total, six 0.5Nm step motors were used which are 1 for X axis, 1 for Y axis, 2 for Z axis, and 1 for extruder. In the production of the head, Power ABS was chosen as the material of the head reservoir. Contrary to today's commonly used piston-mechanised material delivery sytems, helical plastic shaft was used.

Key words: 3 dimensional printer, Food printer

1.Giriş

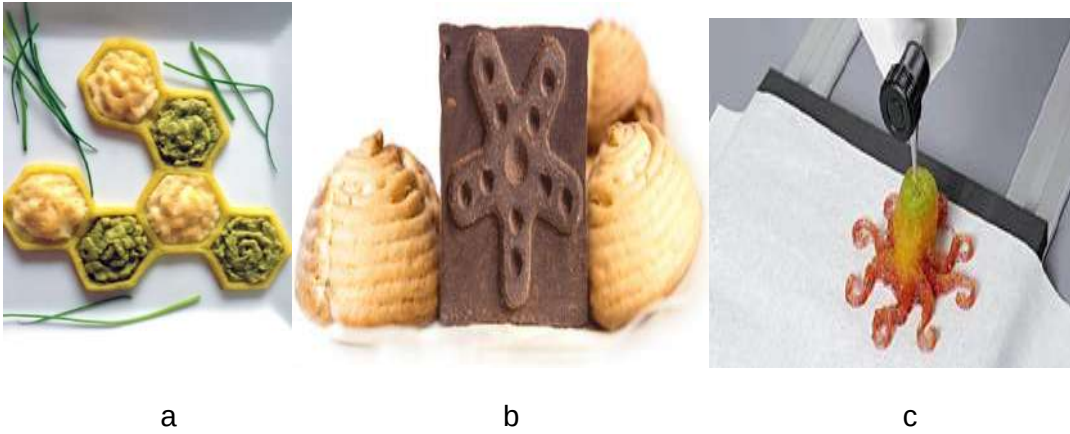
Sanal ortamda tasarlanan herhangi bir şekildeki 3 boyutlu nesnenin katı formda basılması işlemine 3 boyutlu baskı denir ve bu işlemi gerçekleştiren cihazlara 3 boyutlu yazıcılar denir [1]. Hızlı prototipleme olarak bilinen bu teknoloji de farklı yöntemler ve farklı hammaddeler kullanılmaktadır. En yaygın kullanıma sahip olan üç boyutlu yazıcıların çalışma prensibi, bilgisayar ortamında hazırlanmış herhangi bir üç boyutlu nesnenin bilgisayar ortamında katmanlara bölünmesi (STL formatına dönüştürülmesi) ve sonra katman katman inşa edilerek gerçek objeyi oluşturmalarıdır [2].

3 boyutlu yazıcı teknolojileri birçok farklı teknolojiyi birarada sunar. Bu teknolojiler, Stereolithography (SL), Fused Deposition Modelling (FDM), Shape Deposition Manufacturing (SDM), Selective Laser Sintering (SLS), Objet Polyjet, Multijet, ColorJet gibi teknolojilerdir [3]. Günümüzde en çok kullanılanı FDM yöntemidir, yani bilgisayarda 3 boyutlu modeli bulunan cismin 2 boyutlu katmanlar halinde yığılmasıyla 3 boyutlu ürün elde edilmesidir. Bu teknolojiler de ABS (acrylonitrile butadiene styrene), PLA (polylactic acid), metal, plastik, demirtozu gibi farklı malzemeler kullanılır [4].

Anlatılan 3 boyutlu yazıcı teknolojilerinin dışında farklı bir sektörde de 3 boyutlu yazıcılar kullanılmaya başlanmıştır. 2013 yılında Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından 3 Boyutlu Yiyecek Yazıcıları hayatımıza girmiştir. NASA 'nın bu projeyi hayata geçirmesindeki asıl neden, uzaydaki astronotların protein ihtiyaçlarını daha rahat karşılamasıdır. Karbonhidrat, protein tozu ve yağ içeren kartuşlara sahip 3 boyutlu yiyecek yazıcılarıyla hazırlanan projedeki ilk ürün pizzadır [5].

3 boyutlu yiyecek yazıcılarının günümüzde kullanılmaya başlanmasındaki bir diğer neden de müşteri talebine özel olarak tasarlanmış yiyecekler için günümüzde artan bir Pazar ihtiyacı oluşmasıdır. Bu ihtiyaç özel eğitilmiş aşçılara gereksinim duymamızı sağlamıştır. 3 boyutlu yiyecek yazıcıları diğer adıyla yiyecek katmanlı üretim bu ihtiyaca bir çok alternative sunmaktadır. 3 boyutlu müşteriye özel tasarlanmış yiyecek objeleri katman katman malzeme yığma yöntemiyle, kalıplamaya yada insan çabasına ihtiyaç duymadan üretilmektedir. Bu teknoloji kişiye özel yiyecek imalatında, üretim ve üretim verimliliğini artırıp, maliyetini düşürmeye yarar sağlamıştır [6].

Nasa'nın önderliğinde olacakki, artan pazar ihtiyacına göre farklı alanlardaki 3 boyutlu yiyecek yazıcı şirketleri artmaya başlamıştır. 'Naturel Machines' den Foodini (Şekil 1a), İngiltere'de üniversite öğrencileri tarafından yapılan ve ısıtıcısı sayesinde hazır ürün ortaya koyabilen F3D, ilk çikolata yazıcılarından olan Choc Creator, çok amaçlı üretim yapabilen Zmorph (Şekil 1b), moleküler gastronomi kullanarak meyve üretebilen Dovetailed, kendi tasarladığımız şekerlemeleri yememize olanak sağlayan 'Magic Candy Factory' (Şekil 1c) gibi firmalar örnek verilebilir [7].

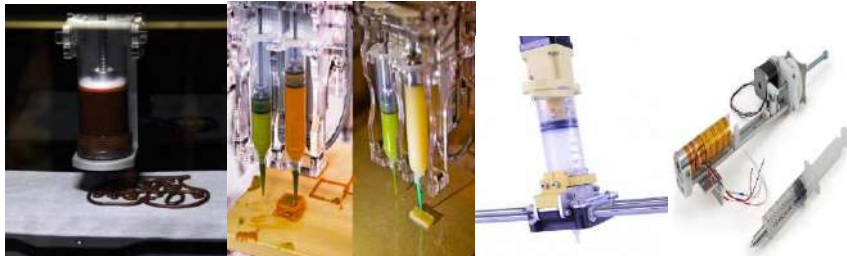


Şekil 1. a)Foodini, b)Zmorph, c)Magic Candy Factory

Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcı tasarımı, ekstruder-hazne tasarımı ve prototipi yapılmıştır. Isıtmalı tabla üzerine yazdırılan yiyecekler pişirilip tüketilmeye hazır hale gelebilir, hazır pasta kekleri üzerine krema süslemeleri ile yaş pasta üretimi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Günümüzde, 3 boyutlu yiyecek yazıcılarında kullanılan ekstrüzyon sistemleri daha çok basınçlı sistemlerdir. Bu sistemlerde silindir pistonuna hareketi sağlamak için step motor veya kompresör kullanılmaktadır. Step motorlu sistemlerde piston hareketi için vidalı mil kullanılmaktadır. Milin dönüş hareketinin, piston kolunun doğrusal hareketine dönüşmesiyle malzemenin katmanlı yazdırılması sağlanmaktadır. Şekil2'de step motorla tahrik edilen pistonlu extruder sistemleri görülmektedir [8-12].



Şekil 2. Basınçlı Ekstruder Uygulamaları

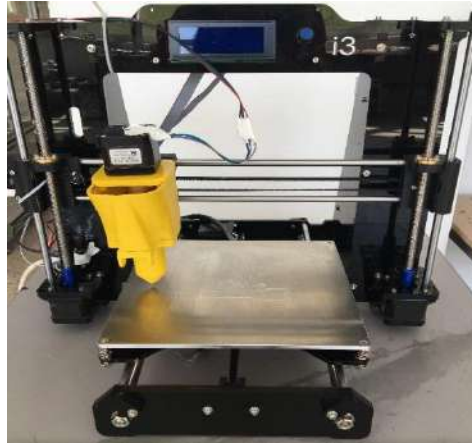
Bu çalışmada referans alınan ZMorph kek ve çikolata ekstruder Şekil 3.'te görülmektedir [12]. Sistemde malzeme çıkışı, step motorun esnek kaplinle bağlandığı helezonik mili tahrik etmesiyle gerçekleşir.



Şekil 3. Zmorph Kek ve Çikolata Extruder Sistemi

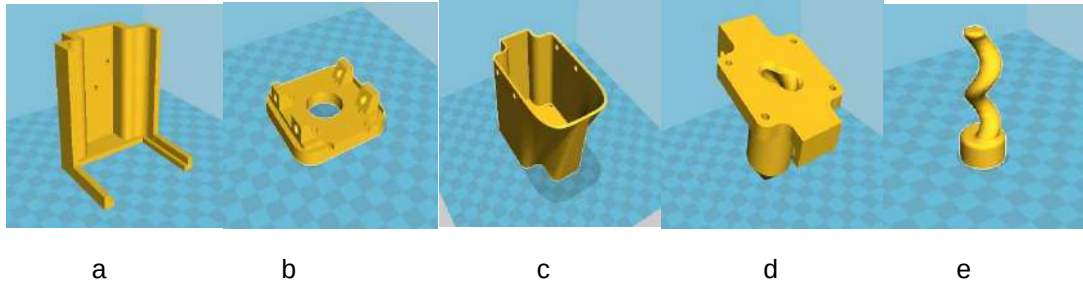
3.Tasarım ve Prototip

Bu çalışmada, Şekil 4.'te görülen Prusa i3 modeli 3 boyutlu yazıcı demonte olarak alınmış, montaj ve kurulumu yapılmıştır. Sistemle birlikte olan filament ekstruderini yerine yiyecek baskısı yapabilmek için hazneli ekstruder tasarımı ve prototipi yapılmıştır. Hazneli ekstruder vidalı transfer sistemi gibi çalışmakta olup vidalı mil step motor ile tahrik edilir. Sistemde Arduino sürücü ve yazılımı kullanılmıştır [13].



Şekil 4. 3Boyutlu Yiyecek Yazıcısı

Hazneli ekstruder vidalı transfer sistemi modeli STL formatında Thingiverse firması internet sayfasından alınmıştır. Sistemin parçaları Şekil 5'de ve montajı Şekil 6'da verilmiştir [10]. Sistem elemanları Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü 3B yazıcı laboratuvarında Power ABS malzemesinden yazdırılmıştır. Sistemin yazıcıya bağlantısını sağlayan Şekil 5a'da verilen parça çalışma kapsamında tasarlanıp üretilerek haznenin kolayca sökülüp değiştirilebilirliğini sağlamıştır.



Şekil 5. Hazneli Ekstruder Parçaları

Extruder haznesi (Şekil 5d) 4 adet M3 civata ve somunla hamur haznesine (Şekil 5c) bağlanmıştır. Hazne kapağına (Şekil 5b) sabitlenen step motor helezonik uca esnek kaplinle monte edilmiştir.



Şekil 6. Zmorph Krema ve Çikolata Ekstruder

Hazneli ekstruder için iki farklı uygulama ve iyileştirme yapılmıştır. İlk tasarım tarafımızdan referans modele benzer yapılmış ve geleneksel imalat yöntemleriyle metalden üretilmiştir. Metalik hazneli ekstruderin ağırlığının hazır yazıcının klavuz millerine uygun olmadığı denemeler sırasında görüldü, böylece sistem plastikten yazdırılıp uygulamaya alınmıştır.



Şekil 7. Metalik Hazneli Yiyecek Yazdırma Ekstruder

Şekil 7’de tasarım ve prototipi yapılan ekstruder haznesinin çalışma prensibi, krom helezonik matkap ucunun step motordan aldığı güçle malzemeyi helezonlardan nozula ve oradan da tablaya iletmesiyle olmuştur. Çizelge 8’de 3B yiyecek yazıcısına ait teknik özellikler gösterilmiştir.

Çizelge 8. 3B Yazıcı Teknik Özellikler

Genel boyutlar	400 x 400 x 360 mm
Baskı boyutları	200 x 200 x 120 mm
Baskı malzemesi	Krema, hamur, erimiş, çikolata vb.
Step motor	Nema 17
Nozzle çapı	Ø3 mm

4.Yazdırma Ayarları

Üç boyutlu yazıcılardan ürün çıkarabilmek için ilk aşamada bu ürünün CAD ortamında üç boyutlu modellenmesi gerekir. Ürün STL formatında kaydedilir ve üç boyutlu yazıcı kontrol programlarına aktarılır. Tasarımı yapılan ekstruder kafasının, Prusa i3 yazıcı kontrolü için kullanılan Cura-15.04.3 yazılımı ile uyumu sağlanmış ve Şekil 9’da Cura arayüzünde belirtilen program ayarları gösterilmiştir.

Basic	Advanced	Ekliantiler	Start/End-GCode	Basic	Advanced	Ekliantiler	Start/End-GCode
Kalite Katman yüksekliği (mm) 3 Kabuk kalınlığı 3 Geri çekmeyi aktifleştirdi ☒				Geri çekme Hız (mm/s) 80 Uzaklık (mm) 2			
Doldur Alt/Üst kalınlığı (mm) 3 Doldurma yoğunluğu (%) 50				Kalite Başlangıçtaki katman kalınlığı (mm) 3 Initial layer line width (%) 150 Nesne tabanı aralığı (mm) 0 Çift ekstrüzyon çıkışması (mm) 0.15			
Hız ve Sıcaklık Baskı hızı 100 Baskı sıcaklığı (°C) 220 Levha sıcaklığı (°C) 0				Hız Hareket hızı (mm/s) 100 Alt tabaka hızı (mm/s) 12 İçdolu hızı (mm/s) 0 Top/bottom speed (mm/s) 15 Dış kabuk baskı hızı (mm/s) 35 İç kabuk baskı hızı (mm/s) 0			
Destek Destek türü Hiçbiri Platforma yapışma türü Hiçbiri				Soğutma Minimum katman basım süresi (sn) 25 Soğutucu fanı çalıştır ☐			
Filament Çap (mm) 3 Akış (%) 92							
Cihaz Baskı ucu çapı (mm) 2							

Şekil 9. Cura Ayarlar

Optimum geri çekme hızı 80 mm/s olarak hesaplanmış ve advanced ayarlara Şekil 9'da görüldüğü gibi eklenmiştir. Bu hız çalışmada en iyi malzeme iletiminin sağlandığı hız olarak belirlenmiştir.

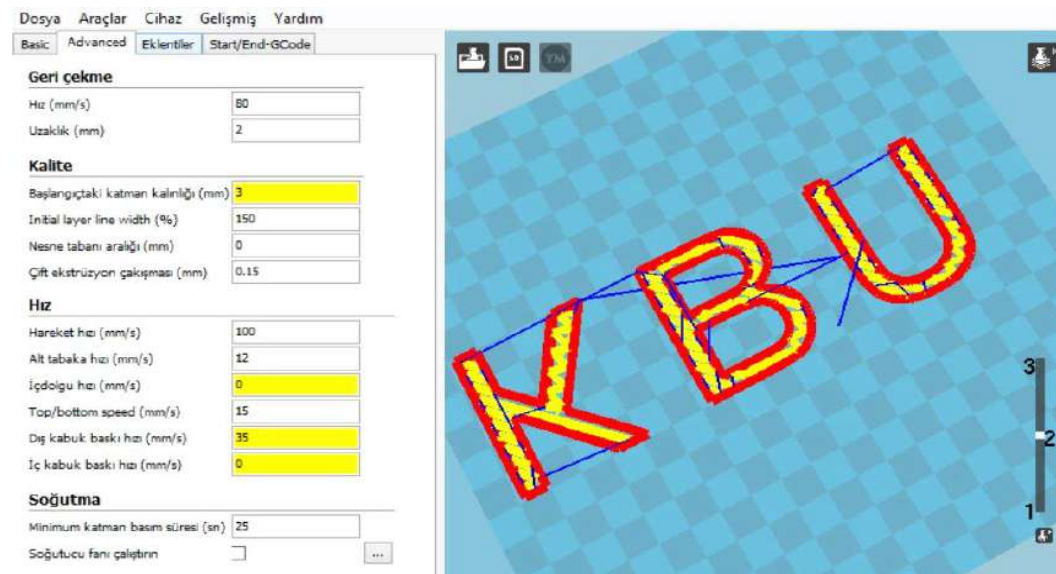
Prusa i3 3 Boyutlu yazıcıda ekstruder nozulu 220 derece sıcaklığa gelmeden motor hareketi sağlanamamaktadır. Bunun için Arduino yazıcı ayarlarının değiştirilmesi gerekmektedir. Fakat hazne kolayca çıkarılıp yazıcı istenildiğinde plastik baskı yapabilen hale geçebilmesi için Arduino yazıcı ayarları değiştirilmemiş olup ekstruder nozulu güvenli bir şekilde sistem üzerinde bulunmaktadır.

3.Uygulamalar

Yazdırma işlemlerinde hamur ve çikolata sosu kullanılarak iki farklı malzeme denenmiştir.

3.1. Kurabiye Yazdırma ve Pişirme Uygulaması

Solidworks programında oluşturulan "KBU" karakteri STL formatında kaydedildikten sonra CURA programında dilimlenme işlemi yapılmıştır. Ayarlar Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Kurabiye Uygulamasının Cura Dilimleme İşlemi

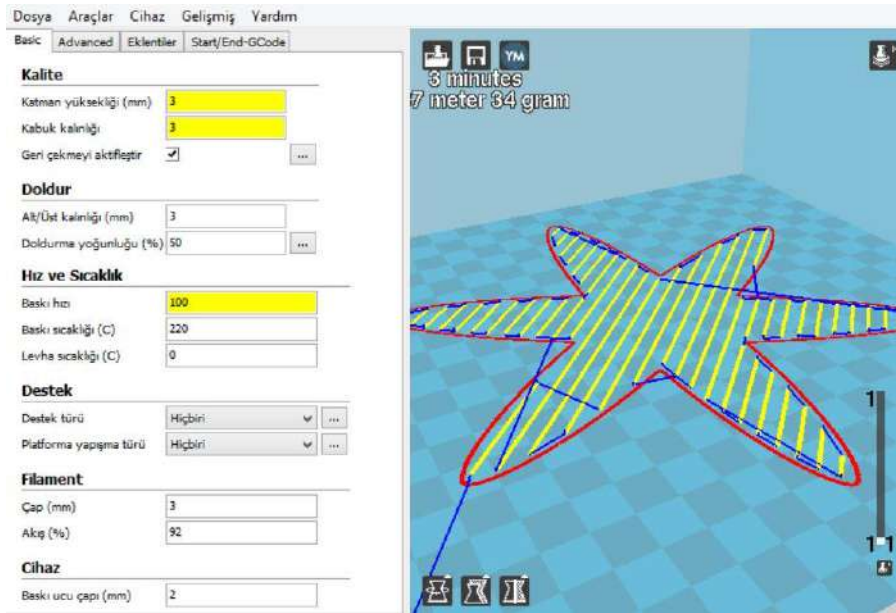
Basımı yapılabilir bir hamur elde etmek için birçok farklı oran denenmiştir. Yazdırmaya uygun kurabiye hamuru için çalışmada yaklaşık olarak 2 bardak una 1 bardak su eklenip karıştırılmıştır. Şekil 11'de hamurdan yazdırma uygulaması görülmektedir.



Şekil 11. Hamur Yazdırma Uygulaması

3.2. Kek Süsleme

Çalışmada 3 boyutlu yiyecek yazıcısında kurabiye baskısına ek olarak kek ve pasta süsleme de yapılmıştır. Solidworks programında çizilen şekil Cura'da katmanlarına ayrılmış (Şekil 12) ve yazıcıya gönderilmiştir. Taban olarak hazır pasta altı kek kullanılmış olup üzerine çikolata sosuyla baskı yapılmıştır (Şekil 13).



Şekil 12. Pasta Süsleme Cura Ayarları



Şekil 13. Pasta Süsleme

4. Sonuçlar

Bu çalışmada üç boyutlu yiyecek yazıcısı ile kurabiye yazdırma, pişirme ve kek süsleme işlemleri yapılmıştır. Prusa i3 3 Boyutlu yazıcısındaki ekstruder çıkarılmış ve yerine tasarlanan ve üretilen yiyecek ekstruder kullanılmıştır. Kurabiye yazdırıp pişirme ve pasta süsleme uygulamaları yapılmıştır. Bu çalışma ile mevcut 3B yazıcılar hibrit 3B yazıcılara dönüştürülebilir. Ekstruder yerine kesici takımlar kullanılarak işleme de yapılabilir. Gelecekte her evde mutfak için bir 3B yiyecek yazıcısı olması muhtemeldir.

Referanslar

1. <http://www.hurriyet.com.tr/nasa-3-boyutlu-yazicilar-ile-yemek-cogaltacak-23342421>
2. Levy, Gideon N.;Schindler, Ralf; Kruth, Jean-Pierre. Rapidmanufacturingandrapidtoolingwithlayermanufacturing (LM) technologies, state of the art andfutureperspectives. *CIRP Annals-ManufacturingTechnology*, 2003, 52.2: 589-609.
3. Guo, Nannan; Leu, MingC. Additivemanufacturing: technology, applicationsandresearchneeds. *Frontiers of MechanicalEngineering*, 2013, 8.3: 215-243.
4. Kreiger, Megan; Pearce, Joshua M. Environmental life cycleanalysis of distributedthree-dimensionalprintingandconventionalmanufacturing of polymerproducts. *ACS SustainableChemistry&Engineering*, 2013, 1.12: 1511-1519.
5. Bourland, Charles T. Thedevelopment of foodsystemsfor space. *Trends in FoodScience&Technology*, 1993, 4.9: 271-276.
6. Sun, Jie, et al. 3D foodprinting–an innovativeway of masscustomization in foodfabrication. *International Journal of Bioprinting*, 2015, 1.
7. <http://3dprintingindustry.com/2014/11/09/11-food-3d-printers/>
8. <http://i2.mirror.co.uk/incoming/article4922559.ece/ALTERNATES/s615/Consumer-Electronics-show.jpg>
9. <http://www.mirror.co.uk/news/technology-science/technology/most-incredible-uses-3d-printing-4936504>
10. <http://www.thingiverse.com/thing:210290>
11. <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/adventures-in-printing-food>
12. <http://sandbox.zmorph3d.com/cake-and-chocolate-extruder/>
13. <https://www.arduino.cc/>

İÇİ BOŞ (SHELL) PRİZMALARIN YAZDIRILMASI İÇİN BİR YÖNTEM

Fuat KARTAL

Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu/TÜRKİYE,
fkartal@kastamonu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, içi boş silindirik prizmaların geometri boyutuna bağlı olarak farklı yoğunlukta destek elemanı ile yazdırılmasında, tavan kısmının yüzey oluşumunda görsel kalite, kullanılabilirlik ve maliyet açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın deneysel düzeneğinin oluşturulmasında açık kaynak kodlu Dream Maker masaüstü açık kaynak kodlu üç boyutlu yazıcı ile 1.75 mm kalınlığında ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) filament kullanılmıştır. Tabla sıcaklığı 105°C ekstruder sıcaklığı 259°C ve nozul çapı 0.4 mm sabit olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda içi boş yapıların yazdırılmasında tavan bölgesinde göçüklerin ve yazdırma hatalarının oluşmaması için destek elemanın kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Farklı yoğunlukta kullanılan destek elemanlarının en iyi sonucu verdiği % 10 doluluk oranıyla hem görsel hemde işlevsellik açısından kullanılabilir olduğu görülmüştür. Önerilen yöntemin diğer içi boş üç boyutlu şekillerde de aynı olumlu sonucu vereceği düşünülmektedir. Maliyet açısından bakıldığında %0 doluluk oranıyla yazdırılan eleman ile % 10 doluluk oranıyla yazdırılan eleman arasında fiyat olarak 0.02 \$lık fark olmuştur. İş yapabilirlik ve görsellik ele alındığında göz ardı edilebilir ve uygulanabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

Anahtar kelimeler: 3b yazıcı, İçi boş obje, Erimiş birikim modelleme, Hızlı prototipleme, 3 boyutlu baskı

Abstract:

This study aims to investigate the visual quality, practicality, and cost aspects of the surface formation of the ceiling part of the hollow 3D printed cylinder prisms using different volumes of supporting material according to the geometrical size of the material to be printed. Dream Maker open source desktop 3D printer with ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) filament at 1.75mm thickness was used for the experimental mechanism designed for this study. Table temperature was set to 105°C while extruder temperature was set to 259°C and a nozzle diameter of 0.4mm was selected as a constant. Results of the study showed that supporting material is required in order to avoid dents and printing errors around the ceiling part when 3D printing hollow structures. It was found that both visual and functional practicality was achieved using 10% fill rate which gives the best results for supporting materials of different densities. We believe that the recommended method will produce similar favorable results for other hollow 3D objects. With regard to the costs, there was a \$0.02 difference between the material printed with a 0% fill rate and the one printed with a 10% fill rate. In terms of practicality and visual quality, the printed material was found to have negligible errors, thus it is feasible.

Keywords: 3d printer, Shell objects, Fused deposition modeling, Rapid prototyping, 3D printing

1. Giriş

Hızlı prototipleme (HP)1980'lerin ortalarında ticari hale gelmiş ileri üretim teknolojisidir. Günümüzde HP teknolojisi konsept modeller ve işlevsel modeller için mühendislikte yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. HP uygulamalarının tasarım-üretim çevrimini büyük ölçüde kısalttığı, dolayısıyla da ürün maliyetini düşürürken rekabetçiliği artırdığı görülmüştür [1,2]. Bu teknolojiye gelişmeler, yine birçok durumda maliyetleri ve çevrim süresini düşürdüğü ya da düşürme potansiyeli olduğu kanıtlanan kısa ve uzun süreli kalıplamaya odaklanmaktadır. Günümüzde Stereo litografi (SLA), Seçimli Lazer Sinterleme (SLS), Lamine Nesne İmalatı (LOM), Eriyik Yığma Modelleme (EYM), Katı Tabaka Kırılma (SGC) ve Üç Boyutlu Baskı (3DP), vb. HP sistemleri ticari olarak piyasada bulunabilmektedir [1-4]. Tüm HP sistemleri üretilebilecek malzemenin tipi ve özellikleri üzerinde sınırlamalara sahiptir. Eriyik yığma modelleme ABS veya PLA (Poly-Lactic-Acid) plastik malzemesi kullanarak ilk örnek parçaları üretmektedir. Bu modüler donanım üretim yöntemleri için yeni ve yıkıcı bir değerler dizisine dönüştürülebilir [2-4]. İşletim kolaylığı, Kendin-Yap (DIY) yaklaşımı sayesinde kolay ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojinin yaygın olarak kullanılması günümüzde tasarım ve üretim için geçtiğimiz 200 yıl içinde jeopolitik, ekonomik, sosyal, demografik, çevresel ve güvenlik açısından sonuçları olan yaklaşımları sonlandırabilecek devrim niteliğindeki bir teknoloji olarak kabul edilmektedir [3-5]. Üç boyutlu yazıcılar kendini kopyalayan, kendi

parçalarını kendileri üreten ve herkesin inşa edebileceği kadar basit ve kolay olan makineler versiyonları tasavvur edilmiştir [2-6]. RepRap, kendi mekanik bileşenlerinin yaklaşık %57'sini (bağlayıcılar, cıvatalar ve somunlar hariç) kendisi üretebilen düşük maliyetli masaüstü hızlı prototipleycidir [5-7]. Üç Boyutlu baskı sanal ortamda tasarlanmış herhangi şekildeki bir üç boyutlu nesnenin katı formda basılması işlemidir [5-8]. Eklemeli Üretim (EÜ) etkili bir teknoloji olmasına rağmen mevcut malzemelerin EÜ teknolojileri ile uyumu sorusu nedeniyle bu teknolojinin tam ölçekli uygulamaları fazla ilgi görmemiştir [9]. EÜ teknolojilerinin diğer üretim süreçlerine göre çok sayıda tasarım ve çevresel avantajı olsa da EÜ teknolojisinin nihai kullanım bileşenleri üretiminde benimsenmesi bu teknoloji için günümüzde sınırlı sayıda malzeme olması nedeniyle gelişmemiştir. Modern EÜ teknikleri ile günümüzde kullanılan malzemelerin büyük bölümü tescilli polimerlerdir. Ayrıca bazı metaller (çelik alaşımları ve titanyum gibi) ve seramik ile kullanım olasılığı da bulunmaktadır. EÜ kapsamında kullanılacak farklı malzeme tipleri bulunmasına rağmen katman-katmanın neden olduğu anizotropi sebebiyle malzeme özellikleri genellikle geleneksel yöntemlerle üretilenler kadar güçlü değildir [10]. Bu sınırlamanın üstesinden gelmek için geleneksel malzemelerden daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeler geliştirmeyi ve bu teknoloji ile uyumu sağlamayı amaçlayan bir yaklaşım benimsenebilir. Diğer bir yaklaşım ise süreç parametrelerini özelliklerin iyileştirilmesini mümkün kılacak şekilde üretim aşamasında gereğince ayarlamak olabilir [11].

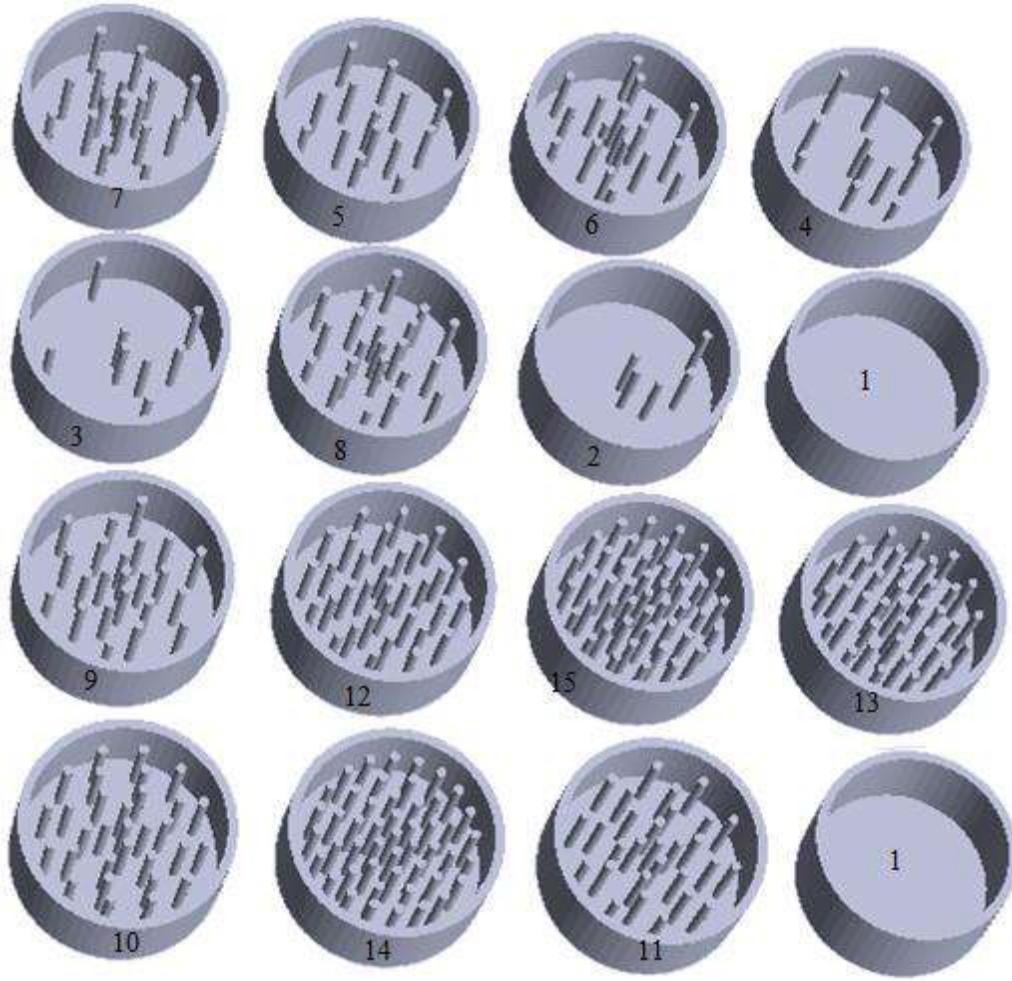
Çok sayıda araştırmacı geçtiğimiz yıllar içerisinde EYM parçaların anizotropik özelliklerine odaklanmıştır. Rodríguez vd. [12] çeşitli mezoyapılara sahip EYM örneklerinin gerilme direnci ve esneklik katsayılarını ABS monofilaman hammaddenin özellikleri ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bu araştırmanın sonucuna göre gerilme kuvvetinin eksenine göre hizalı liflere sahip parçalarda gerilme direnci en yüksek değere sahiptir. EYM parçaların mekanik özellikleri sadece orijinal filamanın yapı malzemesi ile kontrol edilmekle kalmamakta aynı zamanda sürecin doğasında olan katmanlama ile ilişkili olarak anizotropik özelliklere sahip bileşenler üreten yönsel açıdan bağımlı üretim sürecinden de büyük ölçüde etkilenmektedir [13]. Esneklik özelliklerinin örneğin yönelimine bağlı olduğu bir malzemenin anizotropik olduğu söylenebilir. Ahn vd. [14] EYM parçaların hem gerilme hem de basınç direnci üzerinde model sıcaklığı, küre genişliği, raster yönü, hava boşluğu ve ABS rengi etkilerini değerlendirmek için bir faktöriyel deney tasarlanmıştır.

Araştırmacılar hem hava boşluğu hem de raster yönünün elde edilen gerilme direnci üzerinde önemli etkilere sahipken basınç direncinin bu faktörlerden etkilenmediğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar arasında EYM parça tasarımı için bir dizi önerilen yapısal kurallar da bulunmaktadır. Sood vd. [15] katman kalınlığı, yapısal yönelim, raster açısı, raster genişliği ve hava boşluğunun çeşitli faktörlerini kullanarak benzer bir çalışma gerçekleştirmiştir. Süreç parametreleri ile örnek gücü arasındaki fonksiyonel ilişkiyi analiz etmek için Cevap Yüzeyi Yöntemi (CYY) kullanılmış ve teste tabi faktörlerin parçanın mezoyapısal konfigürasyonunun yanı sıra parça içerisindeki bağ kurulumu ve distorsiyonu da etkilediği görülmüştür. Sood vd. [16] aynı beş süreç parametresinin test örneklerinin elde edilen basınç direnci üzerindeki etkilerini de incelemiştir. Elde edilen sonuçlar lifler arası bağ gücü ve yapım sürecinde distorsiyonun kontrolünün önemini vurgulamaktadır. Lee vd. [17] katman kalınlığı, raster açısı ve hava boşluğunun eriyik yığılma ile üretilen uyumlu ABS prototiplerinin elastik performansını etkilediği sonucuna varmıştır. Lee vd. [18] katmanlı parçaların basınç direncini yapı yönünün bir fonksiyonu olarak ele almış ve basınç direncinin EYM örneklerinde çapraz örneklerle göre daha büyük olduğu sonucuna varmıştır.

2. Materyal ve Metot

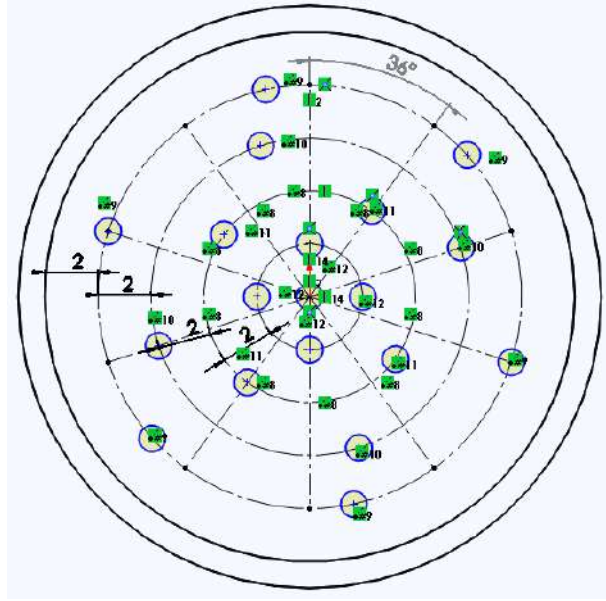
2.1. Geometrilerin Oluşturulması

Bu çalışmada açık kaynak kodlu üç boyutlu yazıcıda yazdırılmak üzere hazırlanan her tarafı kapalı silindirik prizmaların üç boyutlu tasarım görüntüsü ve iç destek elemanlarının yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. İçi boş yapıların tasarımı SolidWorks paket programında yapılmıştır. Modellerin tüm yüzeylerinin cidar kalınlığı tüm modeller için 1 mm, parçaların yüksekliği 10 mm olarak belirlenmiştir. SolidWorks programında iki boyutlu tasarlanan modeller üç boyuta çevrilip *.STL uzantılı olarak kaydedilmiştir. Tüm deneylerde deney sonrası kesim işlemi olmaması için taban yüzeyi açık olarak tasarlanıp yazdırılmıştır. Böylelikle deney neticeleri ve numunelere zarar vermeden inceleme imkânı olmuştur.



Şekil 1 Silindirik Prizmaların İzometrik Üç Boyutlu CAD Görünümü

Aynı hacme sahip silindirik geometrilerin destek elemanları için 15 farklı model oluşturulmuştur. Çizim esnasında destek elemanlarının yoğunluğu 1 numaralı elamandan 15 numaralı deney numunesine yoğunluğu yörüngelerde bulunan 0.5 mm çapında 9 mm boyunda olarak yörünge çapları arası mesafe 2 mm olarak seçilmiştir (Şekil 2). Üç boyutlu yazıcı programında destek elemanları tüm modeller için aynı olarak belirlendiği için işlem maliyeti ve ayrı ayrı yazdırma işlemi gerektiği için SolidWorks programında parametrik olarak çizilerek modeller oluşturulmuştur. Ayrıca yazdırma işleminden sonra destek elemanları kolaylıkla kırılarak model üzerinden koparılabilir. Şekil 2’de gösterilen tasarı geometride destek elemanları yörüngeleri tüm modellerde 2 mm olarak sabit kullanılmış ve sadece destek elemanlarının sayısı artırılmıştır.



Şekil 2. (7) Numaralı Silindir Prizmanın Destek Elemanlarının Konumlaması ve Sayısı.

2.2. Kullanılan 3B yazıcı

Bu çalışma kapsamında Dream Maker 3B yazıcı kullanılmıştır. Dream maker tamamen yerli tasarım olup Prusa vb. açık kaynak kodlu yazıcılara benzer özelliktedir. İşleme alanı (200x200x200)mm dir. Isıtma tablası ve PLA için soğutma fanı mevcuttur. LCD kontroller sayesinde bilgisayardan bağımsız çalışabilmektedir. Şekil 3'te açık kaynak kodlu Dream Maker 3B yazıcı görülmektedir.



Şekil 3 Açık Kaynak Kodlu Dream Maker 3B Yazıcı

2.3. Deney koşulları

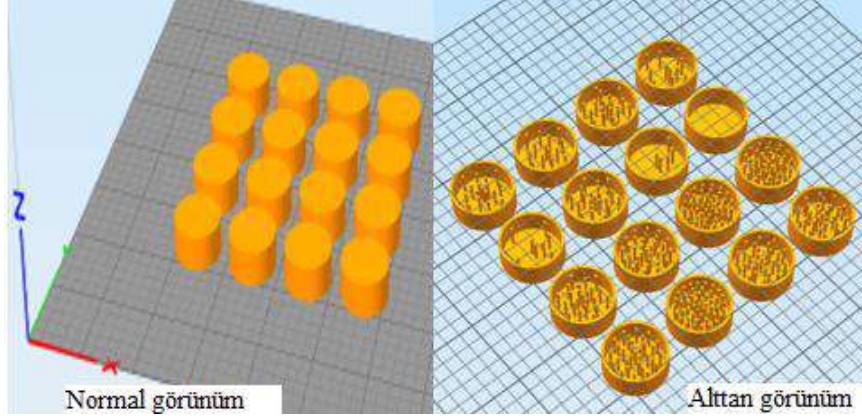
Çalışma kapsamında açık kaynak kodlu yazıcı için baskı alma şartları Çizelge 1'de verilmiştir. Tüm deneyler boyunca parametreler sabit olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1 Deney Koşulları

Parametre	Değeri
Ekstruder sıcaklığı	259 C°
Tabla sıcaklığı	105 C°
Filament	1.75 mm ABS
Nozul çapı	0.4 mm
Katman yüksekliği	0.2 mm

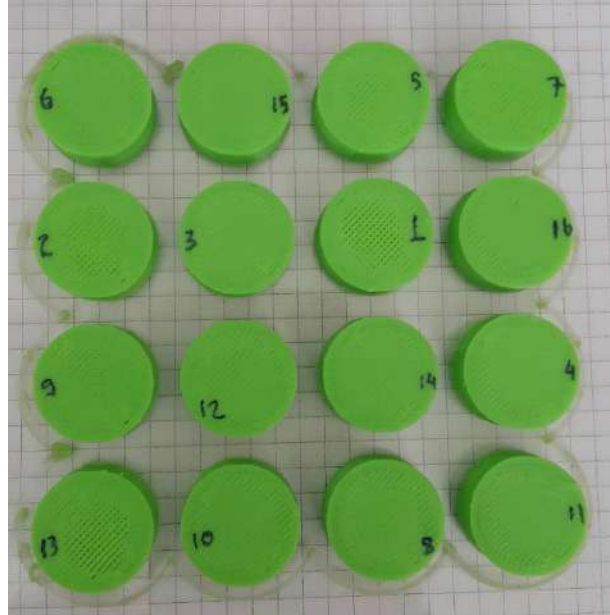
3. Bulgular ve Tartışma

STL uzantısıyla kaydedilen prizmaların bir yüzeyi açık olan silindirik prizmalar Repiter host programına aktarılmış ve tabla merkezine gelecek şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3).



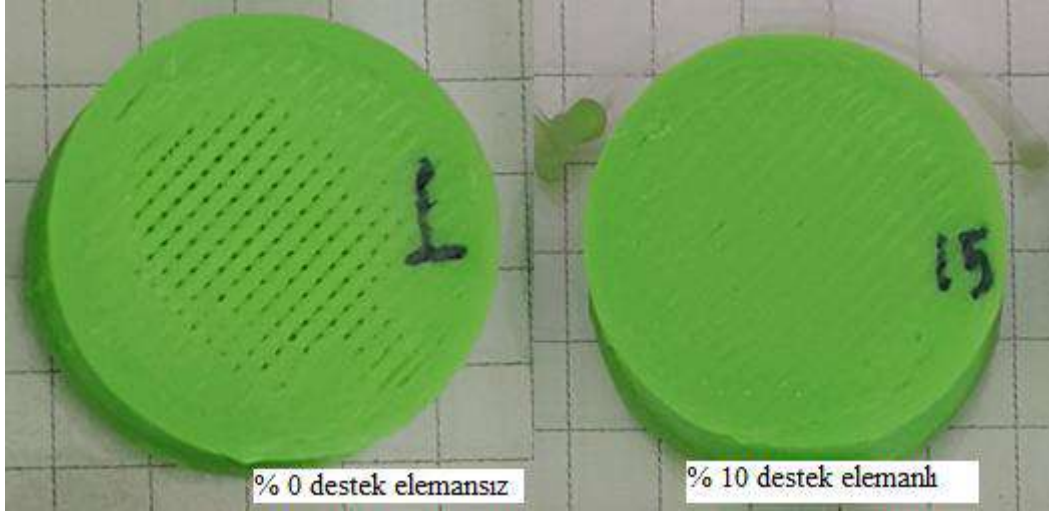
Şekil 3 Bir Yüzeyi Açık Olan Silindirik Prizmaların Repiter Host Yazılımında Baskıya Verilme Şekli Görüntüsü

Repiter host ile dilimlemesi yapılan modelin baskı işlemi yapıldıktan sonra yazıcıya kod aktarılıp 8 saat süre sonunda yazdırma işlemi tamamlanmıştır. Yazdırma işleminden sonra açık yüzeyi ısıtma tablasına bakan yüzeylerinden soğutma işlemi yapılarak parçalar çıkartılmıştır. Parçaların yazdırılma sonra görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4 (15) Farklı Destekleme İle Yazdırılan Silindirik Prizmaların Yazdırılma Sonrası Üst Yüzeylerinin Görüntüsü

Şekil 5'te 1 numara ile gösterilen eleman % 0 destek elemanı kullanılarak yazdırılmıştır. Tavan bölgesini yazdırmada %0 destek elemanı kullanılmasıyla sarkmalar meydana gelmiştir. Bu erimiş filamentlerin sarkması istenmeyen bir durumdur. Hem yazdırılan cismin dayanımı hem de estetiği açısından büyük önem arz etmektedir. 1 numaralı parça tavan üst yazdırma bölgesinde yüzey tam kapatılmadığı için izgara şeklinde bir ağ örgüsü tespit edilmiştir.



Şekil 5 Silindirik Parçaların Üretilen Parçalarının Görünümü

Şekil 6'da silindirik prizmaların 15 ve 1 numaralı parçaların yazdırılma sonrası görünümü verilmiştir. Üretilen modellerde 15 numaralı parça maksimum dolgu oranı (% 10) ve (% 0) dolgu oranı ile yazdırılmış 1 numaralı parçaların içyapıları görülmektedir. 1 numaralı parçada destek elemanı olmadığı için tavan bölgesinden aşağıya erimiş filament akıntıları görülmektedir. Yapılan denemeler sonucunda parçalarda üst tavan bölgesinin su geçirgen olduğu görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 6 Silindirik Prizmaların 15 ve 1 Numaralı Parçaların Yazdırılma Sonrası İç Bölgelerin Makro Görüntüleri



Şekil 7 Su Sızdırmazlık Testleri 1 ve 15 Numaralı Parçaların Görünümü.

Bu parçalarda nozuldan çıkan erimiş filamentin sarkma yapmadan doğrudan işlenen ve oluşan yüzey üzerinde işlemini devam ettirmesiyle eritme yığma işlemi kesintisiz ve bölüntüsüz olarak yapılabilmiştir. Buna benzer geometriler yazdırılmadan önce dilimleme ve hazırlık programlarında objelerin düşünülerek yerleştirilmesi ve konumlandırılması gerekmektedir. Su sızdırmazlık testinde 1,2,3,4,5,6,7,8 ve 9 numaralı numunelerde su geçirgenliği tespit edilmiştir. 10, 11,12,13,14 ve 15 numaralı parçalarda su geçmediği görülmüştür. İç yüzey kalitesi olarak en iyi yüzey görünümü 15 numaralı parçada en kötü yüzey görünümü ve fonksiyonel yetersizlik 1 numaralı parçada görülmüştür. Üç boyutlu yazıcıda 1 ve 15 numaralı üretilen parçalara ait üretim maliyeti Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2 1 ve15 Numaralı Parçalara Ait Maliyet Çizelgesu

	1 nolu parça	15 nolu parça
Baskı süresi (dak.)	11	18
Filament uzunluğu (mm)	403.3	545.5
Parça ağırlığı (g)	1.21	1.64
Fiyatı (\$)	0.06	0.08

4. Sonuçlar ve Öneriler

Günümüzde açık kaynak kodlu yazıcıların ilk alım fiyatları çok yüksek olmadığı için kullanıcılar için başlangıç makineleri olmuştur. Üç boyutlu yazıcılarda tecrübe ve bilgi gerektiği için, geometrilerin yazıcı dilimleme programında objelerin baskıya hazırlık konusunda çok hatalar yapılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında denenen sınırlar içerisinde elde edilen sonuçlar şöyledir;

- Parçaların yazdırılmasında hem kalite hem maliyet önemlidir.
- Parçalar görsel ve fonksiyonel olarak yetersiz ise hurda maliyetini artırır dolayış ile az maliyetli parçalar yazdırılmak istenirse bile geometrinin makro görünüm kalitesinden ve fiziksel işlevlerini yeterince sağlayabilir bir şekilde yazıma hazırlanmalıdır.
- İçi boş yapıların yazdırılmadan önce dilimleme ve baskı yazılım programında yerleşimi ve baki yönü uygun seçilmelidir. Varsa açık yüzey kapalı yüzeyin sıcak tablaya konumlandırılması gerekir.
- X-Y-ve Z eksenlerindeki konumları ve yönleri doğru yerleştirilen objeler yazdırıldıktan sonra dayanım özelliklerinin yükselmesine neden olur.
- İçi boş objelerin destek elemanlarıyla yazdırılması desteksiz olarak yazdırılmasına göre maliyet açısından büyük bir fark oluşturmamaktadır.
- İş parçası makro görünüm yüzey kalitesi ve fonksiyonellik açısından içi boş hacimler yazdırılırken destek ve dolgu elemanları kullanılmalı. Eğer ön kestirim yapılabiliyorsa en az düzeyde % olarak oranı düşük destek elemanı kullanılmalı, zira elektrik ve filament ve ayrıca üretim zamanı açısından maliyeti arttırabilir.
- Yazdırma süresi, parça yerleşim ve yönüne göre değişiklik gösterebilir hatta üretim maliyetini de etkileyebilir.

- Bu çalışma Taguchi yöntemi deney düzeni oluşturularak analiz edilip daha hassas sonuçlar alınabilir.

Referanslar

1. BAK, David. Rapid prototyping or rapid production? 3D printing processes move industry towards the latter. *Assembly Automation*, 23.4: 340-345, 2003.
2. Bassoli, E., Gatto, A., Iuliano, L., & Grazia Violante, M. (2007). 3D printing technique applied to rapid casting. *Rapid Prototyping Journal*, 13(3), 148-155. Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., & Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, 23(6), 713-726.
3. Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., & Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, 23(6), 713-726.
4. Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2013). Environmental impacts of distributed manufacturing from 3-D printing of polymer components and products. In *MRS Proceedings* (Vol. 1492, pp. 85-90). Cambridge University Press.
5. Kasparova, M., Grafova, L., Dvorak, P., Dostalova, T., Prochazka, A., Eliasova, H., ... & Kakawand, S. (2013). Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online*, 12(49), 1-11.
6. Irwin, J. L., Pearce, J. M., Anzalone, G., & Oppliger, D. E. (2014, June). The RepRap 3-D printer revolution in STEM education. In *121st ASEE Annual Conference & Exposition*.
7. Pirjan, A., & Petrosanu, D. M. (2013). The impact of 3D printing technology on the society and economy. *Journal of Information Systems & Operations Management*, 1.
8. Hausman, K. K., & Horne, R. (2014). *3D printing for dummies*. John Wiley & Sons.
9. G. N. Levy, R. Schindel, and J. P. Kruth, "Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives," *CIRP Annals: Manufacturing Technology*, vol. 52, no. 2, pp. 589–609, 2003.
10. O. Ivanova, C. Williams, and T. Campbell, "Additive manufacturing (AM) and nanotechnology: promises and challenges," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 19, no. 5, pp. 353–364, 2013.
11. P. K. Jain, P. M. Pandey, and P. V. M. Rao, "Effect of delay time on part strength in selective laser sintering," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 43, no. 1-2, pp. 117–126, 2009.
12. K. Chockalingam, N. Jawahar, and U. Chandrasekhar, "Influence of layer thickness on mechanical properties in stereolithography," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 106–113, 2006.
13. J. F. Rodríguez, J. P. Thomas, and J. E. Renaud, "Mechanical behavior of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) fused deposition materials. Experimental investigation," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 148–158, 2001.
14. S.-H. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy, and P. K. Wright, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 248–257, 2002.
15. A.K. Sood, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, "Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts," *Materials and Design*, vol. 31, no. 1, pp. 287–295, 2010.
16. A.K. Sood, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, "Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement," *Journal of Advanced Research*, vol. 3, no. 1, pp. 81–90, 2012.
17. B.H. Lee, J. Abdullah, and Z. A. Khan, "Optimization of rapid prototyping parameters for production of flexible ABS object," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 169, no. 1, pp. 54–61, 2005.
18. C.S. Lee, S. G. Kim, H. J. Kim, and S. H. Ahn, "Measurement of anisotropic compressive strength of rapid prototyping parts," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 187-188, pp. 627–630, 2007.

ERGİYİK BİRİKİMLİ MODELLEME (FDM) TEKNIĞI İLE ÇOK EKSENLİ HIZLI ÖRNEKLEME PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ

Mücahit Soyaslan^a, Mustafa Kurt^b, Ergün Nart^c

*a,c, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya/Türkiye
msoyaslan@sakarya.edu.tr^a, enart@sakarya.edu.tr^c
b, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye
mkurt@marmara.edu.tr*

Özet

Ergiyik Birikimli Modelleme (FDM) teknolojisi ile çalışan 3B yazıcılarda, parça geometrisinde aniden gerçekleşen kesit artırımlarını veya ayrımlarını üretebilmek için destek malzemesi kullanımı zorunlu olmaktadır. Bu problemin çözümünde başlıca kullanılan yöntem parçanın en uygun şekilde üretim yönünün seçilmesidir. Böylelikle hem kullanılan destek malzemesi hem de buna bağlı olarak üretim süresi ve kullanılan filament miktarı minimize edilecektir. Yapılan çalışmada; parçayı oluşturan STL verisinden elde edilen kapalı çevrimlerin (close-loop) aşağıdan yukarı yönde sayılarındaki, alanlarındaki değişim ve aralarındaki geçiş açısı olmak üzere üç parametre dikkate alınarak bir karar mekanizması oluşturulmuş ve buna bağlı olarak değişik geometrilere sahip parçalarda en uygun parça yönelimi (oryantasyonu) elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre çok eksenli çalışabilen hızlı örneklem (prototipleme) platformunun geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hızlı prototipleme, Parça yönelimi, STL verisi, Destek malzemesi, Üretim süresi.

DEVELOPMENT OF MULTI-AXIS RAPID PROTOTYPING PLATFORM USING FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) METHOD

Abstract

For 3d printers that works using Fused Deposition Modeling (FDM) technology; It is necessary to use of support material for the production of parts which have complex geometries such as sharp sectional increments or separations. The one method that is used to avoid this problem is usually to select the most appropriate part orientation. Thus, both used support material and production time and consequently used filament amount can be minimized. In this study; a decision mechanism is established considering the closed-loops numbers, area and angle change between the two consequent closed-loops which are generated from STL data. Therefore, the optimal build orientation is obtained for the parts which have complex geometries. If the there is no suitable orientation, it is aimed to build parts without support materials by using a multi-axis rapid prototyping platform.

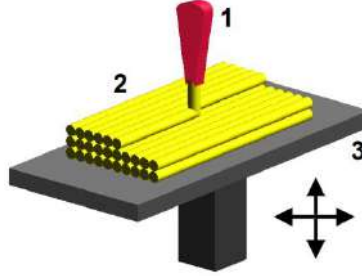
Keywords: Rapid prototyping, Part orientation, STL data, Support material, Building time.

1. Giriş

1984 yılında literatüre giren ve son 10 yılda hızlı bir gelişme gösteren, eksiltici üretimin tersine katmanlı üretim tekniğini (additive manufacturing) kullanan hızlı prototipleme sistemleri birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Üretim yöntemlerinde yeni bir teknik olan ve geleneksel üretime göre parça sayısını azaltan hızlı prototipleme cihazları az sayıda üretim istendiğinde seri üretime göre daha ekonomik olmaktadır. Yapılan işlemi tanımlamak için “eklemeli üretim” veya “katmanlı üretim” terimlerinin kullanıldığı hızlı prototipleme teknikleri 6 başlık altında sınıflandırılmaktadır [1]. Bu teknikler şöyledir:

Stereolitografi (Stereo Lithography - SLA)
Ergiyik Birikimli Modelleme (Fused Deposition Modeling - FDM)
Tabakalı Parça İmalatı (Laminated Object Manufacture - LOM)
Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering - SLS)
Katı Tabaka Kürlenme (Solid Ground Curing - SGC)
3 Boyutlu Püskürtmeli Baskı (3D Ink Jet Printing)

Yapılan çalışmanın konusu olan ergiyik biriktirerek modellemede 3 boyutlu nesnenin katı modeli ilk önce 2 boyutlu katmanlara ayrılır (slicing). Ardından bu katmanlar; eritici uç işlevlisi (nozül) ve kullanılan motorların hassasiyetine göre zeminden başlanarak yığılarak oluşturulur ve 3 boyutlu nesne elde edilir. Ergiyik biriktirme işleminin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. 3 boyutlu yazdırma ile yapılan üretimde, tasarımcının istediği model bilgisayarda çizildikten sonra direk olarak üretilmektedir. Böylelikle parçaların tek tek tedarik edilmesi, montajlanması, kaynatılması, parçaların talaşlı üretime sokulması gibi geleneksel yöntemlerin tümü ortadan kaldırılmaktadır [2].



Şekil 1. Ergiyik biriktirerek modelleme: 1)eritme nozülü, 2)yığılmış malzeme, 3)hareketli tezgah [3]

Hızlı prototipleme sistemlerindeki optimizasyon konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle üç veya dört farklı parametre dikkate alınarak parça üretim yönü belirlenmeye çalışılmıştır. Parça üretim yönünün parça kalitesine, üretim süresine, destek malzemesi miktarına ve maliyetlere etkisinden dolayı birçok çalışmada bu parametreler en önemli kısıtlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Model üretiminde ince katmanlar ile parçanın inşası uzun üretim süreçlerine neden olmakta, kalın katmanlar ile parçanın inşası ise basamak etkisinden (staircase effect) dolayı çok zayıf yüzey kalitesine neden olmaktadır [4]. Bu yüzden parça geometrisine bağlı olarak katman kalınlığı ve modelin yönelimi yüzey hassasiyeti açısından çok önemlidir. Model üretim yönünün bir diğer önemli etkisi ise parçanın mukavemeti üzerinedir. Üretim yönüne dik gelen bir eğme kuvveti karşısında veya üretim yönünde çekme kuvveti uygulandığında parçanın katmanlı üretimine bağlı olarak mukavemeti azalabilmekte iken diğer yönlerde mukavemeti daha güçlü olmaktadır. Dolayısıyla mukavemet de parça üretim yönünün belirlenmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir [5].

Konu ile alakalı yapılan çalışmaların ilk olarak 1995 yılında başladığı ve günümüze kadar devam ettiği tespit edilmiştir. Cheng ve ark. [6] optimal parça oryantasyonunu bulmak için parça hassasiyetine etki eden hata kaynakları ve gerekli olan iyi oryantasyonlar gibi değerler üzerinden bir amaç fonksiyonu geliştirmiştir. Çalışmalarındaki ilk amaç, çoğu çalışmada olduğu gibi model inşası sırasında istenen parça hassasiyetini yakalayabilmektir. İkinci amaçları ise model inşası süresini minimize etmek olmuştur. Kulkarni ve ark. [7] katmanlı üretimde kullanılan oryantasyon teknikleri üzerine bir literatür araştırması yaparak o ana kadar hangi kriterlere göre ne gibi çözüm önerilerinin getirildiğini gösteren sınıflandırmalar yapmışlardır. Parça yöneliminde önemli bir ölçüt olan hacimsel hataların tespit edilmesi için önerilen metotlar ise konuya farklı bir bakış açısı getirmiştir. Masood ve ark. [8-10] FDM tekniği ile parçaların üretilmesi esnasında karşılaşılan hacimsel hataları ölçerek minimum hacimsel hata ile en iyi parça yönelimini elde edecek bir yöntem geliştirmişlerdir.

Farklı sayıda amaç fonksiyonları oluşturulması ve buna bağlı olarak değişik genetik algoritmalar kullanılarak bu amaçlara ulaşılmasının ölçülmesi, karşılaşılan bir diğer parça üretim yönü belirleme metodudur. Pandey ve ark. [4, 11, 12] ortalama yüzey kalitesi ve modelin üretim sürelerini amaç olarak belirleyerek çok kriterli bir genetik algoritma geliştirmişler ve değişik yönelimleri simule etmişlerdir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde; önceden seçilmiş parça oryantasyonlarının kullanılması yerine tüm muhtemel oryantasyonların gözden geçirilerek buna göre en uygun yönelimin seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Byun ve Lee [13]; Pandey'in çalışmasına benzer olarak yüzey pürüzlülüğünü azaltmayı amaçlayan en uygun parça oryantasyonunun belirlenmesinde, bulanık mantık tabanlı bir genetik algoritma kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünü en aza indirecek üretim yönünün aynı zamanda destek malzemesinde ve üretim sürelerinde de azalmayı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Hızlı prototiplemenin ana üretim süreçlerinden birisi olarak kabul edilebilmesi için hızlı prototipleme tekniği ile üretilen parçaların geometrik toleranslarının istenen sınırlar içinde olması gerekmektedir. Paul ve Anand [14] çalışmalarında, parça üretiminde en önemli şekil toleranslarından biri olan silindirik tolerans ile parça üretim yönü arasındaki ilişkiyi ele almıştır. Basit analitik metot, CAD verisi kullanılarak parça yüzeyinin simule edilmesi ve STL dosyasının kullanılması gibi üç farklı metodu denemişler ve en uygun parça yöneliminin bulunması için grafiksel bir hesaplama tekniği ortaya koymuşlardır. Phatak ve Pande

[15] Paul'un denemelerindeki metotlardan biri olan STL verisini giriş olarak kullanmış ve istenilen katman kalınlığında dilimleme gerçekleştirerek üretim süresi, parça kalitesini (merdiven hatası) ve kullanılan malzeme miktarını ölçen genetik bir algoritma geliştirmişlerdir.

Genetik algoritmalar parça oryantasyonunu belirlemede sıklıkla kullanılan bir yöntem olsa da Singhal ve ark. [16] bu çalışmaların tümünden farklı olarak MATLAB optimizasyon araç çubuğunu kullanarak güvenilir bölge yöntemi ile oryantasyon problemini çözmeye çalışmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda tasarlanan sistemin en uygun yüzey kalitesini elde edecek oryantasyonu bulduğu tespit edilmiş ve işlem süresinin genetik algoritma tabanlı optimizasyon metotlarından daha kısa olduğu gözlenmiştir. Yapılan çoğu çalışmada ergitme parametrelerine yoğunlaşılmasına rağmen hiçbirinde farklı geometrik düzenlemelerdeki iç destek yapılarına değinilmemiştir. Yeniden yapılandırılabilen parametrik iç matris yapılarının birleşimi; mekanik özellikleri, kullanılan malzeme miktarını ve üretim süresini değiştirebilmektedir. Villalpando ve ark. [17] katı, kabuk, ortogonal, hegzagonal ve piramit gibi farklı matris yapıları için kullanılan malzeme miktarını, üretim süresini ve dayanıklılık kapasitelerini ölçmüş ve bu verilerden yola çıkarak en uygun üretim yönünü bulan modeli elde etmiştir.

Das ve ark. [18] seçici lazer sinterleme tekniği prosesinde destek malzemesi hacmini minimize ederken aynı zamanda belirlenen geometrik ölçülendirme ve tolerans kriterlerini dikkate alan bir yaklaşım öne sürmüştür. CAD modelden gerekli verileri elde etmek için Siemens PLM NX API kullanılmıştır. Destek gereken bölgeler ve alanları tespit edilmiş ve buna bağlı olarak parça oryantasyonu ile geometrik ölçülendirme ve tolerans kriterleri arasında matematiksel bir ilişki kurularak destek malzemesini minimize edecek en uygun parça oryantasyonunun bulunması amaçlanmıştır. Ding ve ark. [19]'nın çalışmasında farklı geometrilere sahip parçaların STL verisini çok yönlü dilimleme yapan yeni bir model önerilmiştir. CAD model, ilk önce basit eğri tabanlı hacim ayrıştırma metodu kullanılarak alt hacimlere ayrılmaktadır. Bu alt hacimleri gruplamak için topoloji bilgisine dayalı derinlik ağacı bilgileri kullanılmaktadır. Önerilen yöntem farklı sayıda parça içeren ve değişik geometrilere sahip olan modellere uygulanmış ve verimli sonuçlar vermiştir. Boschetto ve Bottini [20], boyutsal doğruluğu artıracak yeni bir üretim metodolojisi geliştirmek için tasarım aşamasında uygulanan ve matematiksel bir formülasyona bağlı olarak yüzeylerden eşyönsüz mesafe bırakan bir model önermişlerdir. Böylelikle hataların fiziksel kaynaklarını elemine etmeye gerek kalmadan parçanın nominal değerlerine çok yakın ölçülerde bir parça elde edilmektedir. Metodun diğer yöntemlerden farkı; model bilgilerini elde etmek için ölçüm yapmaya ve yapay modeller üretmeye gerek olmaması ve CAM ortamından önce direk olarak uygulanabilmesidir.

Yapılan çalışmalara genel bir bakış yapıldığında; araştırmaların amacının en kısa zamanda, en az malzeme kullanarak ve en iyi yüzey hassasiyeti ile modelin üretilmesini sağlayacak üretim oryantasyonunun seçilmesi olduğu gözükmemektedir. Bu seçim aşamasındaki en önemli zorluklardan biri ise bu işlemleri yapabilecek otomatik çalışabilen güçlü bir algoritma geliştirebilmektir. Bu konudaki literatür incelendiğinde, önerilen algoritmaların tek seferde uygulanamadığı ve hesaplama süreleri açısından da çok kullanışlı olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca bazı parçalarda, seçilen hiçbir oryantasyonun destek malzemesi kullanılmadan parçanın üretimine imkan vermediği bilinmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada ilk önce üretim aşamasındaki ve STL dosyasındaki bazı teorik bilgilerden bahsedilmiş, ardından şu ana kadar üzerinde durulmamış üç adet parametre incelenmiştir. Bunlar; parçayı oluşturan STL verisinde bulunan çevrimlerin (loop) aşağıdan yukarı yönde sayılarındaki değişim, alanlarındaki değişim ve aralarındaki geçiş açılarıdır. Bu parametreler dikkate alınarak çok karmaşık olmayan farklı geometrilere sahip modellerde üretim yönüne karar verilmiştir. Destek malzemesiz çözüm bulunamayan durumlarda ise; çok eksenli hızlı örneklem platformu ile modelin farklı parçalarının değişik oryantasyonlar kullanılarak üretilmesi düşünülmektedir.

2. Yüzey Pürüzlülüğü ve Basamak Etkisi

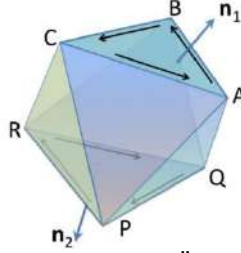
STL dosyası içinde oluşturulan katı modelin dış ve iç katmanlarının yüzeylerinde oluşturulmuş olan üçgenlerin normal vektörleri ve köşe noktalarının koordinatları bulunmaktadır. Çizelge 1'de bir STL dosyasının içinde bulunan veri yapısı, Şekil 2'de ise bir parça düzlemindeki üçgenler ve normalleri gösterilmiştir.

Çizelge 1. STL dosyası
solid OpenSCAD_Model
facet normal -0 0 -1 // 1. üçgenin normali
outer loop
vertex -70 0 0 // Üçgenin 1. köşe koor.
vertex -69.6165 7.31699 0 // 2. köşe koor.
vertex -69.6165 -7.31699 0 // 3. köşe koor.
endloop

```

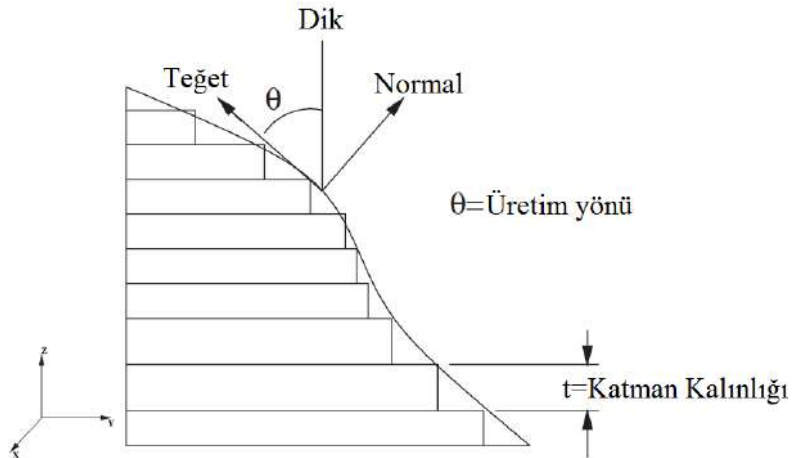
endfacet
facet normal 0 0 -1 // 2. üçgenin normali
outer loop
vertex -69.6165 -7.31699 0
vertex -69.6165 7.31699 0
vertex -68.4703 14.5538 0
endloop
endfacet
...
// STL dosyası bu şekilde binlerce üçgen verisinden oluşmaktadır.

```



Şekil 2. Parça Düzleminde Yer Alan Üçgenler Ve Normalleri [21]

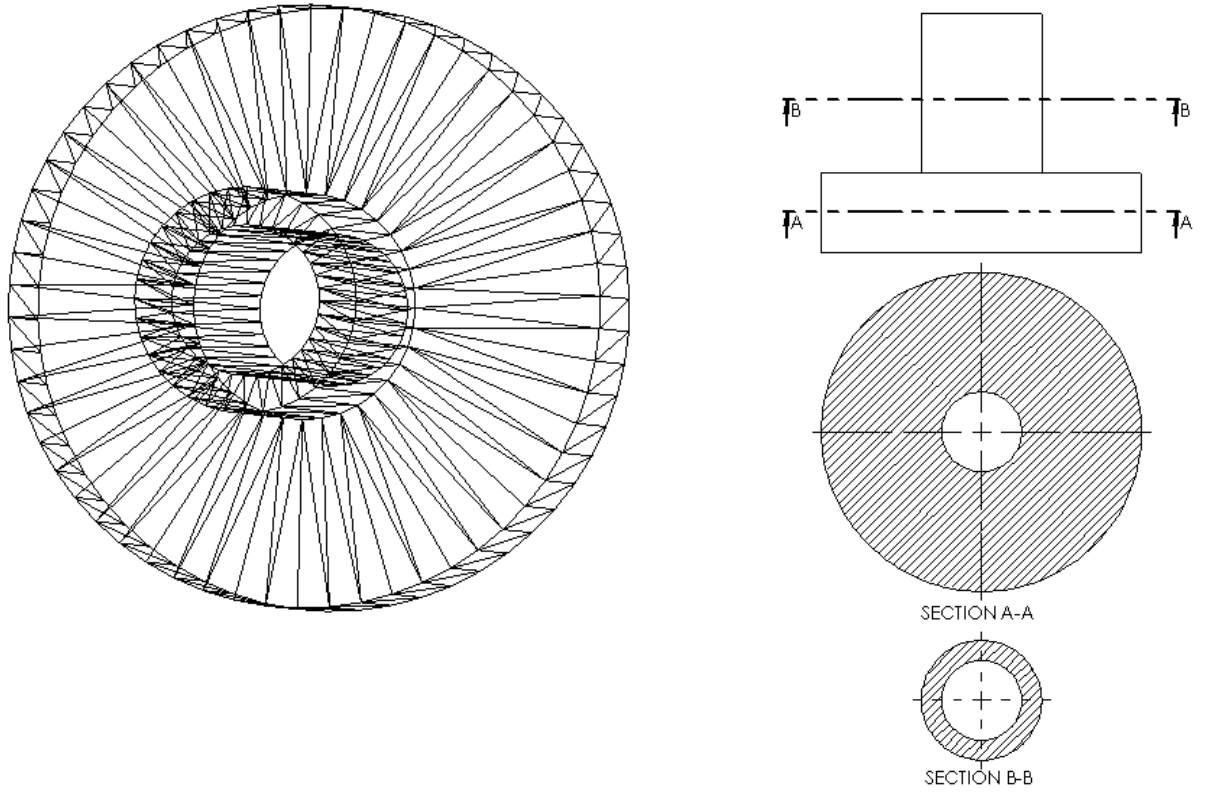
Hızlı prototipleme parçalarındaki yüzey kalitesi eğimli ve kavisli düzlemlerdeki basamak etkisine bağlıdır. Bir parçanın yüzey kalitesi Pandey'in [22] geliştirdiği yüzey pürüzlülük modeli ile test edilebilmektedir. Parçadaki yüzey pürüzlülüğü katman kalınlığı ve üretim yönü ile doğrudan ilişkilidir. Üretim yönü (θ); yüzey teğeti ve z yönündeki dikme arasındaki açıdır. Şekil 3'te katmanlı üretimdeki basamak etkisi ve üretim yönü gösterilmiştir. Yüzey kalitesine STL dosya içinde yer alan parçanın yüzeyini oluşturan üçgenlerin durumu incelenerek karar verilir. Parça düzlemi üretim yönüne dik veya yatay olarak konumlandırılırsa, yüzey pürüzlülüğü minimize edilebilmektedir. Fakat parça düzlemi çok sayıda üçgen ve bu üçgenlerin normallerinden oluştuğundan bu işlemin gerçekleştirilebilmesi bir hayli zordur [13].



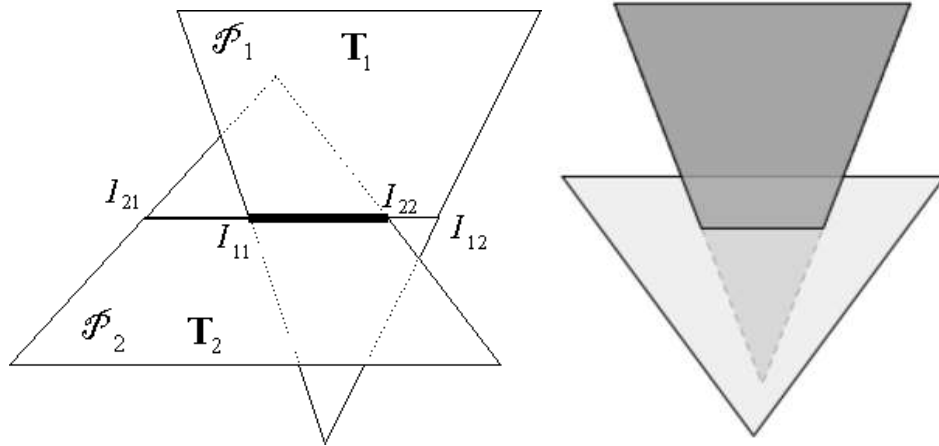
Şekil 3. Katmanlı Üretimde Basamak Etkisi [4]

3. Parçanın Üretim Yönünün Bulunmasında Uygulanacak Algoritma

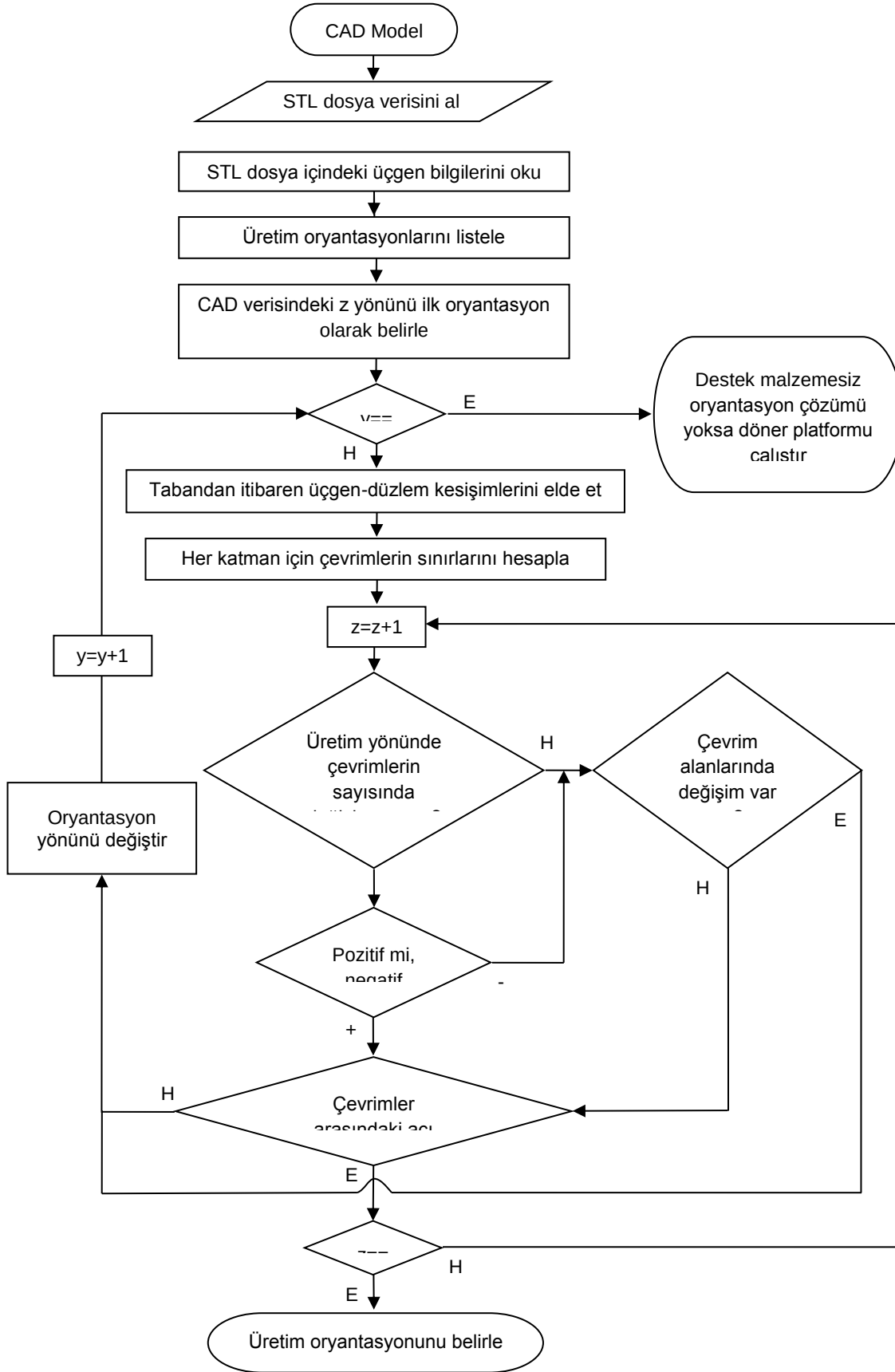
Önerilen algoritma parçanın STL verisinden elde edilecek bilgiler ile yürütülmektedir. STL verisinde bulunan üçgenler düzlemler ile kesilerek parçanın üretim çevrimleri elde edilmektedir. Örneğin Şekil 4'te bir parçanın STL görünümü ve farklı iki katmanın kesit görüntüsü gösterilmiştir. Bu işlem STL dosyasında bulunan üçgenlerin bir düzlem ile tabandan başlanarak parçanın üst düzlemine kadar kesilmesi sonucu elde edilir. Böylelikle takım ucunun hangi yollardan gideceğini belirlenmiş olmaktadır. Üçgen-üçgen kesişimi; aslında farklı iki doğru-düzlem kesişiminin sonucundaki noktaların birleştirilmesiyle oluşan doğrunun bulunması ile yapılmaktadır. Bunun için ilk önce doğru-düzlem kesişimi probleminin iyi algılanması gerekmektedir. Şekil 5'te üçgen-üçgen kesişiminin nasıl gerçekleştiği gösterilmiştir. Daha önce belirtilen 3 parametreye göre çıkarılan üretim oryantasyonunun çalışma algoritması Şekil 6'da gösterilmiştir. Algoritma üzerinde yapılması gereken geliştirmeler bulunmakla birlikte şu anki verdiği çıkışlardaki doğruluk oranı yeterli seviyededir. Şekil 7 ve Çizelge 2'de farklı oryantasyonlara ve yapılara sahip şekiller ile bölge tabanlı tarama yapılmış ve algoritmanın çalışması test edilmiştir.



Şekil 4. Parçanın STL Görünümü ve Değişik Bölgelerdeki Kesitleri

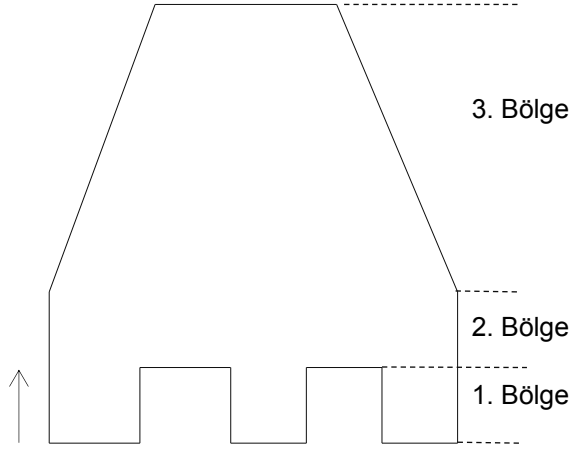


Şekil 5. Üçgen-Üçgen Kesişimi

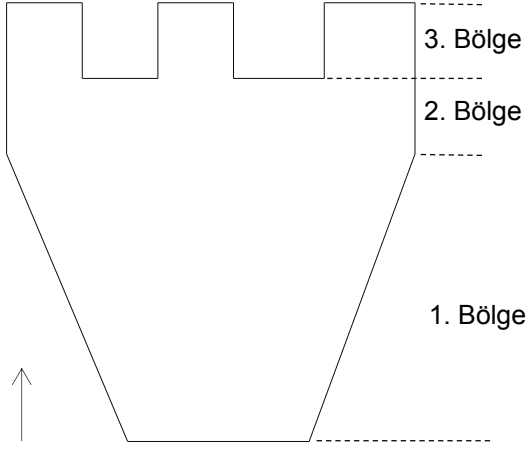


Şekil 6. Üretim Oryantasyonunun Çalışma Algoritması
(z=katman, n: katman sayısı, y:oryantasyon, k:düz yüzey sayısı)

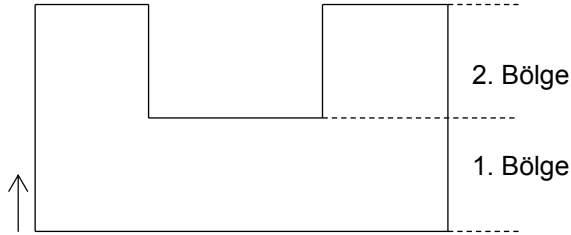
Şekil 7. a-h: Değişik Parça Oryantasyonları



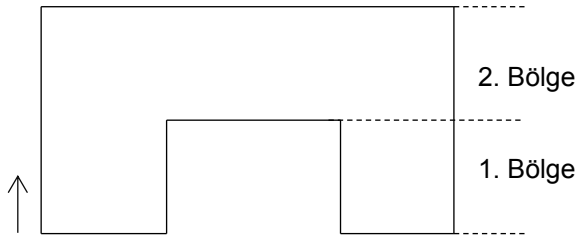
a)



b)



c)



d)

Çizelge 2. a-h: Parametrelere Göre Bölgelerin Durumu

Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	*	x
2.bölge	-	+	*
3.bölge	*	-	✓
* : değişim yok ✓: değişim açısı sınırlar içinde			

a)

Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	+	✓
2.bölge	*	*	*
3.bölge	+	-	*
* : değişim yok ✓: değişim açısı sınırlar içinde			

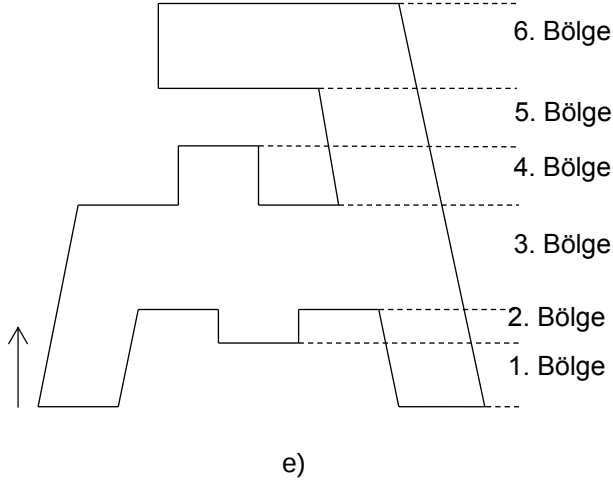
b)

Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	*	*
2.bölge	+	-	*
* : değişim yok ✓: değişim açısı sınırlar içinde			

c)

Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	*	*
2.bölge	-	+	x
* : değişim yok ✓: değişim açısı sınırlar içinde x : değişim açısı sınırlar dışında			

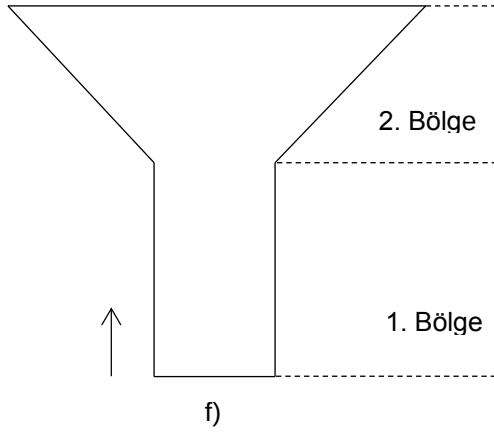
d)



Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	*	✓
2.bölge	+	+	x
3.bölge	-	+	✓
4.bölge	+	-	✓
5.bölge	-	-	✓
6.bölge	*	+	x

* : değişim yok
 ✓ : değişim açısı sınırlar içinde
 x : değişim açısı sınırlar dışında

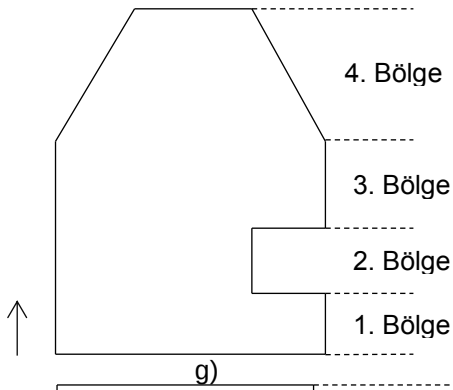
e)



Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	*	*
2.bölge	*	+	✓

* : değişim yok
 ✓ : değişim açısı sınırlar içinde

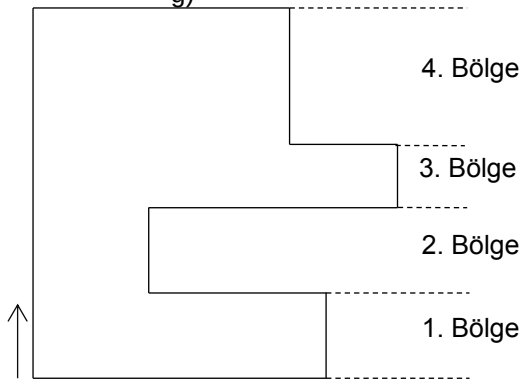
f)



Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	*	*
2.bölge	*	-	✓
3.bölge	*	+	x
4.bölge	*	-	✓

* : değişim yok
 ✓ : değişim açısı sınırlar içinde
 x : değişim açısı sınırlar dışında

g)



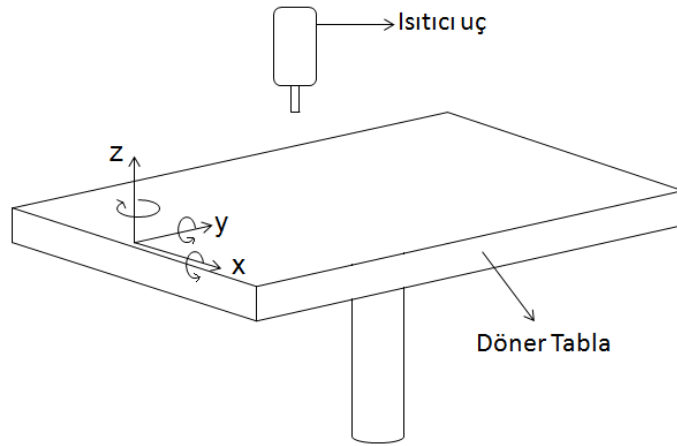
Z yönündeki bölgeler	Çevrim sayısı	Çevrim alanı	Çevrimler arası açı
1.bölge	*	*	*
2.bölge	*	-	✓
3.bölge	*	+	x
4.bölge	*	-	✓

* : değişim yok
 ✓ : değişim açısı sınırlar içinde
 x : değişim açısı sınırlar dışında

h)

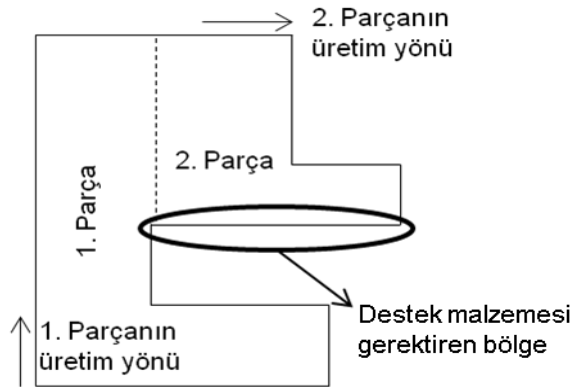
4. Çok Eksenli Hızlı Örneklem Platformu

Şekil 7’de verilen yönelimler algoritmanın çalışmasını test etmek için düşünülmüştür. Bunlar haricinde gerçekleştirilecek daha uygun yönelimlerin varlığı bilinmektedir. Çizelge 2 incelenirse uygulanan algoritmaya bağlı olarak bazı parça oryantasyonlarında destek malzemesiz çözümlerin bulunmadığı gözükcektir. Bu parçaların üretilebilmesi için tasarlanan çok eksenli platformun kullanılması düşünülmektedir. Bunun için g-kodların sisteme uygun olarak üretilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla parçanın ilk önce farklı bölümlere ayrılarak üretim sıralarının belirlenmesi önemlidir. Ardından tablanın uygun oryantasyonlara getirilerek üretimin destek malzemesine gerek kalmadan gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 8’de çok eksenli hızlı örneklem platformunun alt tablasının gerçekleştireceği hareket kabiliyeti gösterilmiştir.



Şekil 8. Hızlı Örneklem Platformunda Bulunan Alt Tablanın X,Y,Z Eksenlerindeki Dönme Hareketi

Örneğin Şekil 7-h’teki parçanın bölümlere ayrılmış hali ve her parçanın üretim oryantasyonu Şekil 9’da gösterilmiştir. Bu şekilde bir üretimin yapılabilmesi için ilk önce 1. parça ilk üretim oryantasyonuna göre üretilir. Ardından 2. parçanın üretimi için tabla -x yönünde 90° döndürülür. Birleşim noktasından itibaren 2. parçanın da inşası gerçekleştirilir ve böylelikle modelin üretimi tamamlanmış olur.



Şekil 9. Modelin Bölümlere Ayrılmış Görünümü

5. Sonuç

Yapılan çalışmada, parçanın üretim tablasına yerleştirilmesinde kullanılabilecek en uygun parça yönelimlerinin bulunması için bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın STL verisinin katmanlara ayrılmış çevrimlerini kontrol ederek çalışması amaçlanmıştır. Böylelikle üretim yönündeki çevrimlerin durumu incelenmiş ve parçalardaki değişimlerin olduğu sınırlar belirlenerek modeller bölümlere ayrılmıştır. Bazı modellerde destek malzemesi olmadan üretim çözümlerinin bulunmadığı tespit edilmiş ve bu problemin çözümü için çok eksenli hareket edebilen bir platformun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle, tek yönde destek malzemesiz inşa edilemeyecek modeller tablanın döndürülmesi suretiyle, destek malzemesine gerek kalmadan üretilebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2015-50-02-009). Yazar M. Soyaslan, desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

Referanslar

1. D.V. Mahindru, P. Mahendru. Review of Rapid Prototyping-Technology for the Future, Global Journal of Computer Science and Technology Graphics & Vision, Volume 13, Issue 4, Online ISSN: 0975-4172, 2013.
2. <http://www.lean.org.tr/21inci-yuzyil-teknolojileri-ve-yalin-uretim/>, 2014.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling, 2008.
4. Thrimurthulu, K., Pandey, P. M., & Reddy, N. V. Optimum part deposition orientation in fused deposition modeling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44(6), 585-594, 2004.
5. Raut, S., Jatti, V. S., Khedkar, N. K., & Singh, T. P. Investigation of the effect of built orientation on mechanical properties and total cost of FDM parts. Procedia Materials Science, 6, 1625-1630, 2014.
6. Cheng, W., Fuh, J. Y. H., Nee, A. Y. C., Wong, Y. S., Loh, H. T., & Miyazawa, T. Multi-objective optimization of part-building orientation in stereolithography. Rapid Prototyping Journal, 1(4), 12-23, 1995.
7. Kulkarni, P., Marsan, A., & Dutta, D. A review of process planning techniques in layered manufacturing. Rapid Prototyping Journal, 6(1), 18-35, 2000.
8. Masood, S. H., Rattanawong, W., & Iovenitti, P. Part build orientations based on volumetric error in fused deposition modelling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16(3), 162-168, 2000.
9. Rattanawong, W., Masood, S. H., & Iovenitti, P. A volumetric approach to part-build orientations in rapid prototyping. Journal of Materials Processing Technology, 119(1), 348-353, 2001.
10. Masood, S. H., Rattanawong, W., & Iovenitti, P. A generic algorithm for a best part orientation system for complex parts in rapid prototyping. Journal of materials processing technology, 139(1), 110-116, 2003.
11. Pandey, P. M., Thrimurthulu, K., & Reddy*, N. V. Optimal part deposition orientation in FDM by using a multicriteria genetic algorithm. International Journal of Production Research, 42(19), 4069-4089, 2004.
12. Pandey, P. M., Reddy, N. V., & Dhande, S. G. Part deposition orientation studies in layered manufacturing. Journal of materials processing technology, 185(1), 125-131, 2007.
13. Byun, H. S., & Lee, K. H. Determination of the optimal part orientation in layered manufacturing using a genetic algorithm. International journal of production research, 43(13), 2709-2724, 2005.
14. Paul, R., & Anand, S. Optimal part orientation in Rapid Manufacturing process for achieving geometric tolerances. Journal of Manufacturing Systems, 30(4), 214-222, 2011.
15. Phatak, A. M., & Pande, S. S. Optimum part orientation in Rapid Prototyping using genetic algorithm. Journal of manufacturing systems, 31(4), 395-402, 2012.
16. Singhal, S. K., Pandey, A. P., Pandey, P. M., & Nagpal, A. K. (2005). Optimum part deposition orientation in stereolithography. Computer-Aided Design and Applications, 2(1-4), 319-328, 2005.
17. Villalpando, L., Eiliat, H., & Urbanic, R. J. An optimization approach for components built by fused deposition modeling with parametric internal structures. Procedia CIRP, 17, 800-805, 2014.
18. Das, P., Chandran, R., Samant, R., & Anand, S. Optimum Part Build Orientation in Additive Manufacturing for Minimizing Part Errors and Support Structures. Procedia Manufacturing, 1, 343-354, 2015.
19. Ding, D., Pan, Z., Cuiuri, D., Li, H., Larkin, N., & van Duin, S. Automatic multi-direction slicing algorithms for wire based additive manufacturing. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 37, 139-150, 2016.
20. Boschetto, A., & Bottini, L. Design for manufacturing of surfaces to improve accuracy in Fused Deposition Modeling. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 37, 103-114, 2016.
21. H. Holstein. Surface Normals, CS32310, Aberystwyth University, 2012.
22. Pandey, P. M. Enhancement of surface finish in fused deposition modelling. PhD thesis, IIT Kanpur, 2003.

DELTA TİPİ ÇİFT BAŞLI ÜÇ BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE İMALATI

Süleyman SEMİZ, Mesut AYDOĞDU, Birhan IŞIK

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, End. Tas.Müh. Karabük/TÜRKİYE, ssemiz@karabuk.edu.tr,
Karabük Üniversitesi, Fen Bil. Ens. End. Tas. Müh. Ana Bilim Dalı, Karabük/TÜRKİYE, m.aydogdu34@yandex.com
Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik. Müh. Karabük/TÜRKİYE, bisik@karabuk.edu.tr

Özet

Üç boyutlu yazıcılar teknolojideki son gelişmelerle birlikte endüstri de yeni bir çığır açmıştır. Hızlı prototipleme olarak da adlandırılan bu teknoloji sayesinde bilgisayarda 3 boyutlu olarak tasarımı yapılan objeler ürüne dönüştürülebilmektedir. Temelde bir ürünün piyasaya çıkmadan önce son halini görmek amacıyla tasarlanan makinelerdir. Bu teknoloji sayesinde bir ürün seri üretime geçmeden önce üç boyutlu yazıcılardan çıktısı alınarak son halinin görülmesi sağlanmış olmaktadır. Bu durum prototip üretimin de önemli bir kolaylık sağlayarak, maliyet ve olası problemleri önceden görme bakımından kolaylık sağlamaktadır. Malzeme olarak metal, plastik, çimento, çikolata veya insan hücreleri olabilir. Bu çalışmada daha önce tasarlanmamış olan delta tipi çift başlı bir üç boyutlu yazıcının tasarımı ve imalatı yapılmaktadır. Bu üç boyutlu yazıcıda iki adet nozzle uç ile iki farklı renk ve iki farklı özellikte baskı amaçlanmaktadır. Çalışmada ayrıca zaman, maliyet gibi unsurlar bakımından bu cihazın eşdeğerleri ile kıyaslaması yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu yazıcı, Delta tip, Çift başlı

DESIGNING AND MANUFACTURE OF DOUBLE HEAD DELTA TYPE THREE DIMENSIONAL PRINTER

Abstract

Three-dimensional printers have opened a new period in the industry with the recent developments in field of technology. Through this technology that is also called rapid prototyping, objects can be converted to products of which designs made as 3 dimensional on computer. Basically, they are machines designed with the aim of seeing the final version of a product before going to market. By virtue of this technology, by taking out print of a product through three dimensional printers before starting mass production, the final appearance of product can be achieved. This case, by providing a significant easiness in the prototype production, allows convenience to see previously costs and potential problems. The material can be metal, plastic, cement, chocolate or human cells. In this study, design and manufacture of a Delta type double-head three-dimensional printer that has not been previously designed. It is aimed to print in two different colours and two different properties with two nozzles of this three-dimensional printer. In the study, this device has been also compared with its equivalents in terms of factors such as time, cost.

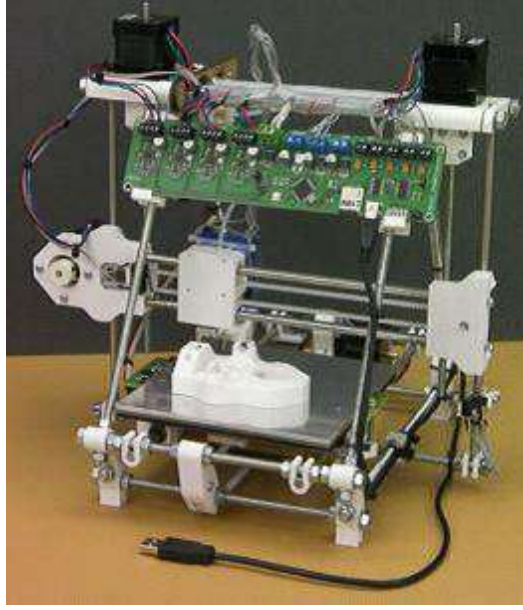
Keywords: Three-dimensional printer, Delta type, Double-head

1. Giriş

Bilgisayar ortamında belirli programlarla hazırlanan üç boyutlu cisimlerin üretilmesi süreci üç boyutlu yazdırma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Bu işlemleri yapabilen makinelere ise üç boyutlu yazıcı denilmektedir. Çalışma esası ise bilgisayar ortamında dilimlenerek katmanlara ayrılan modelin oluşması için, üç boyutlu yazıcıda ergitilmiş malzemenin sıralı yığılması yapılarak, amaçlanan ürünün oluşturulmasıdır.

3 boyutlu yazdırma işlemin temel mantık katmanların üst üste yığılmasıdır. Farklı katman oluşturma teknikleri olsa da en fazla kullanılanı plastik malzemelerin ergitilerek ürünlerin oluşturulmasıdır [1]. Üç boyutlu yazıcıların en önemli avantajları ürün tasarımı süreçlerinde meydana gelmesi muhtemel problemlerin çözüm yollarını hızlandırabilmesidir. Ürün geliştirme süreçlerinin tasarımdan sonraki en önemli aşaması olan prototip hazırlama aşamalarında üç boyutlu yazıcılar önemli görevler yerine getirmektedir. Bilinen metotlarla yapılan prototip hazırlama işlemleri maliyet, zaman, vb. unsurlar bakımından avantajlı olmayabilir. Bu süreçleri daha hızlı ve ekonomik bir şekilde atlayarak prototipe ulaşmada üç boyutlu yazıcılar avantajlı olabilmektedir [2]. Elde edilen prototip sayesinde ürün hem görsel anlamda, hem de fonksiyonlarını yerine getirme yönlerinden değerlendirilebilmektedir. Üç boyutlu yazıcıların Kartezyen, core xy ve delta gibi tipleri bulunmaktadır. Kartezyen üç boyutlu yazıcılar bilgisayar

kontrollü xyz kartezyen platformuna bağlanmış termoplastik püskürtücüden meydana gelir. Şekil 1’de Kartezyen tip bir üç boyutlu yazıcı görülmektedir [3].



Şekil 1. Kartezyen Tip Üç Boyutlu Yazıcı [3].

Core XY mantığıyla çalışan üç boyutlu yazıcılarda X ve Y eksen hareketi kayış kasnaklar yardımıyla gerçekleşirken, Z eksen tablaya verilmiştir. Şekil 2’de Kartezyen tip bir üç boyutlu yazıcı görülmektedir [4].



Şekil 2. Core XY Tipi Üç Boyutlu Yazıcı [4].

Delta yazıcıların yapısı diğerlerinden biraz daha farklıdır. Üçgen biçimindeki şeklinin bir yansıması olarak dikey Z eksenindeki hareketi sağlamak için üç yerden birer step motor ile tahrik edilmektedirler. Şekil 3’te delta tipi bir üç boyutlu yazıcı görülmektedir [5].



Şekil 3. Delta Tipi Üç Boyutlu Yazıcı [5].

3 boyutlu yazıcılardaki tasarımdan son ürüne kadar olan işlem sırası aşağıda sıralandığı gibidir [6].

Modelleme: Üretilcek ürün 3 boyutlu tasarım programları (CAD) ya da 3 boyutlu tarama sistemleri ile bilgisayar datası oluşturulur. Oluşturulan model genellikle, STL dosya formatına çevrilerek 3 boyutlu baskı sürecine geçilir.

3 Boyutlu Baskı: 3 boyutlu baskı işleminde obje katmanlar halinde üst üste serilerek oluşturulur. Günümüz teknolojisinde bu katmanlar plastik ergitme, lazer sinterleme, sterolitografi gibi farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Makinenin bu katmanlar sırasındaki takım yolunu takip etmesi için .STL dosyası hazırlanmış model dilimleme yazılımı ile katmanlara ayrılır.

Yüzey İyileştirme: 3 boyutlu yazıcılar ile gerçekleştirilen objeler geleneksel teknolojiler ile karşılaştırıldığında boyutsal açıdan daha hatalı olabilmektedir. Bu nedenle kritik objelerde bir yüzey temizleme, iyileştirme ve son ölçüye getirme işlemi uygulanabilmektedir

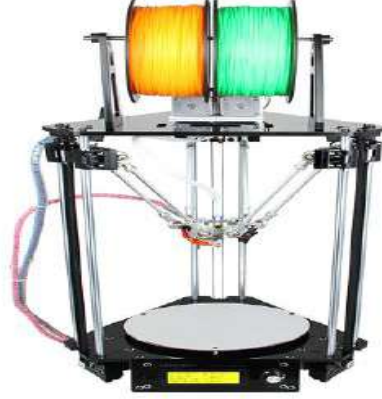
2. Delta Tipi Çift Başlı Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı

Delta tipi üç boyutlu yazıcılar FDM (Fused Deposition Modelling) türü üç boyutlu yazıcı ailesinin bir üyesidir. Bu tip yazıcılar ek nozzle sistemine göre tasarlanmakta ve imal edilmektedir. Çalışmada çift nozzle bir bir üç boyutlu yazıcının üretimi hedeflenmektedir. Ayrıca delta tasarımına sahip FDM türü yazıcılar için filament üretimi yapılarak kablo haline getirilmiş filamentin üretim sırasında Böylece çevre kirliliğinde de büyük sorun teşkil eden atık plastik malzemelerin (granül) geri dönüşümü sağlanacaktır.

Sistemde geliştirilen iki adet nozzle uç ile iki farklı renk ve iki farklı özellikte baskı alınabilecektir. z. Böylece çift renkli baskı alınabilecek ve baskılarda çok ihtiyaç duyulan üretilen objeye destek baskıları atılabilecektir. Çift nozzle uç ve filament ekstruder sistemi ile çalışmada geri dönüştürülen malzeme ve hazır malzeme ile çıktı alınması da mümkündür. Baskı boyutları X=200 mm, Y=200 mm, Yükseklik=205.1 ve İşlem Kapasitesi: 100 mm boyutlarında olacaktır. Granül plastik malzemeler hazır olarak elde edilebildiği gibi hatalı basılan plastikler ve atık plastiklerin küçük parçacıklar haline getirilmesiyle de üretilirler. Bu granül parçacıklardan extruder makinesi plastik geri dönüşüm hattı ile 1.75 mm kalınlığında filament elde edilecektir. Parçalanmış, temizlenmiş ve kurutulmuş plastikler extruder makinesinde son işleminden geçirilerek kullanılabilir plastik filamentler haline gelebilmektedir. Genel olarak makinenin çalışma mantığı ısı ve basınç kullanmak suretiyle malzemelere şekil vermek şeklindedir. Extrüzyon düzeneği besleme borusu boyunca matkap ucu aracılığıyla taşınan polimerleri ısıtıcı uçta eritip yine matkap uçunun uyguladığı basınçla püskürtme memesinden (nozzle) istediğimiz çapta filamentin makaraya sarılmasıyla elde edilir. Eksenler X ve Y eksenleri triger kayış kasnak sistemi ile Z eksenine ise vidalı mil sistemi ile çalışmaktadır. Tablının ısıtmalı olması sebebiyle büyük boyutlarda PLA ve ABS malzeme baskısı alınabilmektedir.

3. Delta Tipi Çift Başlı 3 Boyutlu Yazıcının Montaj Aşamaları

3 boyutlu baskıda yüksek sıcaklıklar mevcuttur. Sıcak taraftaki püskürtücü başlık 230°C sıcaklığa çıkabilmektedir. Isıtılmış zeminin ise 110 °C'de çalışması ve püskürtülen erimiş plastiğin ilk başlarda 200°C civarında olması tasarlanmaktadır. Bu nedenle kullanım sırasında yazıcının bu parçalarıyla işlem yaparken dikkat edilmelidir [7].



Şekil 4. 3 Çift Başlı Delta Tipi 3 Boyutlu Yazıcının Genel Görünümü

Tasarımda elektronik parça olarak nozul (çift başlı), adım motoru (5 adet), ısıtıcı tabla, kontrol kartı, güç kaynağı ve fan gibi elektronik hazır parçalar kullanılacaktır. Mekanik parça olarak çubuk (6 adet), diyagonal çubuk (6 adet) ve rulman (6 adet) mevcuttur. Akritik parça olarak ise üst ve alt plaka (2 adet), motor tutucu (5 adet) ve LCD çerçevesi (1 adet) kullanılmaktadır. Şekil 4'te tasarlanan delta tipi çift başlı üç boyutlu yazıcı görülmektedir.

Üç boyutlu yazıcılarda montajdan sonra kalibrasyon ayarlarının da yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon ayarlarında zemin, ekstruder ve step motor torklarının ayarlanması tüm üç boyutlu yazıcılarda benzerdir. Ancak delta yazıcılarda "delta radius" ayarının da hassas bir şekilde yapılması gerekir. Ayrıca maksimum sınır anahtarı, yazıcının baskı alanının sınırlarına göre yerleştirilmiş sınır anahtarlarının ayarlanması da minimum sınır anahtarı ayarından farklı olarak yapılmaktadır [8]. Motorlardan fazla ses gelmesi veya raylardan birinin hareket etmemesi durumunda motor sürücü vidalarının tornavida ile döndürerek motora giden akım artırılır veya azaltılır. Motorların en az ses çıkartacak ve raylar da rahatça hareket edebilecek bir durumda olması gerekmektedir [9]. Üç eksendeki üç rayın aynı miktarda aşağı inmesi gerekmektedir. Ancak baskı platformu düz aşağı inerken bir tarafa doğru kayma varsa bu eksenlerin mekanik kurulumunda hata olabilmektedir. Diğer taraftan motorlarda da problem olabilmektedir. Bunu gidermek için eksenlerdeki rulmanların millerde rahatça hareket ettiğinden, kayışların takılmadan döndüğünden ve rulmanların sorunsuz döndüğünden emin olunması gerekmektedir [10]. Baskı ucunun hareketlerinde mekanik sorunlar ortadan kaldırıldıktan sonra, baskı zemininin kaba bir şekilde kalibre edilmesi gerekmektedir. Sıcak baskı zemininin dörtkenarı ile akrilik çerçeve arasında kalan dikey mesafeler ölçülür. Bu mesafeler aynı değilse, sıcak zemini akrilik çerçeveye bağlayan yaylı vidaları döndürerek zeminin köşelerini yukarı aşağı hareket ettirmek gerekmektedir. Bu durum tam olarak zeminin akrilik çerçeveye paralel olmasını sağlamaktadır [11].

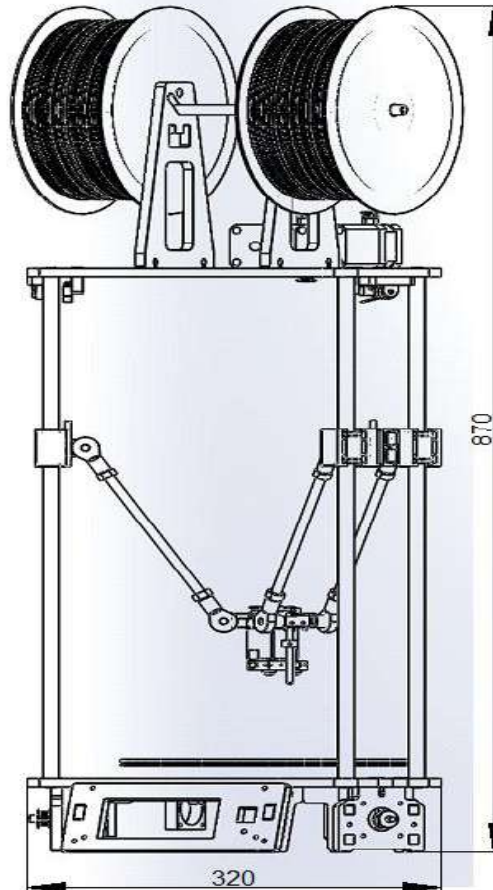
4. Tasarlanan Delta Tipi Çift Başlı 3 Boyutlu Yazıcının Fayda ve Maliyet Analizi

Delta tipi 3 boyutlu yazıcıların en belirgin özellikleri; karmaşık ve oval malzemeleri çok kolay bir şekilde basmasıdır. Tasarlanan yazıcı sayesinde farklı renklerde olan iki ayrı karmaşık malzeme üretebilecektir. Granül malzemeyi veya plastik atık malzemeyi ekstrüzyon geri dönüşüm hattı ile filament üretiminin sağlanması da diğer ayrı bir avantaj olarak görülmektedir. Bu durum üç boyutlu yazıcı tasarım ve imalatında en büyük problemlerden olan filament maliyetini daha ekonomik hale getirmiş olacaktır. Böylece atık plastik malzemelerin saf filament ile benzer özelliklerde üretimi gerçekleştirilecektir. Plastiğin geri dönüşüm sistemindeki temel basamakları olan toplama, ayıklama, türlerine göre ayırma, değerlendirme ve ekonomiye kazandırma süreçleri sayesinde atık malzemelerin yeniden kullanımı sağlanmış olmaktadır. Plastik malzemeler ekstrüzyon makinesinde eritilerek filament haline dönüştürülmesi sayesinde istenilen baskı modelleri kolay bir şekilde üretilmektedir. Çizelge 1'de aynı boyutlarda tasarlanan tek başlı ve çift başlı delta tipi yazıcıların fayda ve maliyet analizi görülmektedir.

Çizelge 1. Aynı Boyutlardaki Tek Başlı ve Çift Başlı Delta Tipi Yazıcıların Fayda ve Maliyet Analizi

	Tek Başlı Delta Tipi Yazıcı	Çift Başlı Delta Tipi Yazıcı
Toplam maliyet	2824,50 TL	3274,50 TL
Eksen Uzunlukları	X= 200 mm Y= 200 mm Dairesel yarıçap (İşlem kapasitesi)=100 mm Yükseklik=205,1 mm	X= 200 mm Y= 200 mm Dairesel yarıçap (İşlem kapasitesi)= 100 mm Yükseklik= 205,1 mm
İşlem Özellikleri	Tek model üretilir. Tek cins malzeme elde edilir. Tek renk model alır. Piyasada birçok örnekleri vardır.	Aynı anda iki tane model elde edilebilir. Aynı anda iki farklı renkte model elde edilebilir. Aynı anda iki farklı malzemeden baskı alınabilir. Seri üretim özellikleri gösterir. Zaman bakımından daha ekonomiktir. Piyasada bu tarz bir tasarıma rastlanılmamıştır. İşlem kapasitesi fazla olmasına rağmen aralarındaki maliyet farkı oldukça azdır.
Kartezyen Tipinden Üstünlükleri	Oval ve dairesel parçaları baskı almak için daha elverişlidir. Daha seri baskı alınır. Montajında daha az parça kullanılır. Hafif ve küçük parçaları baskı almada daha elverişlidir.	

Çizelge 1'e göre aynı ölçülerde tasarlanan tek ve iki başlı delta tipi üç boyutlu yazıcı arasındaki farklar değerlendirildiğinde maliyet yönünden farklılık oluşturacak bir farkın oluşmadığı ifade edilebilir. Diğer taraftan işlem özellikleri yönünden değerlendirildiğinde çift başlı yazıcıların tek başlı delta tipi üç boyutlu yazıcıya göre önemli üstünlüklerinin olduğu görülmektedir. Çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılarda aynı anda iki farklı renkte iki ayrı model elde edilebilmektedir. Ayrıca iki farklı malzemeden baskı alınabilmektedir. Seri üretime yatkınlığı ise daha yüksektir.

**Şekil 5.** Üç Boyutlu Yazıcı Genel Ölçüleri

3 Boyutlu çift başlı yazıcı çalışmasında plan ve montaj işlemlerinin daha kolay ve sağlıklı yapılabilmesi için parçaların standart parça olmasına dikkat edilmiştir. Standart olmayan parçaları ise geleneksel yöntem veya tekniklerle elde edilir. Ayrıca ekonomik olması itibarıyla profil sigma kullanılmıştır.

Çizelge 2. Çift Başlı Delta Tipi Yazıcı Zemin Tabla, Nozul ve Kayış Kasnak Özellikleri

1

	Zemin Isıtıcı Cap 200 mm		Nozul Baskı Ucu Çapı 0.1 – 0.2 mm Yazdırma Hızı 40-60 mm/sn
Nozul sıcaklığı maksimum 275 °C'ye kadar çıkartılabilir.	PLA	185 °C	
	ABS	230-250 °C	
Zemin sıcaklığı maksimum sıcaklık 150 °C'ye kadar çıkartılabilir.	PLA	60-70 °C	
	ABS	110 °C	
Diğer Özeiikler	Çift nozul uç, Isıtıcı tabla, 12V, 30W		

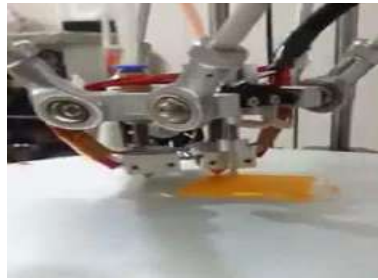
Yukarıda da görüldüğü gibi malzeme cinsine göre ergime sıcaklığı değerleri değişkenlik gösterir. Isıtıcı zemin PLA ile kullanılacaksa ısıya dayanıklı cam ile birlikte kullanılması gerekmektedir. 2-3 mm kalınlığında daire şeklinde ısıtıcı zeminin ölçülerine uygun olarak kesilmiş bir cam PLA'nın düzgün bir şekilde yüzeye yapışmasına yardımcı olurken, baskı yapılan parça yüzeyinin parlak ve oldukça güzel görünmesini sağlayacaktır. PLA için kullanılması gereken zemin sıcaklığı 60-70 °C dir. Aynı şekilde ABS baskı alımında da zemin sıcaklığı yaklaşık olarak 110 °C alınabilir.

Kayış Kasnak Sistemi Özellikleri

	Tip	GT 20
	Uzunluk	Toplam 2 m
	Diş Sayısı	20
	Malzeme Cinsi	Çelik / Kaucuk
	Adet	3

Dişli kayışlar kurulan eksen üzerinde hareketin sağlanması için kullanılmaktadır. Motorun dairesel hareketi kayış sayesinde eksen boyunca doğrusal harekete çevrilir. Böylece örneğin baskı ucu X ekseninde sağa veya sola hareket ettirilebilir. Dişli kayışlar dikey hareket açısından fiyatları ve performansları karşılaştırıldığında oldukça avantajlıdır. Hareket sırasında fazla ses çıkartmazlar. Hızlı hareket sağlarlar. Ancak kayışın gergin tutulması sağlanmalıdır.

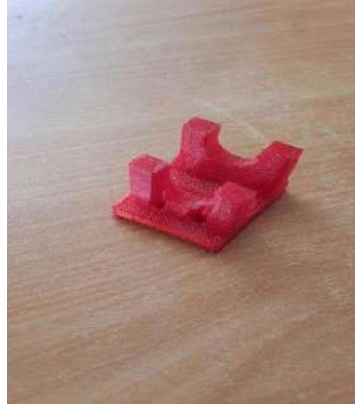
Piyasada mevcut bulunan tüm 3d yazıcı elektronik kontrol kartları Arduino'ya dayanmaktadır. Farklı tasarımlara ve özelliklere sahip olsalar da bütün kontrol kartları aynı işlemi gerçekleştirmektedir. Kontrol kartının temel görevi step motorları, ısıtıcı zemin ve ısıtıcıyı kontrol etmektedir. Şekil 6'da 3 boyutlu çift başlı yazıcının elektronik parçaların şeması görülmektedir.



Şekil 6. 3D Çift Başlı Yazıcının Elektronik Parçalarının Şematik Gösterimi



Şekil 7. Çift Başlı Deita Tipi Yazıcı Baskı Alma Anı



Şekil 8. Numune Parça

Çift başlı delta tipi 3 boyutlu yazıcılarda aynı anda iki tane veya iki farklı model elde edilebilir. Aynı anda iki farklı malzemeden baskı alınabilir ve seri üretim özellikleri gösterir. Zaman bakımından daha ekonomiktir. Piyasada bu tarz bir tasarıma rastlanılmamıştır. İşlem kapasitesi fazla olmasına rağmen aralarındaki maliyet farkı oldukça azdır.



Şekil 9. Üç Boyutlu Delta Tipi Çift Başlı Yazıcının Yazdırma Alanı ve Bir Ürün Örneği

Şekil 9'da üç boyutlu delta tipi çift başlı yazıcının yazdırma alanı ve bir ürün örneği görülmektedir. Aynı anda iki farklı renge sahip ürünün yazdırma işlemi yapılabilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma için yapılan araştırmalarda çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcı tasarımlarının henüz var olmadığı tespit edilmiştir. Bu amaçla tek ve çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcı arasındaki kıyaslamaların yapılabilmesi için bu tasarım gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır:

- Tek ve çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılar arasında maliyet yönünden dikkate değer bir farkın olmadığı görülmektedir.
- Çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılarda aynı anda iki tane model elde edilebilir.
- Çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılarda aynı anda iki farklı renkte model elde edilebilir.
- Çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılarda aynı anda iki farklı malzemeden baskı alınabilir.
- Çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılar tek başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılara göre daha fazla seri üretim özellikleri göstermektedir.
- Çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcılar baskı zamanları bakımından daha ekonomiktir.
- Piyasada olan yazıcı tiplerine ek olarak son kullanıcının taleplerine ve amaçlarına uygun yazıcı tasarlamak ve üretmek mümkündür.

3 boyutlu yazıcıların son kullanıcıya yönelik modellerinde kullanılan en yaygın baskı materyali ABS ve PLA plastiktir. Bu plastik malzeme benzer şekildedir ve makara halinde satılmaktadır. Bu malzemelerin atıklardan temini ile tasarlanacak ekstruder cihazından filament üretimi gerçekleştirilebilir. Bu durum filament maliyetlerinin de en aza indirilmesini sağlayacaktır. Atık malzemelerden tasarlanan ve imalatı yapılan ekstruderden filament elde edilerek, çift başlı delta tipi üç boyutlu yazıcıda imalatın gerçekleştirilmesi zaman açısından kolaylık sağlamanın yanında ve farklı malzemelerle üretimi de sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın yapımında **KBÜ-BAP-15/2-YL-033** proje no ile maddi destek sağlayan Karabük Üniversitesi (BAP) Bilimsel Araştırma Proje Ofisine teşekkür ederim.

Referanslar

1. Kruth, J. P., Leu, M. C. and Nakagawa, T., "Progress in additive manufacturing and rapid prototyping", Annals of the Cirp, 47 (2): 525-540 (1998).
2. Çelik, D., "Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi, ve Tersine Mühendislik Uygulamaları", Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2015, Karabük,
3. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "Kendini Kopyalayan Üç Boyutlu Yazıcı", <http://www.3byazici.com/2012/10/reprap-kendini-kopyalayan-3d-yazici-1.html> (2014).
4. Roberson, D. A., Espalin, D. and Wicker, R. B., "3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model", Virtual and Physical Prototyping, 8 (3): 201-212 (2013).
5. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "3D Printers and Components", <http://3d.grabercars.com/?p=125> (2014).
6. İnternet: <http://3dprintertr.com/3d-printer-nedir/-2016>
7. İnternet: 'Delta Rostock mini G2S Pro 3D Printer', <http://www.geeetech.com/Documents/Delta%20Rostock%20mini%20G2s%20pro%20Manual.pdf>
8. J. Suwanprateeb W. Suwanpreuk, (2009), "Development of translucent and strong three dimensional printing models", Rapid Prototyping Journal, Vol. 15 Iss 1 pp. 52 – 58
9. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "Kendini Kopyalayan Üç Boyutlu Yazıcı", <http://www.3byazici.com/2012/10/reprap-kendini-kopyalayan-3d-yazici-1.html> (2014).
10. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "3D Printers and Components", <http://3d.grabercars.com/?p=125> (2014).
11. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "3D Printers", <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-original> (2014).

DOLULUK ORANLARININ PLA VE PET MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Merve Ayfer ÖZDEMİR^a, Hatice EVLEN^b, Aydın ÇALIŞKAN^c

^aKarabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE
merveozdemir1987@gmail.com

^bKarabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE hakgul@karabuk.edu.tr

^cKarabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE aydinaliskan@outlook.com.tr

Özet

Gerçekleştirilen çalışmada, bir yazıcı tasarımı yapmak ve tasarlanan üç boyutlu yazıcıda doluluk oranının mekanik özellikler üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında kartezyen tipi açık kaynaklı bir üç boyutlu yazıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Prototip imalatı yapılan üç boyutlu yazıcı kullanılarak PET ve PLA malzemelerin %10, 20, 30, 40 ve %50 doluluk oranlarında mekanik test numuneleri yazdırılmıştır. Elde edilen numuneler kullanılarak tek eksenli çekme testleri, sertlik ve pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler neticesinde PET ve PLA malzemelerde sertlik değerinin malzemenin doluluk oranı ile doğru orantılı olduğu, doluluk oranı arttıkça malzemelerin sertliklerinin de arttığı görülmüştür. PLA ve PET malzemelerin pürüzlülük ve çekme değerlerinin birbiriyle ters orantılı olduğu, pürüzlülük ve çekme mukavemeti değerlerinin %30 doluluk oranından itibaren %10 ve %20 doluluk oranındaki aksine yönde seyrettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doluluk oranı, PET, PLA, Pürüzlülük, Sertlik

EFFECTS OF FILLING PERCENTAGE ON MECHANICAL PROPERTIES OF PLA AND PET MATERIALS

Abstract

In this study researchers aim at designing a 3D printer and investigate the effects of filling percentage on mechanical properties. In accordance with this purpose an open source printer designed. Mechanical test samples of PET and PLA materials were printed on %10-50 filling percentage by using constructed 3d printer. Biaxial tensile tests, hardness and roughness measurements performed by using of printed samples. It seen in results of hardness measurements that PLA and PET materials filling percentage and hardness values are direct proportional with one another that the hardness was increased with increasing of filling percentage. Also results showed that PET and PLA materials roughness and tensile test results are inverse proportional values.

Keywords: Fillingpercentage, PET, PLA, Roughness, Hardness.

1. Giriş

Üç boyutlu yazıcı, 3 boyutlu olarak çizilen bilgisayar datasını katı, elinizle tutabileceğiniz gerçek nesnelere dönüştürebilen bir makinedir. Eklemeli imalat (additive manufacturing) olarak da bilinen bu teknoloji geleneksel imalat yöntemleri ile gerçekleştirilmesi mümkün olmayan geometrileri üretebilmektedir. Eklemeli imalat teknolojileri plastik malzemenin katman katman yığılması mantığına dayanmaktadır.

Üç boyutlu olarak herhangi bir CAD programında tasarlanan veya çizilen obje .STL formatında kaydedilir. Böylece tasarım, yazıcının parçayı imal edebilmesi için parçayı bölüntüleme işlemini yapacak programa atmaya hazır hale getirilmiş olur.

Üç boyutlu model oluşturma aşamasından sonra modelin 3B yazıcıya aktarılabilmesi için arayüz programına aktarılması gerekmektedir. Böylelikle 3B olarak tasarlanan parçanın doluluk oranı dolgu geometrisi katman yüksekliği gibi yazdırma parametreleri, yüzey kalitesi, yazıcı uç yolları ve üretim kodları çıkarılmış olur. Genellikle tescilli ve markalı 3B yazıcılar kendileri için tasarlanmış arayüz programları ile satışa sunulmaktadırlar. Ancak açık kaynaklı yazıcılar için de ücretli ve ücretsiz birçok farklı arayüz programı mevcuttur. Skeinforge, RepRap Host, SuperSkein, Slicer, KiSSlicer, Repeater Host ücretsiz açık kaynaklı programlardır.

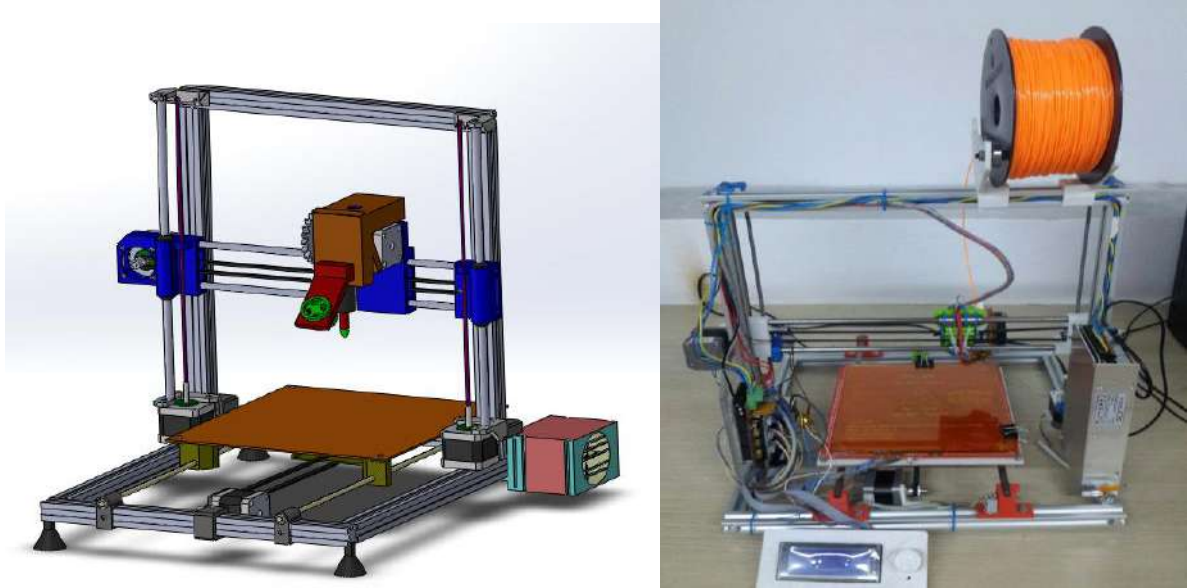
Günümüzde üç boyutlu yazıcı teknolojisi mücevher, aksesuar, ayakkabı tasarımında, endüstriyel ve mimari tasarımlarda, inşaat mühendisliğinde, yapı işlerinde, otomotiv sanayisinde, hava-uzay, dışçılık ve tıp sektöründe, eğitimde, coğrafi bilgi sistemlerinde ve farklı alanlardaki bilimsel çalışmalarda birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmacılar eklemeli imalat teknolojisinin farklı türlerini ve farklı yazdırma parametrelerini kıyaslayan birçok yayın yapmışlardır [1-9]. Yapılan çalışmaların neticesinde elde edilen ürünlerin prototip olarak kullanılmasından ziyade son ürün olarak kullanıma elverişli hale getirme çabaları devam etmektedir.

Özellikle diğer yöntemlerden daha ekonomik ve ulaşılabilir olan ergiyik biriktirme metodu (FDM) ile biyo malzemelerin ve polimer matrisli kompozitlerin hızlı prototiplenmesi üzerine yoğunlaşmıştır [10-14]. Böylelikle eklemeli imalat teknolojilerini kullanarak daha mukavemetli, insan sağlığına ve çevreye daha duyarlı malzemelerin daha az enerji, iş gücü ve maliyet kullanarak son ürün kalitesinde üretilmesi amaçlanmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada açık kaynaklı bir üç boyutlu yazıcı tasarlanmış, konstrüksiyonu gerçekleştirilmiştir. Kullanılan açık kaynaklı yazıcıda cisimlerin dilimlenmesi ve yazdırma parametrelerinin belirlenmesi için Repetier Host arayüz programından faydalanılmıştır. Solidworks programında üç boyutlu CAD modeli oluşturulan deney numuneleri .STL formatında kaydedilip dilimleyici arayüz programına atılmıştır. Burada Çizelge 1'de verilen üretim parametreleri kullanılarak çekme ve sertlik numuneleri üç boyutlu olarak basılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılacak numunelerin üretimi için tasarlanan ve konstrüksiyonu gerçekleştirilen üç boyutlu yazıcı Şekil 1'de görülmektedir. Yazıcı ana gövdesi sigmaprofiller ile yapılmıştır. Üç tane eksen için, bir tane ise filament çekme işlemi için toplam dört adet step motor kullanılmıştır. Eksen hareketleri için triger kayış-kasnak sistemi kullanılmıştır.



Şekil 1. Tasarlanan ve Konstrüksiyonu Gerçekleştirilen Yazıcı

Tasarlanan açık kaynaklı yazıcı tabla ısıtılmalı olarak çalışmaktadır, hem ABS hem PLA malzemeler üretilmektedir. Nozzle ucu ise 0,3 mm dir. ABS malzemeler üretiminde tabla sıcaklığı 70-100 °C arası uygun olup, PLA malzemesi için 25-50 °C uygundur. Tabla ölçüleri 20x20 boyutundadır ve tabla hareket sistemi lineer rulmanlar ile yataklanmıştır.

Deneyisel numuneler PLA (polilaktik asit) ve PET (polietilen tereftalat) malzemeler kullanılarak basılmıştır. Malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. PLA ve PET Malzemelerin Özellikleri [11, 15]

	PET	PLA
Erime sıcaklığı	260°C	150-160°C
Nozzle erime sıcaklığı	230 °C	220 °C
Uzama	%43	%2,5
Çekme Dayanımı	43 MPa	60 MPa

PLA gıda ve ambalaj sektöründe, doğal organik esaslardan üretildiği için kullanılan bir termoplastiktir. 3B baskı sektöründe, düşük genleşme katsayısından dolayı gündeme gelmiştir. Isı tablası gerektirmemesi veya çok az ihtiyaç duyması ile birlikte parça büyüklüğünü tolere edebilmesi birçok üreticinin doğrudan bu gruba geçmesine sebep olmuştur. PLA'nın en büyük dezavantajı mekanik olarak kırılabilir bir yapıya sahip olmasıdır. Gerekli esnetici katkıları ile tokluğu arttırılsa da ABS kadar dayanım gösterememektedir. Bir zayıflığı da düşük sayılabileceğimiz sıcaklık altında (50-60°C) mekanik olarak yumuşamaya başlaması ve 80-90°C civarlarında deforme olmasıdır.

İki malzemeyi bir arada değerlendirmek gerekir ise, ABS baskı ürünlerinin gitmek istediği noktadır fakat PLA şu an için en genel geçer kullanılabilir malzeme olarak bulunmaktadır. PLA, fosil yakıtlardan değil mısır nişastasından elde edildiği için diğer plastiklere göre çevreyle daha fazla dosttur. Aynı zamanda çürümüş organik gübrede biyolojik olarak parçalanabilir.

Son 20 yıl içerisinde kullanım alanının hızla gelişmesi ile PET, en önemli mühendislik polimerlerinin arasına girmeyi başarmıştır. Kimyasal maddelere karşı olan kararlılık, işlenebilirlik, renklendirilebilirlik ve termal özelliklerinden dolayı birçok uygulama için tercih edilen bir maddedir. PET, termoplastikler arasında zayıf asitlere, bazlara ve çoğu çözücülere karşı dayanımı olduğu kadar, sağlamlık, sertlik, parlaklık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikleriyle de üstündür. Ayrıca PET 'in gaz geçirgenliği diğer plastiklerin çoğundan daha düşüktür [11].

Gerçekleştirilen çalışmada deneysel numunelerin baskısında slicer programından yararlanılmıştır. Baskı için kullanılan parametreler Çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel Numunelerin Üretiminde Kullanılan Baskı Parametreleri

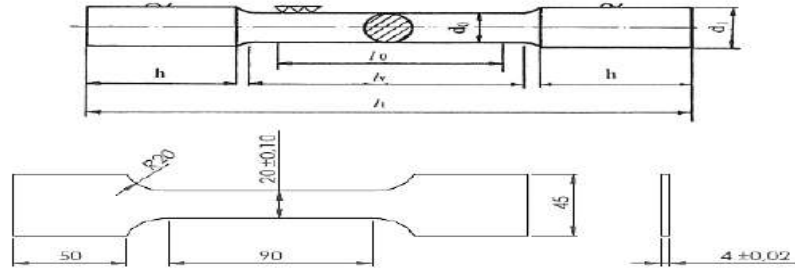
Yazıcı Malzemesi	PLA	PET
Yazıcı Türü	Kişisel	Kişisel
Katman Yüksekliği (mm)	0.4	0.4
Doluluk Oranı (%)	50	50
Yazıcı Uç sıcaklığı	225°C	220°C
Tabla Sıcaklığı	25°C	25°C
Kabuk sayısı	2	2
Filament Çapı	1,75	1,75
Dolgu Örüntüsü	Rectilinear	Rectilinear

Çekme testi, bir numunenin kopana dek tek ekseninde çekme kuvvetlerine maruz bırakıldığı temel bir malzeme bilimi testidir. Çekme testi için rectilinear örgü şekli ve beş farklı doluluk oranlarıyla (%10, %20, %30, %40, %50) her numuneden üçer adet olmak üzere toplam 15 çekme numunesinin basımı gerçekleştirilmiştir. Rectilinear dolgu örüntüsü Şekil 2.'de gösterilmiştir.

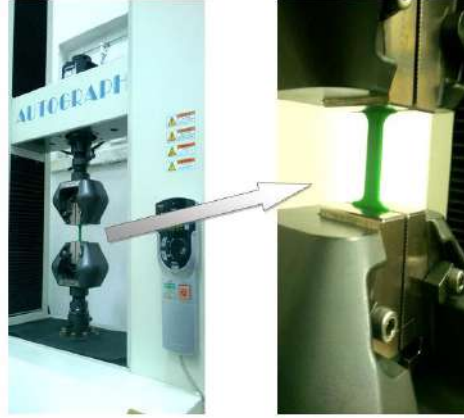


Şekil 2. Rectilinear Dolgu Örüntüsü

Çekme testleri Karabük Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan SHIMADZU marka 50kN kapasiteli çekme cihazında yapılmıştır. Çekme deneyi için kullanılan TS 138 A standardındaki numunelerin boyutları Şekil 3.'de verilmiştir. Şekil 4.'de ise çekme işlemi esnasında numunenin durumu görülmektedir.

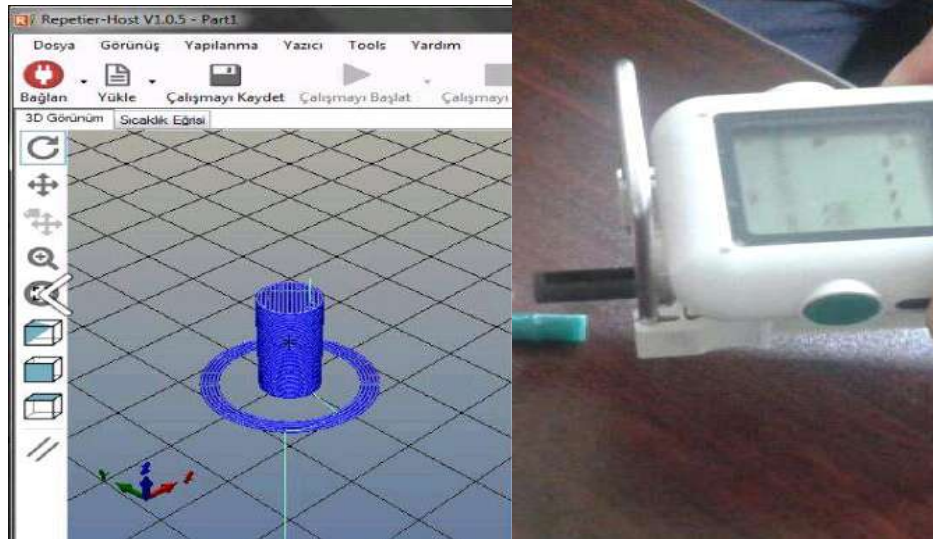


Şekil 3. Standart Çekme Numunesi Boyutları



Şekil 4. Çekme Testi

Çekme testi için basmış olduğumuz numuneleri çekme testinden önce, numuneleri yüzey pürüzlülük testine tabi tuttuk. Bu numune özellikleri ise rectilinear dolgu örüntüsü ile ve beş farklı doluluk oranı (%10-50) ile pürüzlülüklerine bakılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Mitutoyo marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

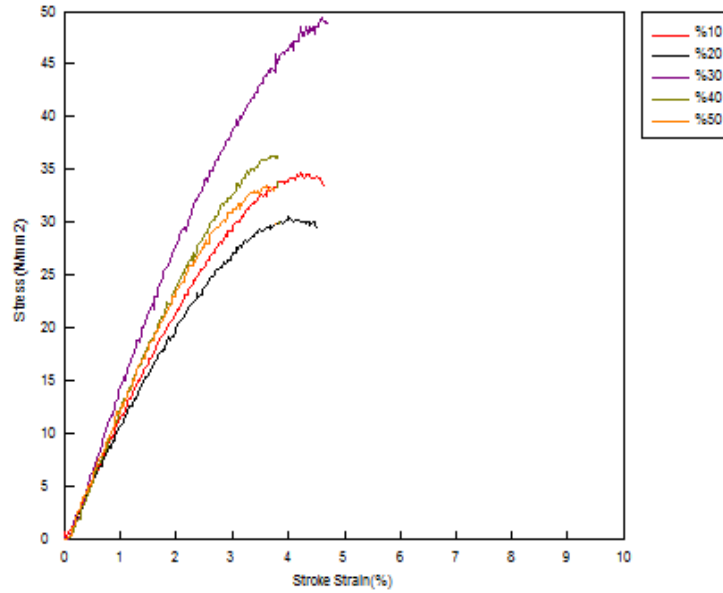
Shore D sertlik ölçümü yapmak üzere tasarlanan ve konstrüksiyonu gerçekleştirilen açık kaynaklı yazıcı ile 10x10mm boyutlarında kübik sertlik ölçüm numunesi üretilmiştir. Herbir parametreden beşer ölçüm alınıp bu ölçümlerin ortalaması alınıp birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sertlik ölçümleri PCE-DD D Dijital Shore D Durometre ile gerçekleştirilmiştir.



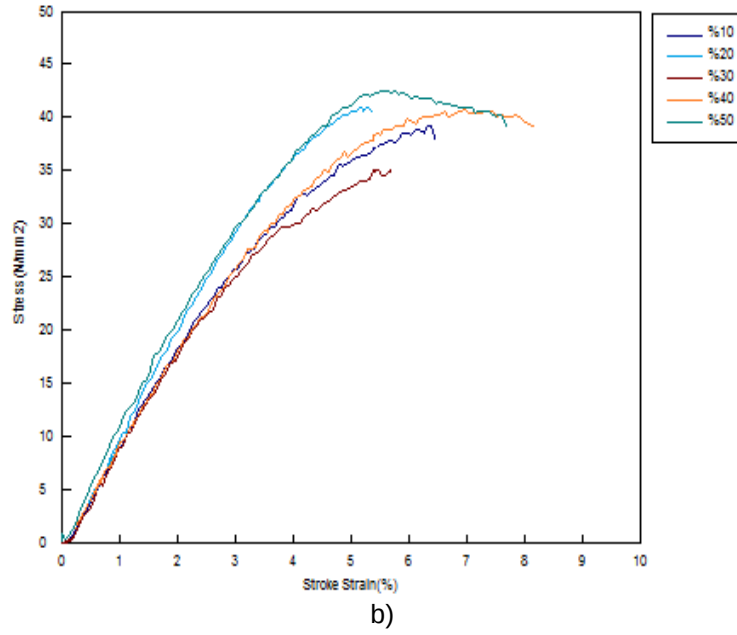
Şekil 6. Yüzey Sertlik Test Cihazında Numunenin Ölçümü

3. Sonuçlar

Şekil 7.'de yer alan çekme eğrileri değerlendirildiğinde PLA malzemede %10 doluluk oranından %30 doluluk oranına doğru gittikçe artan bir çekme mukavemeti elde edildiği, ancak %40 ve %50 doluluk oranlarında çekme mukavemetinin azaldığı görülmektedir. En düşük doluluk oranı olan %10 doluluk oranına sahip rectilinear dolgu örüntülü numunelerde en küçük çekme mukavemeti değeri 31 N/mm^2 olarak elde edilirken, en yüksek çekme mukavemeti değeri ise %30 doluluk oranına sahip numunelerde 48 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.



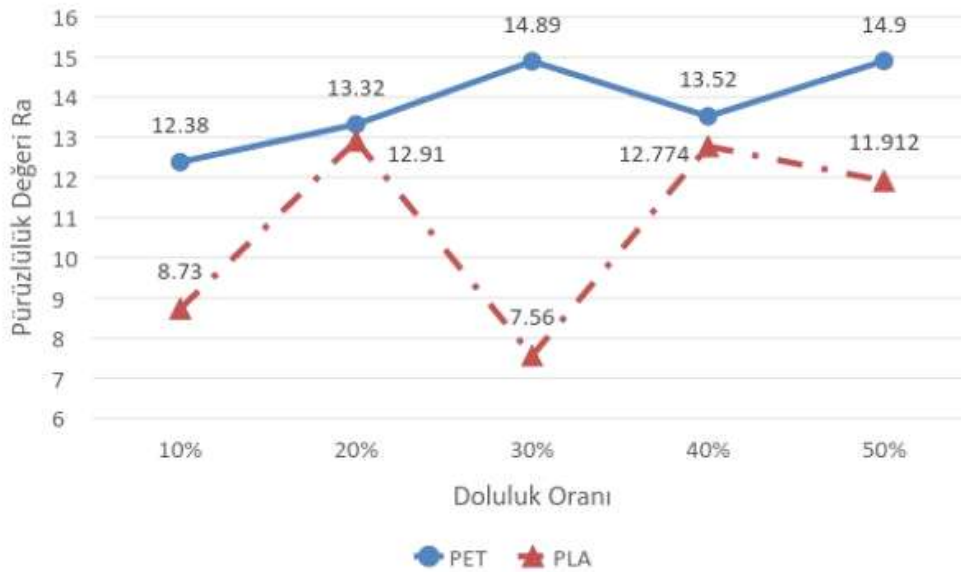
a)



Şekil 7. Çekme Testi Grafikleri, a) PLA, b) PET

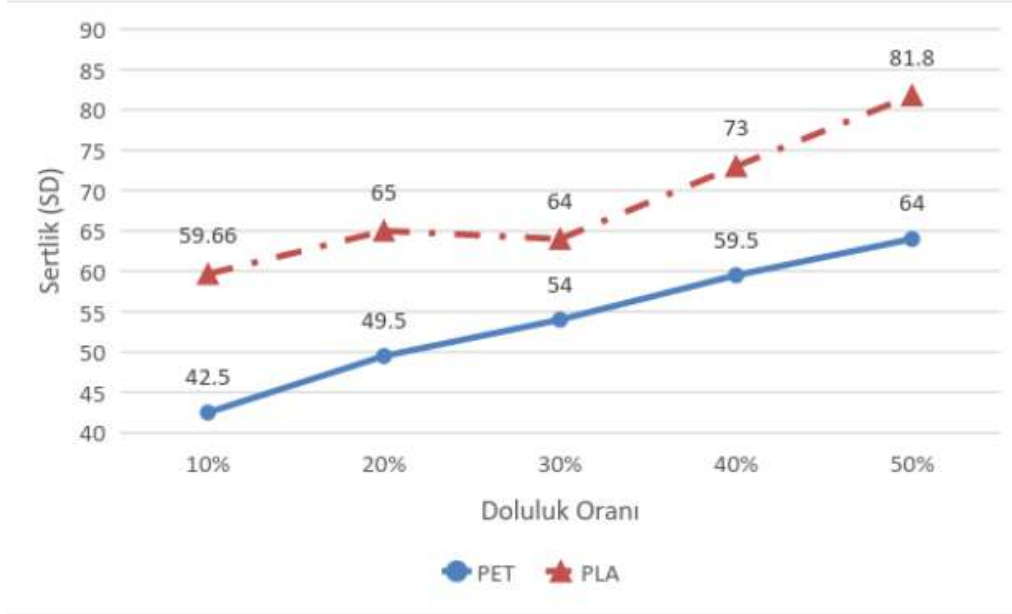
PET malzemenin çekme eğrilerinde ise %10 doluluk oranından %30 doluluk oranına doğru gittikçe artan bir çekme mukavemeti elde edildiği, ancak %40 ve %50 doluluk oranında çekme mukavemetinin azaldığı görülmektedir. En düşük doluluk oranı olan %10 doluluk oranına sahip rectilinear dolgu örüntülü numunelerde en küçük çekme mukavemeti değeri 34 N/mm^2 olarak elde edilirken, en yüksek çekme mukavemeti değeri ise %50 doluluk oranına sahip numunelerde 42 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Şekil 8.'de yer alan yüzey pürüzlülük grafiğine bakıldığında; PLA malzemenin en büyük pürüzlülük değerinin 12,9Ra ile %20 doluluk oranında, en küçük pürüzlülük değerinin 7,56 Ra değeri ile %30 doluluk oranında elde edildiği, PET malzeme ise en büyük pürüzlülük değerinin 14,9Ra ile %50 doluluk oranında, en küçük pürüzlülük değerinin ise 12,38 Ra değeri ile %10 doluluk oranında elde edildiği görülmektedir. Her iki malzeme grubu birbiriyle kıyaslanacak olursa PET malzeme elde üretilen numunelerde PLA malzeme ile üretilenlerden daha pürüzlü bir yüzey elde edildiği görülmektedir.



Şekil 8. Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Sertlik ölçüm sonuçlarının yüzey pürüzlülüğü değerlerini destekler nitelikte olduğu Şekil 9.'da verilen sertlik grafiğinden de görülmektedir. Ayrıca malzemenin doluluk oranı arttıkça sertlik değerinin de arttığı görülmektedir. PLA malzeme grubunda en büyük sertlik değeri 81,8 SD ile %50 doluluk oranında, en küçük sertlik değerinin ise 59,66 SD ile %10 doluluk oranında elde edildiği görülmektedir. PET malzeme grubunda da benzer bir davranış sergilenmiş ve en büyük sertlik değeri 64 SD ile %50 doluluk oranında, en küçük sertlik değerinin ise 42,5 SD ile %10 doluluk oranında elde edildiği görülmüştür.



Şekil 9. PLA ve PET malzemelere ait Shore D sertlik değerleri

Gerçekleştirilen deneysel çalışmanın neticesinde PLA ve PET malzemenin çekme testi değerlerinde doluluk oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerlerinde düzenli bir artış yada azalmanın olmadığı görülmüştür. PLA malzemede pürüzlülük değeri ile çekme mukavemeti ve çekme mukavemeti ile sertlik değerleri arasında ters bir orantı olduğu, pürüzlülük arttıkça çekme mukavemeti değerinin azaldığı; sertlik ve pürüzlülük değerlerinin doğru orantılı olduğu görülmüştür. PLA malzeme ekstrüzyon esnasında ya da yazıcıda kullanımı esnasında neme maruz kaldığında farklı tepkiler verebilmektedir. PLA malzemenin ekstrüzyonundan önce malzemenin kurutma fırınında kurutulması ve ekstrüzyon esnasında da vakumlama ya da gaz ortamında oksijen giderme işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Filament üretildikten sonra ise kullanım esnasında filament malzemenin oksijenle uzun süreli teması engellenmeli, mümkünse kapalı kapta muhafaza edilmelidir. Aksi taktirde filament gevrekleşmekte, esnekliğini ve mukavemetini kaybetmekte, nozzle ucunda baloncuklanma, hava boşluklarının oluşması, nozzleden fışkırtma ve renk değişikliği meydana gelmektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan PLA malzeme Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği laboratuvarlarında kullanılmaya devam eden filament makarasından üretilmiştir. Dolayısıyla yukarıda sıralanan olumsuzluklar da göz önüne alındığında PLA malzemenin oksijenden ve nemden etkilenmiş olabileceği, bundan dolayı mukavemet değerlerinde bir belirsizlik olduğu söylenebilir. Dolayısıyla bu sonuç, daha sonraki yapılacak çalışmalarda kullanılacak PLA malzemenin oksijen ve nem ortamından uzaklaştırılarak muhafaza edilmesi gerektiği sonucuna ulaştırmıştır.

PET malzeme grubunda ise sertlik çekme ve pürüzlülük değerlerinin doğru orantılı olduğu, sertlik arttıkça, çekme mukavemetinin de arttığı görülmüştür.

Referanslar

1. Szykiedansa K., Credo W., Mechanical properties of FDM and SLA low-cost 3-D prints, ProcediaEngineering (The 20th International Conference: Machine Modeling and Simulations, MMS 2015). Vol: 136, pp 257 – 262, 2016.
2. Dawoud M., Taha I., Ebeid S.J., Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques, Journal of Manufacturing Processes. Vol: 21, pp 39–45, 2016.
3. Cubric D., Lencova B., Read F.H., Zlamal J., Comparison of FDM, FEM and BEM for electrostatic charged particle optics, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. Vol: 427, pp. 357-362, 1999.

4. Sood A.K., Ohdar R.K., Mahapatra S.S., Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement, *Journal of Advanced Research*. Vol:3, pp 81–90, 2012.
5. Jaina P., Kutheb A.M., Feasibility Study of manufacturing using rapid prototyping: FDM Approach, *Procedia Engineering*. Vol: 63, pp 4 – 11, 2013.
6. Rauta S., Jattib V.K.S., Nitin K., Khedkar K., Singh T.P., Investigation of the effect of build orientation on mechanical properties and total cost of FDM parts, *Procedia Materials Science*. Vol:6, pp. 1625 – 1630, 2014.
7. Gurralla P.K., Regalla S.P., DOE Based Parametric Study of Volumetric Change of FDM Parts, *Procedia Materials Science*. Vol:6, pp 354 – 360, 2014.
8. Nuñez P.J., Rivas A., García-Plaza E., Beaud E., Sanz-Lobato A., Dimensional and surface texture characterization in Fused Deposition Modelling (FDM) with ABS plus, *Procedia Engineering*. Vol:132, pp 856 – 863, 2015.
9. Leary M., Kron T., Keller C., Franich R., Lonski P., Subic A., Brandt M., Additive manufacture of custom radiation dosimetry phantoms: An automated method compatible with commercial polymer 3D printers, *Materials and Design*. Vol:86, pp 487–499, 2015.
10. Stephens B., Azimi P., Orch Z.E., Ramos T., Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers, *Atmospheric Environment*. Vol: 79, pp 334-339, 2013.
11. Ahrabi A.Z., Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği anabilim Dalı, Ankara, sf 33-51, 2009.
12. Reddy M.M., Vivekanandhan S., Misra M., Bhatia S.K., Mohanty A.K., Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities, *Progress in Polymer Science*. Vol: 38, pp 1653– 1689, 2013.
13. Armentano I., Bitinis N., Fortunati E., Mattioli S., Rescignano N., Verdejo R., Manchado M.A.L., Kenny J.M., Multifunctional nanostructured PLA materials for packaging and tissue engineering, *Progress in Polymer Science*. Vol: 38, 1720–1747, 2013.
14. Raquez J.M., Habibi Y., Murariu M., Dubois P., Polylactide (PLA)-based nanocomposites, *Progress in Polymer Science*. Vol:38, 1504– 1542, 2013.
15. <http://www.biyoplastik.net/2013/08/bina-ds-cepheleri-icin-biyobazl.html>

3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE ÜRÜN TESTİ

Tuğba Akçay, Süleyman Semiz, Şeref AYKUT

Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., End. Tas.Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, takcay@yahoo.com.tr
Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, End. Tas.Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, ssemiz@kbu.edu.tr
Bitlis Eren Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis/TÜRKİYE saykut@beu.edu.tr

Özet

3 boyutlu yazıcılar temelde bir ürünün piyasaya çıkmadan önce son halini görebilmek için tasarlanmış makinelerdir. Bu sayede bir ürün seri üretime geçmeden önce bu yazıcılardan çıktı alınıp son haline bakılarak ürünün elle tutulduğunda nasıl bir şeye benzediği görülebilmektedir. Bu da hem maliyet tasarrufu hem de olası sorunların önceden görülmesini sağladığı için ciddi bir kolaylık getirmektedir. Üretilen masaüstü 3 boyutlu yazıcı, piyasa şartlarına uygun daha kolay bulunabilecek olan malzemelerle yapılacaktır. İmalatın ana hedefi, en kısa zamanda, en az üretim maliyeti (ham madde, elektrik, işçilik giderleri vb.) ile tüketicinin beklediği kalitede üretimi gerçekleştirmektir. Çalışmanın ikinci aşamasında ticari araçlarda opsiyonel olarak kullanılmakta olan yağmur sensörünü kapatma görevi gören bir plastik parçanın 3 boyutlu yazıcılarla üretimi amaçlanmaktadır. Enjeksiyon kalıbında sağ ve sol parça olarak üretilen ve üretim hattında araç ön camındaki dikiz aynası üzerine montajı yapılan bu parçanın yol testleri esnasında birçok problemi tespit edilmiştir. Ayrıca her bir problemin çözümü için yapılan değişim, üretimi yapılmış olan kalıp üzerinde modifikasyonlara sebep olup ek maliyet getirmektedir. Maliyetlerin yükselmesini engellemek amacıyla yağmur sensörü parçasının nihai ürüne giden bu yolda üretimini yapacağımız 3 Boyutlu yazıcıda prototip'inin yazdırılarak kalıp imalatına girilmeden tüm problemlerinin çözülerek maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Masaüstü 3 Boyutlu Yazıcı, Makine Tasarımı

DESIGN AND PRODUCT TESTING OF 3 DIMENSIONAL PRINTERS

Abstract

3D printers are machines which are basically designed to be able to see the final version of a product before presenting to the market. Thus, by taking a print out through these printers, last appearance of the product can be seen before starting mass production. And, this allows a significant easiness for providing cost savings and seeing the potential problems in advance. 3D printer which will be produced will be made with materials that can be found more easily according to market conditions. The purpose of the design and manufacture of 3D printer is to achieve a product which has quality targeted with minimum cost of production (raw materials, electricity, employment costs, etc.) within the shortest time. In this study, it is intended to manufacture a plastic part using in order to switch off the rain sensor which is optionally used in commercial vehicles with 3D printers. The parts produced as right and left in injection mould may be sound problems during road tests. In addition, in each change decision, additional costs are emerged by processing design on the model produced. In order to eliminate such drawbacks, the designated piece will be produced with 3-D printer of which design and manufacturing has been made.

Keywords: 3-D Printers, Machine Design

1. Giriş

Teknolojik inovasyon, şirketlerin pazardaki rekabet güçlerini korumak/artırmak için ürünlerinde, üretim süreçlerinde ve hizmetlerinde sürekli yenileme ve iyileştirme yapmaları olarak tanımlanabilmektedir. Yapılan çalışmalar ile ortaya çıkan fikirlerin ticarileşmesi büyük önem taşımaktadır. Günümüz rekabet koşulları altında bir ürün geliştirilirken, ürün, üretim yöntemi veya hizmetlerde yapılan inovasyon çalışmalarında hedef, şirketin yarattığı değerin artırılmasıdır. İnovasyon ve ürün geliştirme süreçlerinde, üzerinde form fonksiyon denemeleri yapılabilecek prototipler ve modeller kullanılması; geliştirilen ürünlerin en kısa sürede tüketicinin kullanımına sunulması gerekmektedir. Son yıllarda söz konusu model-prototiplerin ve son kullanıcıya sunulacak ürünlerin üretiminde, kalıp imalatı gibi uzun zaman alan süreçlerin ortadan kaldırılarak, Katmanlı Üretim Teknolojileri (KÜT) yaygınlaştığı görülmektedir [1].

Katmanlı üretim, hızlı prototipleme ya da üç boyutlu yazıcı teknolojisi, birçok farklı malzemeyi kullanarak üç boyutlu modeli katmanlara ayırmaktadır. Bu katmanları adım adım aşağıdan yukarıya doğru üst üste yığarak tasarlanan modeli somut, elle tutulabilen bir ürün olarak ortaya çıkarmaktadır. Bir aletin, oyuncağın ya da herhangi bir nesnenin bilgisayar ortamında dijital olarak tasarlandığında, ürünün örneği 3 boyutlu yazıcı sayesinde dakikalar içinde somut olarak ele alınabilmektedir. Henüz hiç bir üretim yöntemi ile üretilmesi mümkün olmayan parça geometrileri, yani farklı şekillerdeki ürünler elde edilebilmektedir. Nano ölçekli yani kum tanesinden bile küçük, minicik nesneler en ince ayrıntısına kadar üç boyutlu olarak basılabilmektedir. Bilgisayarda çizilen model ile yazıcıdan çıkarılan model birbirinin tamamen aynısı olabilmektedir [2]. 3 boyutlu yazıcı bilgisayar üzerinde tasarlanmış ve ya 3 boyutlu olarak taranmış modelleri, birçok farklı malzeme kullanarak çok hızlı ve ekstra bir kalıp ya da fikstüre ihtiyaç duymadan üreten bir cihazdır. Düşük maliyetli masaüstü sürümlerinin geliştirilmesi ev ve ofis ortamlarında kullanımını için bu teknoloji yaygın olarak erişilebilir hale getirmiştir [3].

3 boyutlu yazıcılarda genellikle termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Termoplastik malzemeler defalarca eritilebildikleri, belirli bir sıcaklık aralığında sıvılaşabildikleri için bu teknolojiye hayli uygun olan malzemelerdir. Termoplastik malzemenin düzgün bir şekilde yığılabilmesi için, erime sıcaklığına ısıtılmış bir nozûlden yani püskürtme memesinden dışarıya bırakılması gerekmektedir. Bu nozûl bilgisayar tarafından kontrol edilerek bilgisayar çizimindeki parçanın geometrisinin aynısını oluşturacak şekilde hareket ettirilir. Termoplastik malzemenin yığılması ile beraber, parça 2 boyutlu katmanlar halinde tablaya yığılır ve sonuçta üç boyutlu ürün ortaya çıkmaktadır [4].

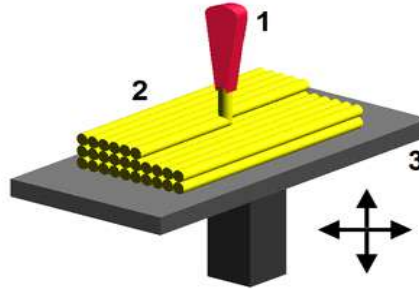
Katmanlı üretim teknolojisi ile çalışan 3 boyutlu yazıcılarda genellikle Acrylnitrile Butadene Styrene (ABS) ve Ploliaktik Asit (PLA) gibi termoplastik polimer malzemeler kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılabilecek yazılımlardan bazıları, AutoCAD, CATIA, SolidWorks, Google Sketchup, Rhino3D, vb.'dir. Bu yazılımlar ile tasarlanan modeller STL dosyası olarak export edilerek 3 boyutlu yazıcılar ile üretilmektedir [5].

3 boyutlu yazıcılar birçok farklı teknoloji kullanabilmektedirler. Teknolojiler arasındaki farklılıklar genellikle katmanların nasıl oluşturulduğu ile alakalıdır. 3 boyutlu yazıcıların kullandığı bazı teknolojileri sıralamak gerekirse, Seçici Lazer Sinterleme (SLS-Selective Laser Sintering), Katmanlı Üretim Teknolojisi (FDM-Fused Deposition Modelin), Stereolithography en çok kullanılan 3 boyutlu yazıcı teknolojileri arasındadır [6].

3 boyutlu yazıcılar her geçen gün daha düşük fiyatlar ile pazara sunulmakta, daha iyi kavramsal modeller üretilmekte ve kullanım oranları artmaktadır. Daha önceki yıllarda üst seviye sistemlerde bulunan özellikler, daha uygun fiyatlı 3 boyutlu yazıcılara indirgenmektedir. Bilgisayarda yazım programı (MS Word gibi) kullanan her 1-5 kişi, yanında veya ortak nasıl bir yazıcı kullanıyorsa, imalat sektöründe de her CAD kullanan 1-5 kişinin yanında bir adet de 3 boyutlu yazıcı kullanılacağı ve bu sektörün her geçen gün CAD kullanımının artması ile orantılı olarak gelişeceği beklenmektedir. Diğer taraftan değişik malzeme seçenekleri, yüksek hassasiyet oranları ve boyutları ile hızlı prototipleme sistemleri de gelişmekte, kullanıcılarına değişik seçenekler, özel imalat teknolojileri sunmaktadır. Hızlı prototipleme sistemlerinin malzeme seçeneklerinin artması, gerçek mühendislik malzemeleri kullanması, daha fonksiyonel ve dayanıklı parçalar üretmesi ve bunların çeşitli testlere dayanımıyla üretimlerin tekrar edilebilirliği, doğrudan son kullanım parça imalatına olanak tanımaktadır [7].

2. Üç Boyutlu Yazıcıların Çalışma Mantiği

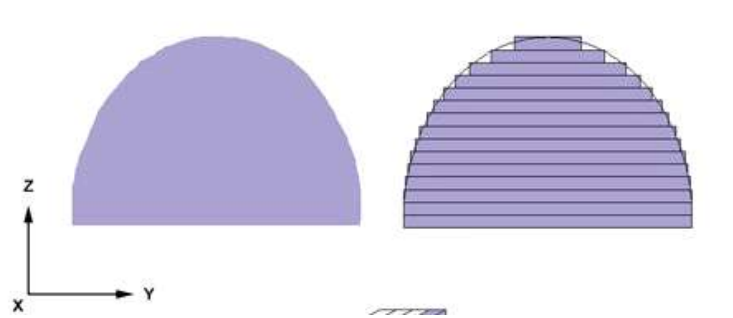
3 boyutlu modellere aşağıdan yukarıya doğru, tabaka tabaka, dayanıklı ABS ve PLA plastiği ile üretim yapılmaktadır. İçinde bulunan yazılımı ile açılan .STL uzantılı dosyaları, otomatik olarak katmanlara ayrılır, ve gerekli destek yapısı oluşturulur. 3 boyutlu yazıcıların takip edeceği işlem sırasını yazılım otomatik olarak çizmektedir. ABS plastik, otomatik yüklenen kartuşlardan, filament (iplik) formunda eriterek fışkırmaktadır. En küçük 0.15 mm kalınlığında tabakalar halinde örülmektedir. İşlem bittikten sonra destek malzemesi kolayca ayrılmaktadır. İmalat sürecinde ne zaman ve nerede destek malzemesi akıtılacağına yazılım otomatik olarak hesaplar. Baskı kafası X ve Y yönlerinde hareket ederken, baskı yapılan alan Z yönünde hareket etmektedir. Şekil 1'de üç boyutlu yazıcı çalışma mantığı görülmektedir.



Şekil1. 3 Boyutlu Yazıcı Çalışma Mantiğı

3 boyutlu yazıcılardaki tasarımdan son ürüne kadar olan işlem sırası aşağıda sıralandığı gibidir [8].

- **Modelleme:** Üretilcek ürün 3 boyutlu tasarım programları (CAD) ya da 3 boyutlu tarama sistemleri ile bilgisayar datası oluşturulur. Oluşturulan model genellikle .STL dosya formatına çevrilerek 3 boyutlu baskı sürecine geçilir.
- **3 Boyutlu Baskı:** 3 boyutlu baskı işleminde obje katmanlar halinde üst üste serilerek oluşturulur. Günümüz teknolojisinde bu katmanlar plastik eritme, lazer sinterleme, sterolitografi gibi farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Makinenin bu katmanlar sırasındaki takım yolunu takip etmesi için .STL dosyası hazırlanmış model dilimleme yazılımı ile katmanlara ayrılır. Şekil 2'de üç boyutlu yazıcıda dilimleme görülmektedir.
- **Yüzey iyileştirme:** 3 boyutlu yazıcılar ile gerçekleştirilen objeler geleneksel teknolojiler ile karşılaştırıldığında boyutsal açıdan daha hatalı olabilmektedir. Bu nedenle kritik objelerde bir yüzey temizleme, iyileştirme ve son ölçüye getirme işlemi uygulanabilmektedir



Şekil2.3 Boyutlu Yazıcıda Dilimleme

Hızlı prototipleme çalışmalarında .Stl çok sık kullanılan bir dosya türüdür. Bilgisayar ortamında oluşturulan katı cisim veya yüzeyler üçgen parçalar halinde ifade edilmektedir. Aşağıdaki basit şekilde bile bir kare 12 adet üçgenden oluşmuştur. .STL uzantısı oluşturulurken üçgen sayısı ne kadar fazla olursa oluşturulan model o kadar kusursuz olur. Ancak hassasiyet arttıkça dosya boyutu da buna bağlı olarak artar. Şekil 3'de .Stl formatı görülmektedir.

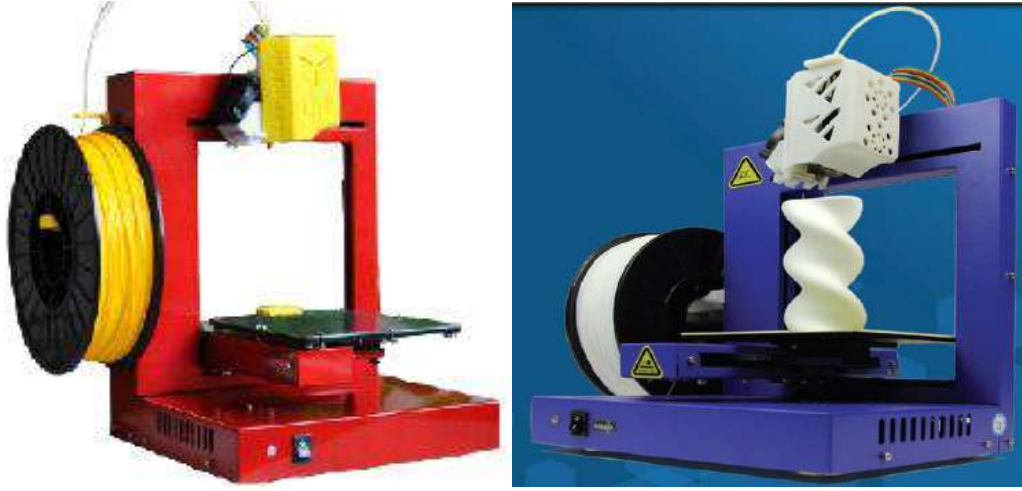


Şekil3. .STL Formatı

3. 3 Boyutlu Yazıcının Tasarım Özellikleri

Bir ürünün tasarımında malzeme seçimi çok önemlidir. Malzeme seçimi ve maliyeti ürünün başarısını doğrudan etkilemektedir. Tasarımı yapılacak 3 boyutlu yazıcının hafif olmasını sağlamak üzere tüm

gövdede sigma profiller kullanılacaktır. X,Y,Z eksenleri için iki adet kızak görevi görmek üzere düz mil ve hareketi sağlamak üzere de vidalı miller kullanılacaktır. Vidalı millerin adım motor ile bağlantısı papatya kaplinler ile yapılacaktır. Ayrıca kızak milleri ve vidalı miller için hazır yataklar alınacaktır. İş kazalarının önlenmesi amacıyla 3 Boyutlu Yazıcıların üretim esnasında ısıtmış olduğu polimer malzemenin sıçramasını ve kullanıcının sıcak malzeme ile temasını önlemek için kapalı sistem düşünülmüştür. Yazıcı çalışma için komut aldığı anda otomatik olarak kapakları kapanacak ve üretim hattı kullanıcının ulaşamayacağı iç kısımda kalacaktır. Üretim bittikten sonra kapaklar otomatik olarak açılacak ve üretilen ürün kullanıcı tarafından sistemin içinden alınabilecektir. Kendi tasarım düşüncemiz dışında piyasa da bulunan 3 boyutlu yazıcıları incelediğimizde Şekil 4'de örnekler karşılaşılmıştır.



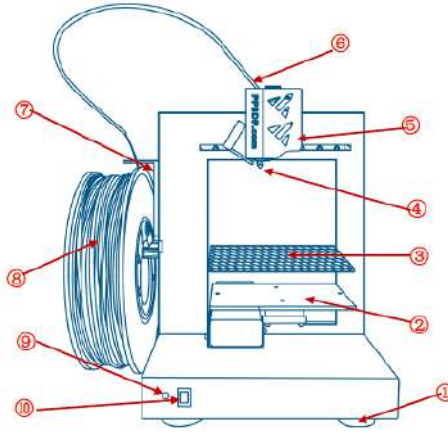
Şekil 4. Piyasada Bulunan 3 Boyutlu Yazıcılar

Herhangi bir 3 boyutlu yazıcı 3 temel parça grubundan oluşmaktadır. Bu ana grupların altında 3 boyutlu baskı makinesinin işlevlerini gerçekleştirmesi için gereken kritik parçalar bulunmaktadır. Bunlar;

1. Elektronik Parçalar: Kontrol kartı, step sürücüler, step motorlar, ısıtıcı nozzle, ısıtıcı zemin.
2. Mekanik Parçalar: Ekstruder, dişliler, lineer rulmanlar, plastik ve metal parçalar.
3. Yazılım

Tasarımı yapılacak olan 3 boyutlu yazıcının ergonomik ve kaplayacağı hacim iyi hesap edilmelidir. Üretilmesi düşünülen ürün göz önüne alındığında tasarımı yapılacak olan makinenin boyutları çok önemli hale gelmektedir. İhtiyaçtan fazla bir büyüklükte tasarım yapılırsa fazla yer kaplayacaktır. İhtiyaçları karşılayamayacak küçüklükte olursa da yapılan sistem boşa gidecektir. Bu da maliyet açısından zarar demektir. Bu sebepten dolayı üretilecek ürünün boyutları göz önüne alındığında (X:100, Y:232, Z:70mm) 3boyutlu yazıcının çalışma alanının X: 200, Y:600, Z:120mm olmasına karar verilmiştir. Şekil 5'te üç boyutlu yazıcının kroki ve bileşenleri görülmektedir.

1. Ayaklık
2. Platform
3. Isıtıcı taban
4. Nozzle (Ağızlık)
5. Ekstruder koruma
6. İplik tüpü
7. Silindir mili
8. İplik malzeme
9. Klavuz lamba
10. Başlama düğmesi



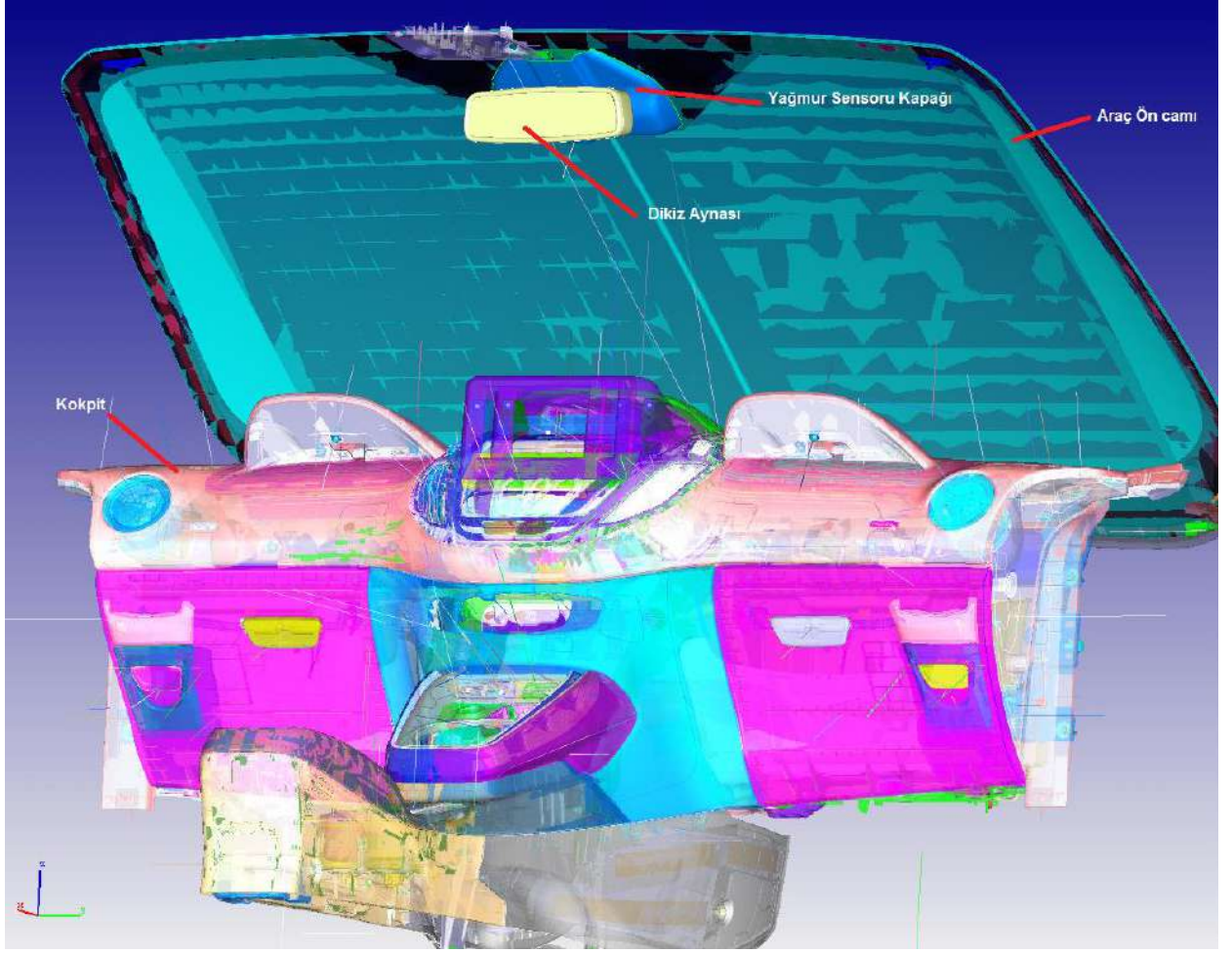
Şekil 5. 3 Boyutlu Yazıcı Kısımları

4. İmalatı Hedeflenen Parça ve Özellikleri

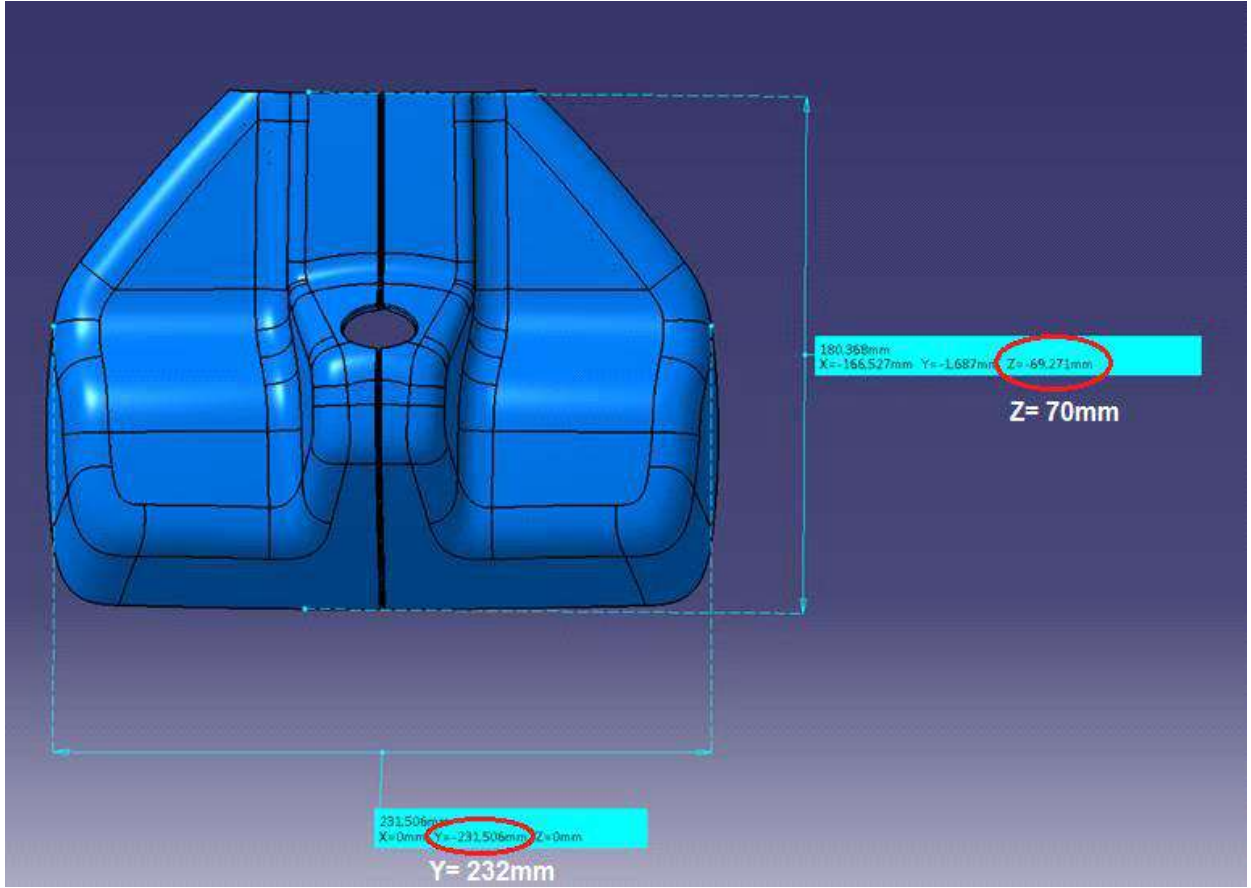
Otomotiv endüstrisinde 3 boyutlu baskı ile üretilen parça kullanımı araç içinde ve dışında yaygınlaşmaktadır.

3 boyutlu yazıcı ile elde edilen parçaların kullanımı ile malzeme ve işçilik maliyetlerinde önemli ölçüde iyileşmeler görülmektedir. Yükselen kaliteli araç üretiminde hatasız işlem yapılması için geleneksel yöntemlere ek olarak araç formunu yansıtabileceğimiz 3 boyutlu yazıcılar kullanılmaktadır. Seri üretime geçilmeden önce veya plastik enjeksiyon kalıplarının imalatı yapılmadan alınan çıktılar sayesinde önceden montaj hattında yaşanacak sorunların görülmesi veya müşteri memnuniyetini etkileyecek parça üzerindeki desen sorunları, kalite ve dayanım sorunlarına daha hızlı çözümlerin bulunarak kalıp üretiminin bu işlemler sonrasında yapılması hem zaman hem de maliyet açısından büyük önem arz etmektedir.

Araç iç gövdesinde kullanılmakta olan ve müşterinin isteği üzerine araca eklenen bir özellik olan yağmur sensörünün üzerini kapatmak için kullanılan ve geleneksel imalat yöntemi olan plastik enjeksiyon kalıbında PP+%15Talc (Cam tozu & magnezyum) malzemeden üretimi yapılmaktadır. Ticari araçlarda opsiyonel olarak kullanılmakta olan yağmur sensörünü kapatma görevi gören bu plastik parça temelde 1+1 gözlü enjeksiyon kalıbında sağ ve sol parça olarak üretilmektedir. Şekil 6'da parçanın araç içindeki konumu görülmektedir.

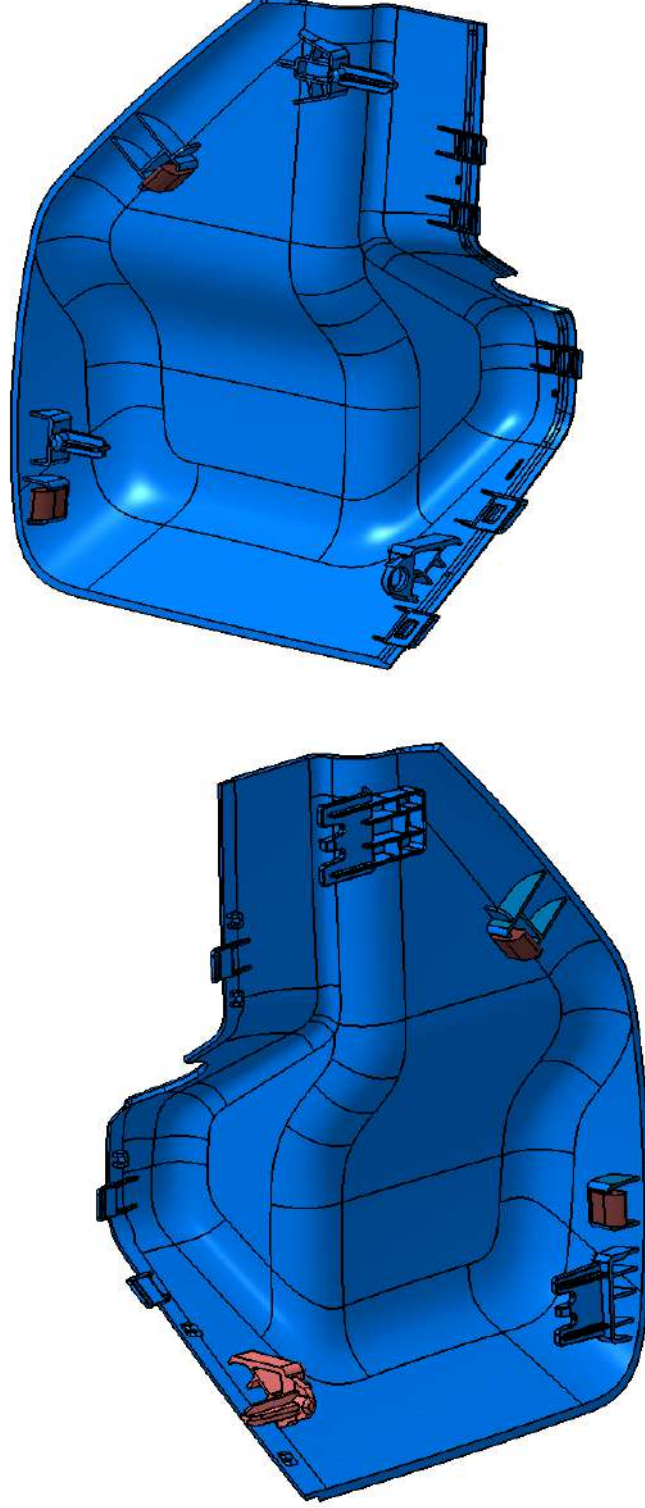


Şekil 6. Parçanın Araç İçindeki Konumu



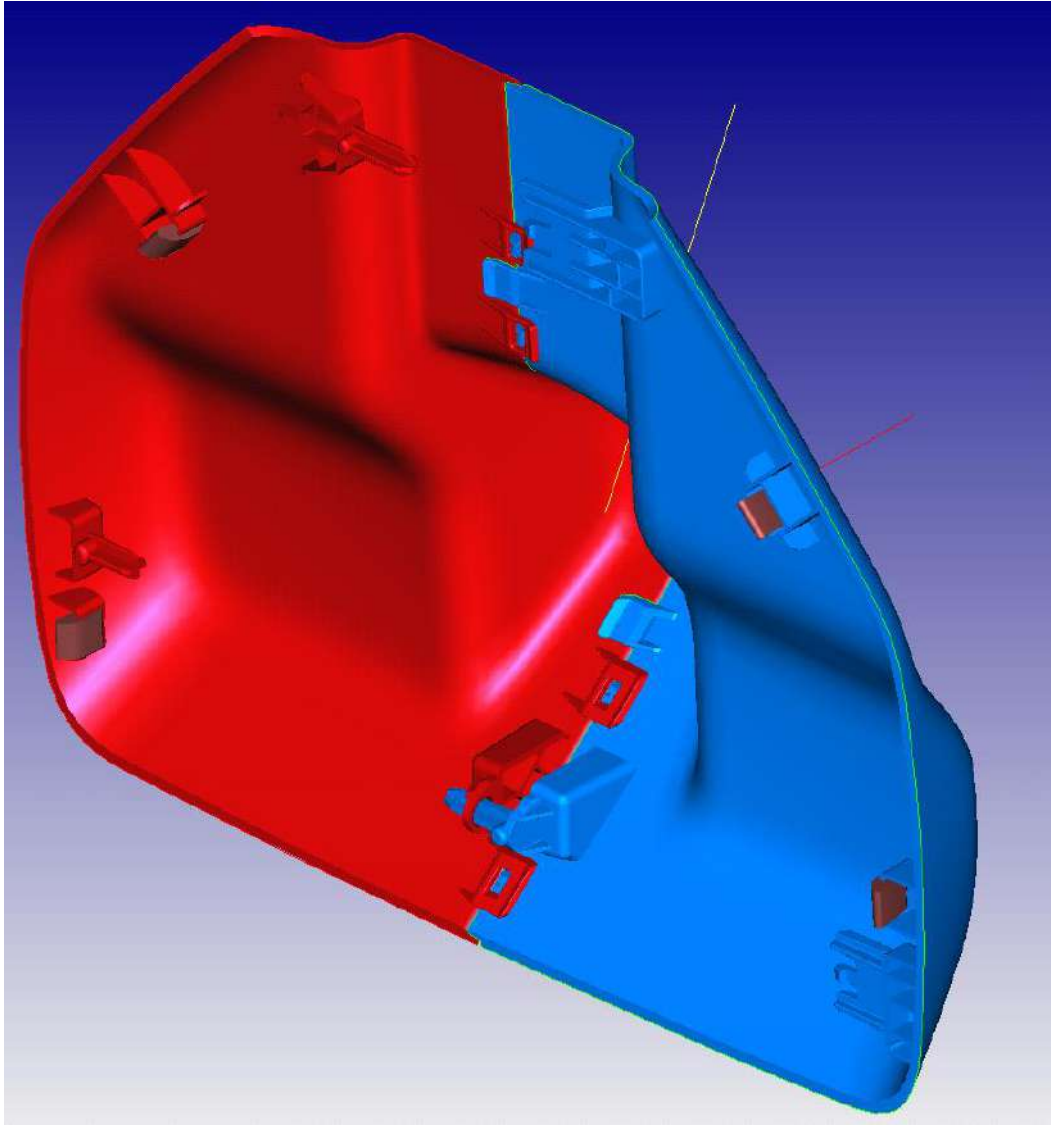
Şekil 7. Parçanın Genel Ölçüleri

Şekil 7’de parçanın genel ölçüleri görülmektedir. Buna göre $X=100\text{mm}$, $Y=232\text{mm}$, $Z=70\text{mm}$ ’dir. Enjeksiyon kalıbında üretimi yapılacak olan parçanın malzemesi PP%15Talc’dır. Talc dediğimiz PP’nin darbe dayanımı, ısı dayanımı, sertliğini arttırmak amacıyla malzemenin içine katılan cam tozu veya magnezyumdur. 3 boyutlu yazıcıda üretimi yapılan olan parçanın malzemesi ise ABS’dir. Genel özellikleri istenilen sertlik, darbe dayanımı yüksek olduğu için tercih edilmiştir. Polipropilen (PP); Mukavemeti ve yumuşama sıcaklığı oldukça yüksek olup sudan hafiftir. Kimyasal yönden inerttir ve su emmesi çok azdır. Akronitril-Butadien-Stiren (ABS); Üçlü kopolimeri olup mukavemeti ve tokluğu yüksektir. Dış ve kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Boru, oto parçaları, elektronik aygıt kabinleri ve buzdolabı parçaları üretiminde kullanılmaktadır.



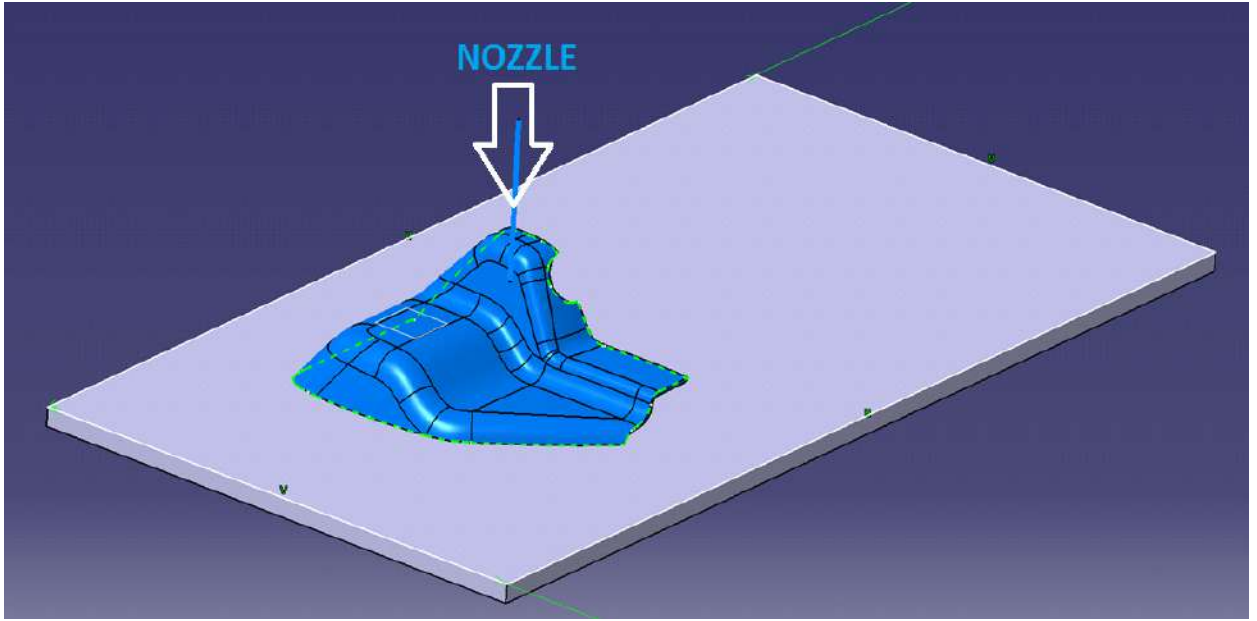
Şekil 8. Sağ ve Sol Parçanın Görünüşü

Proje zamanına göre 3 boyutlu programlarda tasarımı bitmiş gibi gözükken parçaların kalıp imalatı yapılarak prototip üretimine geçilir. Üretimi yapılan arabanın tüm parçalarının yol testlerinden, kalite standartlarından, servis edilebilir parça ise montaj & demontaj problemlerinin vb. uygulanacak testlerin hepsini geçmesi gerekmektedir. Testi geçemeyen parçalar üzerinde yapılan değişiklikler üretimi yapılmış kalıba tekrar tekrar işlenmektedir. Tüm problemleri çözülmüş olan parçanın en son kalıbına müşterinin temas edeceği yüzeyi olan A yüzeyini oluşturmak için desen işlenmektedir. Şekil 8'de sağ ve sol parça görülmektedir.



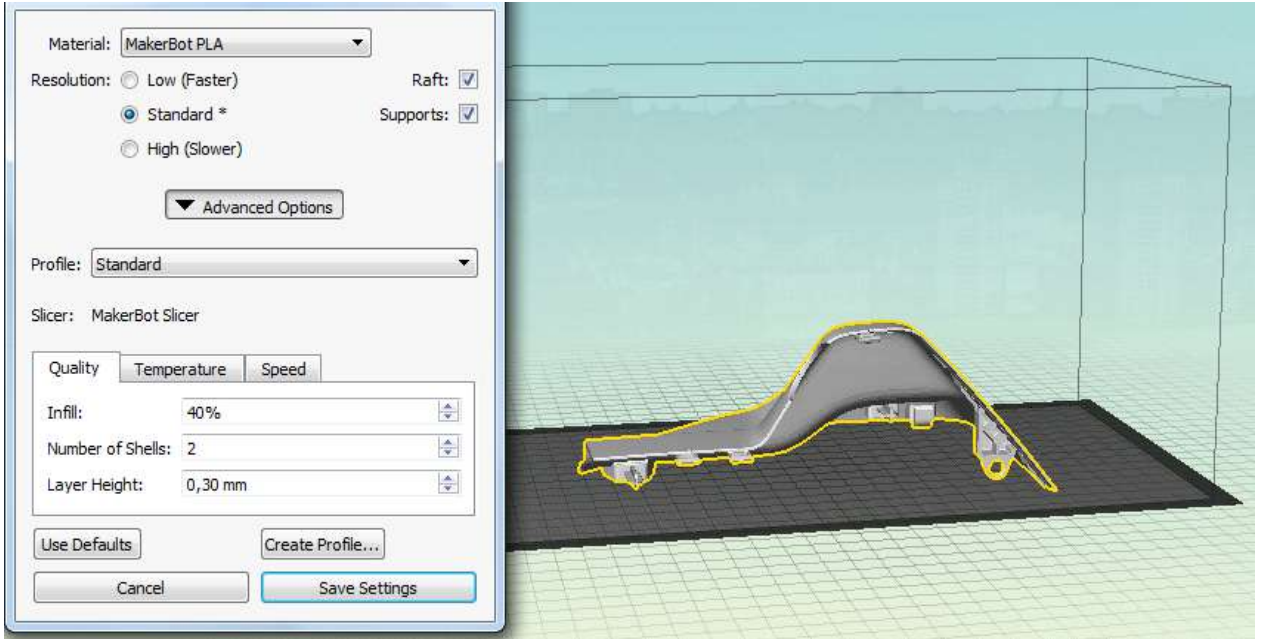
Şekil 9. Parçanın Montaj Görünüşü

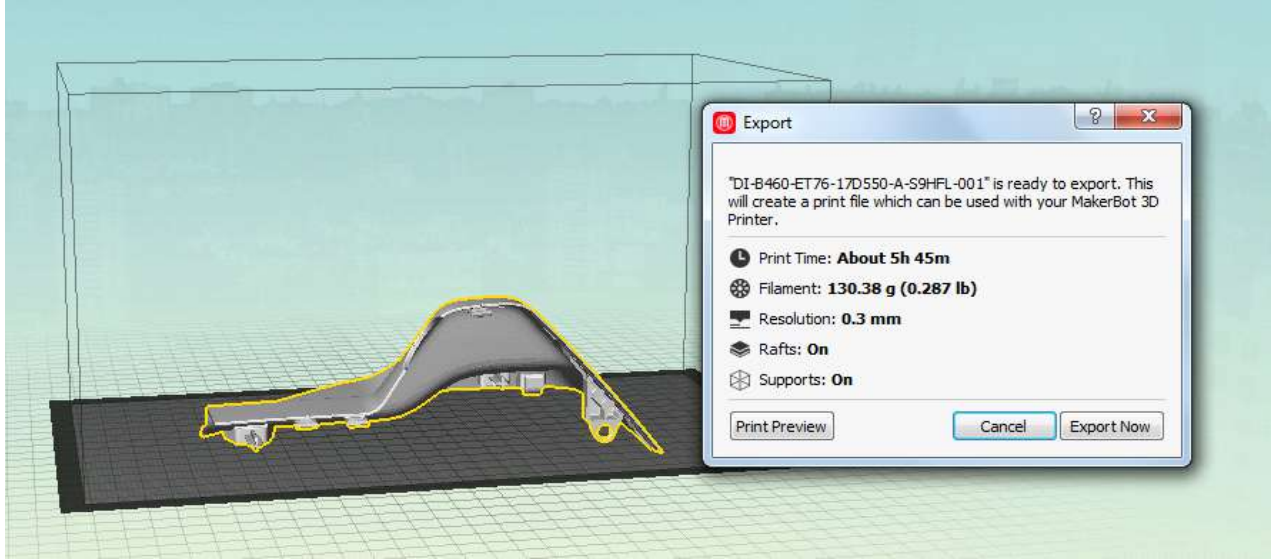
Desenlenmiş olarak üretim hattına gelen parçaların montajı araç içinde dikiz aynasının olduğu bölgede yapılarak araç ön camının üzerindeki konumuna yerleştirilmektedir. Yağmur sensörünün servis edilebilir bir parça olması nedeniyle, bu kapağında kolay bir şekilde araç içinden sökülebilir olması gerekmektedir. Araç içine montajı yapılan parçanın servis edilebilirliğinin kontrolü yapılırken söküm işlemi esnasında birbirine geçen tırnaklarının kırılarak ayrılması müşteri memnuniyetsizliğine sebep olacağından bu parçanın montaj stratejisinde değişikliğe gidilmesi kararı ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yol testleri sırasında ses problemlerine de sebep olmaktadır. Her bir değişim kararı üretimi yapılmış olan kalıp üzerine işlenerek ek maliyete sebep olmaktadır. Kimi zaman üretimi yapılmış olan kalıplardaki modifikasyonlar yeni bir kalıbın yapılmasından daha pahalı olabilmektedir. Bu gibi durumların önüne geçmek amacıyla araç içinde müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyen ve montaj hattında en çok problemi çıkaran parçalardan bir tanesi olan yağmur sensörü kapağının, 3 boyutlu yazıcı ile kalıbı hazırlanmadan yazdırılarak modifikasyonlarının bu parça üzerinde tespit edilerek nihai parçaya ulaşıldıktan sonra kalıbın kesim işlemine başlanmasıdır. Yağmur sensörü temelde cam üzerine gelen su damlacıklarını görerek otomatik olarak sileceklerin çalışmasını sağlamaktadır. 3 boyutlu yazıcıda üretimini yapacağımız bu plastik parçanın araç içindeki fonksiyonu; Ön cam üzerine konumlandırılan sensörün kullanıcı tarafından görülmesinin ve herhangi bir müdahaleye maruz kalmasının engellenmesidir. Şekil 9'da parçanın montaj görünüşü görülmektedir.



Şekil 10. Model Parçasının Yazdırma Konumu

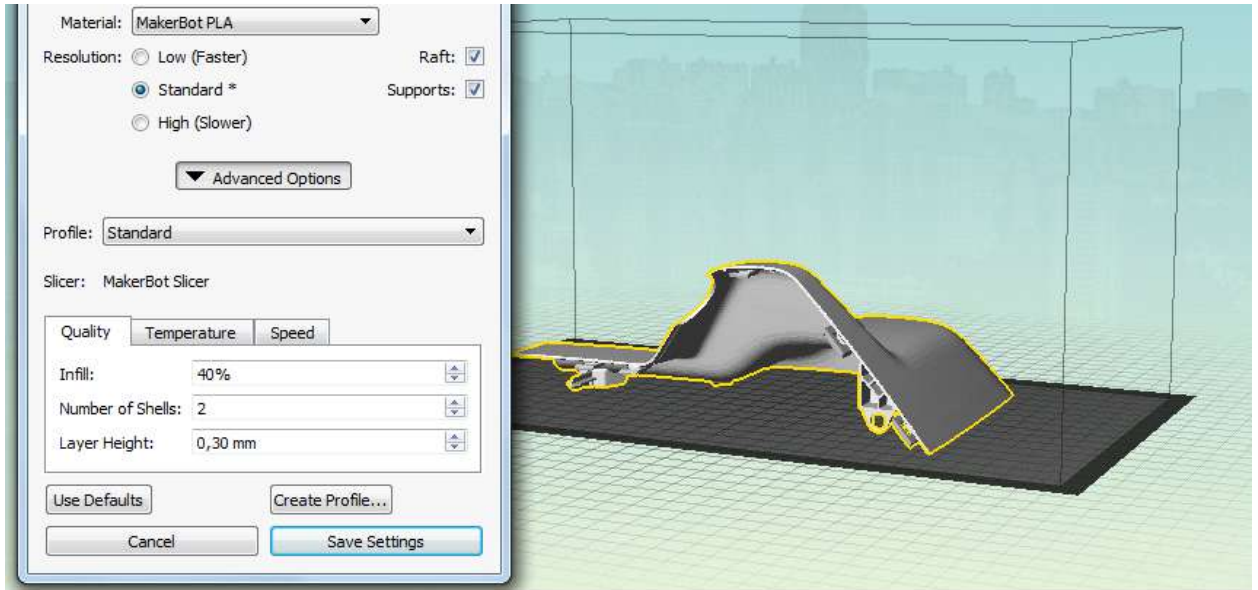
Şekil 10'da model parçasının yazdırma konumu görülmektedir. Model parçanın 2 parçalı olarak üretilmesinin sebebi takma işleminin dikiz aynası camdayken yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle tek parça olması mümkün değildir. Geçme işlemi tırnaklar sayesinde olmaktadır. Bu nedenle yazdırma işleminde tırnak hassasiyetleri önem arz etmektedir.

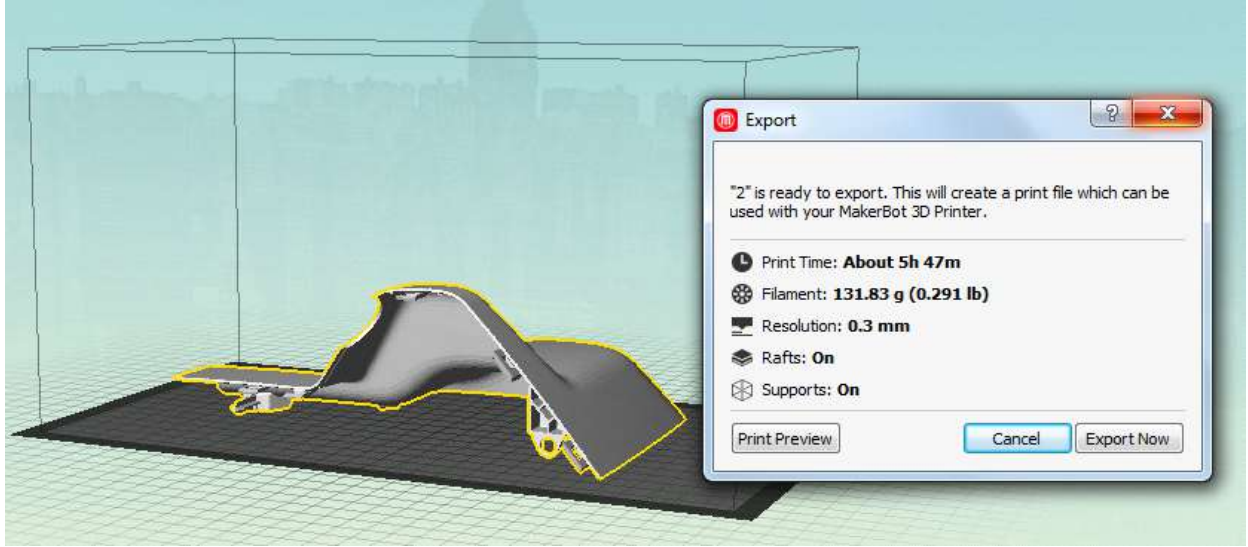




Şekil 11. Model1 Parçasının Yazdırma Parametreleri

Yazdırma Özellikleri: İlk parça makerware yazdırma program ile doluluk oranı %40, katman kalınlığı=0,3 mm, dilimleme honeycub, destek ve raft olacak şekilde tasarlanmıştır. Yazdırma sıcaklığı= 230 derece ve 1 parçanın yazdırma süresi=5 saat 45 dk ve kullanılan filament ağırlığı ise 130,38 gramdır Şekil 11'de program ortam menüsü görülmektedir.





Şekil 12. Model 2 Parçasının Yazdırma Parametreleri

Yazdırma Özellikleri: İkinci parça makerware yazdırma program ile doluluk oranı %40, katman kalınlığı=0,3 mm, dilimleme honeycub, destek ve raft olacak şekilde tasarlanmıştır. Yazdırma sıcaklığı= 230 derece ve 1 parçanın yazdırma süresi=5 saat 47dk ve kullanılan filament ağırlığı ise 131,83 gramdır. Şekil 12'de program ortam menüsü görülmektedir. İmalat sırasında farklı parametreler bakımından yazdırma işlemi yapılarak testler yapılacaktır.

5. Sonuç ve Öneriler

Otomotiv endüstrisi geleneksel üretim teknolojilerinin en fazla kullanıldığı sektörlerden biridir. Ancak son yıllarda 3 boyutlu yazıcılarla üretilen parçaların kullanımı araç içinde ve dışında gittikçe artmaktadır. Gün geçtikçe 3 boyutlu yazıcılar ile yapılan imalatın sonucunda malzeme ve işçilik maliyetlerinde önemli ölçüde iyileşmeler söz konusudur. Araç formunun yansıtılabileceği 3 boyutlu yazıcılar tasarlanarak imalatı yapıldığı takdirde, ilk ürün ve seviş edilebilen ürünler bakımından önemli avantajlar sağlanabilmektedir. Çalışma sonucunda araç iç gövdesinde kullanılmakta olan ve müşterinin isteği üzerine araca eklenen bir özellik olan yağmur sensörünün üzerini kapatmak için kullanılan ve geleneksel imalat yöntemi olan plastik enjeksiyon kalıbında PP%15Talc malzemeden üretimi yapılan parçanın uygun tasarımı yapılmış bir 3 boyutlu yazıcı ile ABS malzemeden imalatı hedeflenmiştir. Ticari araçlarda opsiyonel olarak kullanılmakta olan yağmur sensörünü kapatma görevi gören bu plastik parça temelde 1+1 gözlü enjeksiyon kalıbında sağ ve sol olarak üretilmektedir. Üretimi yapılacak olan 3 Boyutlu yazıcının ise çift nozzle'lı olması üretimi yapacağımız parçanın aynı anda sağ ve sol parçalarının basılmasını sağlayacaktır. 3B yazıcıda basılan parçalar daha sonraki süreçlerde plastik enjeksiyon kalıbından elde edilen parçalarla; malzeme dayanımı, yüzey kalitesi, imalat maliyetleri ve zaman gibi faktörler açısından karşılaştırılacaktır. Ayrıca araç içinde müşterinin temas ettiği plastik malzemelerin (A yüzeyi olarak adlandırılan desenli yüzeylerin) 3 boyutlu yazıcıdan direk alınabilir olması durumundaparçanın imalatının plastik enjeksiyondan, 3B yazıcı teknolojisinde üretime geçirebilir. Diğer taraftan çalışmanın ilerleyen aşamalarında 3 boyutlu yazıcıdan çıktı alınan ürün ile kalıptan çıkarılan ürün arasındaki analiz sonuçlarının karşılaştırılarak seri üretim gerektirmeyen opsiyonel parçalarda kalıp maliyetini indirmek amaçlı 3 boyutlu yazıcılarda üretilen ürünlerin kullanılması amaçlanmaktadır.

Referanslar

1. Ragan, S., 2013. Plastics for 3D printing. Make, 22.
2. Contos, D.A., Holdren, M.W., Smith, D.L., Brooke, R.C., Rhodes, V.L., Rainey, M.L., 1995. Sampling and analysis of volatile organic compounds evolved during thermal processing of acrylonitrile butadiene styrene composite resins. Journal of the Air & Waste Management Association 45, 686e694.
3. Bumgarner, B., 2013. Getting started with a 3D printer. Make, 12e16.
4. Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2012, Yıl 46, Sayı 541, Sayfa 24, Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi
5. Ragan, S., 2013. Plastics for 3D printing. Make, 22.
6. Weinhofer, E., 2012. 3D printing FAQ. Make. <http://makezine.com/magazine/makeultimate-guide-to-3d-printing/3d-printing-faqs/>, (accessed 12.07.13.).
7. Contos, D.A., Holdren, M.W., Smith, D.L., Brooke, R.C., Rhodes, V.L., Rainey, M.L., 1995. Sampling and analysis of volatile organic compounds evolved during thermal processing of acrylonitrile butadiene styrene composite resins. Journal of the Air & Waste Management Association 45, 686e694.
8. <http://3dprintertr.com/3d-printer-nedir/-2016>

ÇENE KEMİĞİ ONARIMINDA 3B YAZICIYA YÖNELİK OLARAK STL DOSYALARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Serap ÇELEN

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir/TÜRKİYE, serap.celen@ege.edu.tr

Özet

Üç boyutlu baskı teknolojileri medikal alanda kullanılabilecek katmanlı üretim yöntemleri sınıfına girmektedir. Bu çalışmanın amacı, kafatası kemiğine ait bilgisayarlı tomografi kaynaklı stl formatındaki veri dosyalarının üç boyutlu çene kemiği baskısı yapılabilecek formata getirilmesi ve yöntem basamaklarının sunulmasıdır. Bir bayan hastanın 326 adet hatalı bilgisayarlı tomografi verisi işlenmiş ve yeni bir üç boyutlu anatomik mandibula kemik modeli tasarlanmıştır. Çalışmada üç boyutlu baskı teknolojilerinin tam veya bölgesel çene kemiği kaybı yaşayan veya herhangi bir nedenle implant tedavisine ihtiyaç duyan hastalara yönelik faydalı bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: 3 boyutlu çene kemiği, Stl verileri, Bilgisayarlı tomografi

IMPROVEMENTS OF STL DATAS FOR MANDIBULAR BONE REGENERATION IN ORDER TO 3D PRINT

Abstract

3D printing technologies which can be used for medical field are classified into the additive manufacturing methods. The aim of the present study is to improve stl type-computerized tomography data files of skull bone in order to prepare a mandibular bone for 3D printing application and to give the stages of this process. 3D mandible was created using total 326 inaccurate tomography CT (computerized tomography) data taken from a female patient and a mandible model was designed. 3D printing technologies were emphasized as beneficial methods for patients who need treatment due to full or partial mandibular bone loss.

Keywords: 3D mandibular bone, stl datas, computerized tomography

1. Tarihsel Kemik Araştırmalarından Modern Üretim Teknolojilerine

Kaybedilen dişlerin yerine fildişi veya ahşap implantların kullanılmasına ait arkeolojik kanıtlar eski Mısır tarihi kadar eski zamanlara dayanmaktadır. Kemiğe ilişkin araştırmalar 1866 ve 1867 yıllarında Von Meyer ve Culmann çalışmaları ile başlamış, ve 1892 yılında Wolff'un mekanik verim, minimum kütle prensibini temel alan çalışmalarıyla sürmüştür [1-4]. İsveç'li ortopedi cerrahı Per Ingvar Branemark titanyum vidalar ile iyileşme süreçleri konusunda çalışmalarına 1950'lerin ilk yıllarında başlamıştır, çalışmaları modern dental ve ortopedik implantlara önemli bir temel oluşturmuştur [5]. Araştırmaları kemik ve titanyum implant arasında bir birleşmenin olabileceğini göstermiş ve "osteointegrasyon" kavramını ortaya koymuştur [6]. Branemark tarafından osteointegrasyon, "Canlı kemik ve yük taşıyıcı implant arasındaki yapısal ve fonksiyonel bir bağlantı olarak tanımlanmıştır. Bir biyomalzemenin kemikle etkileşiminde temel olarak iki durum oluşmaktadır; ilk olarak kemik dokusu ve kemik bileşenlerinin kimyasal etkileşimi ile bağlanması. İkinci olarak ortopedik ve dental implantların verimliliği için mekanik olarak kemik dokusu ve malzemenin yüzeyi arasındaki tam birleşme [5].

Başarılı bir implant tedavisi için implantın yerleştirilme bölgesi büyük önem taşımaktadır. Yumuşak dokunun kalitesi, miktarı ve morfolojisi, kemiğin kalitesi, miktarı ve morfolojisi, çekilen diş ve destek yapıların durumu, patolojinin varlığı ve estetik düşünceler tedavideki belirleyici faktörlerdir. Bu aşamada iki anatomik yapı önem taşımaktadır; implantın mezyal ve distalindeki papilin yüksekliğinde rol oynayan interproksimal alandaki alveol kretinin kemik yüksekliği-vestibüler kemik duvarının yüksekliği ve kalınlığı [7,8]. Sert ve yumuşak dokunun davranışı implant omzunun yerleşimine bağlı olduğundan doğru restorasyon bu noktada oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten implantın yerleşimi planlanırken, rahat ve tehlikeli bölgeler 3 boyutta tanımlanmalı ve implant boynunun tehlikeli bölgeye girmesi

engellenmelidir [7,8] Bu aşamada çene kemiğinin 3 boyutlu ve anatomik olarak tasarımı ve 3D baskı teknolojileri gibi imalat teknolojileri medikal alanda büyük önem kazanmıştır.

2. Çene Mekaniğinde Temel Matematiksel Yaklaşım

Bir sonlu eleman modelinin tanımlanmasında ilk adım, çene anatomik alan geometrisinin tanımlanmasıdır [9]. Kemik-implant arayüzündeki yük transferi çevreleyen kemiğin niteliği ve niceliği, yüklemenin tipi, implant veya protezin malzeme özellikleri, implantın geometrisi, uzunluğu ve çapı, implantın yüzey yapısı, kemik-implant arayüzünün özelliği gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [9]. Literatürde insan mandibulası için üç boyutlu lineer elastik Navier-Lamé denklemleri kullanılmıştır [10,11]. (Denklem 1, Denklem 2, Denklem 3)

$$-2\mu \operatorname{div} \epsilon(u) - \lambda \operatorname{grad} \operatorname{div} u = f \text{ } (\Omega \text{ içerisinde}) \quad (1)$$

$$(\lambda \operatorname{tr}(\epsilon(u))I + 2\mu \epsilon(u)) \cdot n = g \text{ } (\Gamma \text{ üzerinde}) \quad (2)$$

$$B \cdot u = d \text{ } (\Gamma_D \text{ üzerinde}) \quad (3)$$

Burada $u = (u_1, u_2, u_3)^T$ yerdeğiştirme vektörünü göstermektedir. Ve $\epsilon(u) := (\nabla u + (\nabla u)^T)/2$ ise şekil değiştirme tensörüdür. Bu denklemlerin kapalı olarak Denklem 4 ile ifade edilmektedir [10,11].

$$-\mu \nabla \cdot (\nabla u + (\nabla u)^T) - \lambda \nabla (\nabla \cdot u) = 0 \quad (4)$$

Hesapsal alanda $\Omega \subset \mathbb{R}^3$ 'ün Lipschitz alanında poligonal sınır Γ ile bağlı olduğu kabul edilmiştir. Neuman sınır koşulu $\Gamma_N \subset \Gamma$ ve Drichlet sınır koşulu $\emptyset \neq \Gamma_D \subset \Gamma$ şeklinde sırasıyla verilmiştir. λ ve μ ise Young modülü (E) ve Poisson oranı (ν) ile ilişkili Lamé sabitleridir ve sırasıyla takip eden denklemlerle ifade edilmektedirler[10,11].

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (6)$$

Aşağıdaki düzenlilik varsayımlarını uyarlırsak,

$$f \in [L^2(\Omega)]^3, B \in [L^\infty(\Gamma_D)]^{3 \times 3}, d \in [H^1(\Omega)]^3, \text{ ve } g \in [L^2(\Gamma_N)]^3$$

Öyleyse, $u \in [H^1(\Omega)]^3$ ve Γ_D üzerinde $B \cdot u = d$ ve tümü için $v \in V := \{v \in [H^1(\Omega)]^3 : B \cdot v = 0\}$ ve takip eden bir zayıf çözüm yazılır [9,10].

$$\int_{\Omega} \epsilon(v) : \epsilon(u) dx = \int_{\Omega} f \cdot v dx + \int_{\Gamma_D} g \cdot v ds \quad (7)$$

Burada ϵ mandibula trabeküler kemiği için tanımlanan izotropik malzeme tensörüdür. Voigt gösterimi (1928)

$\gamma(u) : [H^1(\Omega)]^3 \rightarrow [L^2(\Omega)]^6$ şeklinde tanımlanırsa, lineer Green şekil değiştirme tensörü,

$$\gamma(u) = (\epsilon_{11}(u), \epsilon_{22}(u), \epsilon_{33}(u), 2\epsilon_{12}(u), 2\epsilon_{13}(u), 2\epsilon_{23}(u))^T \quad (8)$$

olarak elde edilir ve aşağıdaki bağlantının kullanımıyla gerilme dağılımı elde edilir[10,11].

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{pmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{pmatrix} 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{23} \end{pmatrix} =: C\gamma(u) \quad (9)$$

Gerilme tensörünün bileşenleri için aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\epsilon(v): \varphi \in(u) = \gamma^T(v)C_\gamma(u) \quad (10)$$

Denklem 7’de yer değiştirmenin bir zayıf çözümü ve kabul edilebilir sınır koşulları için, Lax-Milgram Lemma ve Korn’un eşitsizliğinin varlığı ve eşsizliği yatmaktadır. Sonlu eleman yöntemi ise bu denklemin zayıf çözümü ile başlamaktadır. Von-Mises gerilme dağılımı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır[10,11].

$$\sigma_{\vartheta M} = \frac{1}{\sqrt{2}} [[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{13}^2)]^{1/2}] \quad (11)$$

Mandibula kortikal kemiği için, Kelvin (1856,1878) formülünün tensörel gösterimi kullanılabilir. Bunun için, Hooke kanununun anizotropik şekli denklem 12 ile hesaplanabilir[10,11].

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot E_{kl} \quad (12)$$

Denklem 12’de C_{ijkl} elastisite tensörünün bileşenleridir ve 6 boyutta doğrusal bir dönüşüm ile Voigt (1928) gösterimi ile denklem 13 şeklinde yazılabilir[10,11].

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ c_{13} & c_{23} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ c_{14} & c_{24} & c_{34} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ c_{15} & c_{25} & c_{35} & c_{45} & c_{55} & c_{56} \\ c_{16} & c_{26} & c_{36} & c_{46} & c_{56} & c_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Denklem 13’ün yeni bir vektörel gösterimi ile, σ ve $\varepsilon\sqrt{2}$ çarpıldığında, denklem 14 yazılabilir[10,11].

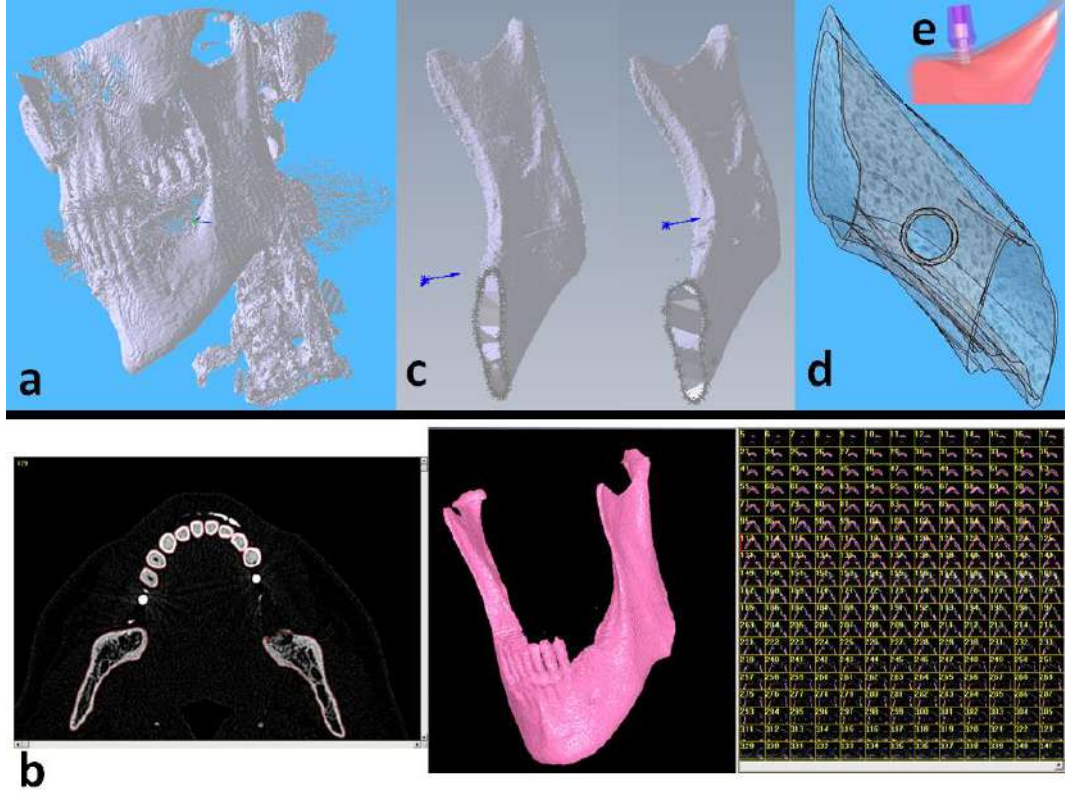
$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sqrt{2}\sigma_{23} \\ \sqrt{2}\sigma_{13} \\ \sqrt{2}\sigma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \sqrt{2}c_{14} & \sqrt{2}c_{15} & \sqrt{2}c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \sqrt{2}c_{24} & \sqrt{2}c_{25} & \sqrt{2}c_{26} \\ c_{13} & c_{23} & c_{33} & \sqrt{2}c_{34} & \sqrt{2}c_{35} & \sqrt{2}c_{36} \\ \sqrt{2}c_{14} & \sqrt{2}c_{24} & \sqrt{2}c_{34} & 2c_{44} & 2c_{45} & 2c_{46} \\ \sqrt{2}c_{15} & \sqrt{2}c_{25} & \sqrt{2}c_{35} & 2c_{45} & 2c_{55} & 2c_{56} \\ \sqrt{2}c_{16} & \sqrt{2}c_{26} & \sqrt{2}c_{36} & 2c_{46} & 2c_{56} & 2c_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \sqrt{2}\varepsilon_{23} \\ \sqrt{2}\varepsilon_{13} \\ \sqrt{2}\varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Denklem 14’de c matrisi elastik katsayı matrisi olarak adlandırılmaktadır[10,11]. Üç boyutlu çene modeli için sonlu eleman analizlerine temel teşkil edecek geometrilerin oluşturulması önem taşımaktadır.

3. 3 Boyutlu Yazıcı İçin Anatomik Çene Kemiği Tasarımı ve Analiz Altyapısı

Bir bayan hastanın kafatasına ait bilgisayarlı tomografi radyografik datalarından alınan hatalı ve yüksek boyutlu bilgilerin bir software programı aracılığıyla işlenmesi ve yeniden düzenlenmesi ile gerçek boyutlarda üç boyutlu bir mandibula kemiği elde edilmiştir. Stl datalarının iyileştirilme aşamaları ve 3D yazıcı için oluşturulan yeni çene kemiği Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1a’da tomografi verilerinden elde edilen stl dosyasına ait kafatası kemiğinin 3 boyutlu modeli görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere bazı hacimler karmaşık bir geometriye sahiptir ve model bu haliyle 3 boyutlu yazıcı altyapısına uygun değildir. Bu sebepten bir program yardımıyla 326 adet tomografi datası (katmanları) tek tek işlenmiş ve olması

gerekenkemik sınırları yeni çizgi ve eğrilerle tanımlanmış ve daha sonra ilgili sınırların birleştirilmesiyle yeni stl datasını içeren 3 boyutlu çene kemiği hacmi elde edilmiştir. (Şekil 1b,1c).



Şekil 1.3 Boyutlu Yazıcı İçin Anatomik Çene Kemiği Tasarımı İşlem Adımları, a) İşlenmemiş haldeki kafatası bilgisayarlı tomografi stl verisi, b) Her bir katman için kemik sınırlarının yeniden düzenlenmesi ve 3 boyutlu yazıcı için oluşturulan mandibula kemiğinin stl verisi, c) Mandibula kemiğinin dikey olarak dilimlenmesi ile çizilendikey kemik kesit geometrileri, d) Kesitlerin birleştirilmesi ile tasarlanan anatomik mandibular ve üzerinde implant boşluğu, e) İmplantın çene kemiği kesit modeline yerleştirilmesi ile elde edilen model [12,13]

Elde edilen çene kemiği modelinin dikey olarak dilimlenmesi ile anatomik boyutlarda değişken kesitli ve maksimum 9,5 mm genişliğinde, ve 31,84 mm yüksekliğinde bir kortikal kemik 8 mm genişliğinde, ve 30 mm yüksekliğinde ikinci premolar kesitini gösteren bir trabeküler kemikten oluşan mandibula kesiti modellenmiştir. [12]. (Şekil 1d) İmplantolojide çene kemiklerinin özelliklerini (volumetrik, densiyometrik özellikler) temel alan Lekholm-Zarb (1985) ve Cawood-Hovel (1998) olmak üzere iki tane sınıflama sistemi kullanılmaktadır [14,15]. Sonlu eleman modeli için Lekholm-Zarb sınıflandırma sistemine uygun bir 2. kalite kemik modeli mandibula simülasyonu için seçilmiştir. Mandibula kesiti bir implant ilavesiyle ikinci bölümde temel matematiksel deklemleri verilen sonlu eleman analizine tabi tutulmuştur. Bu amaçla 4 mm çapında, 14,5 mm uzunluğunda yeni bir vidalı implant modeli tasarlanmıştır. İmplant kortikal ve trabeküler kemik içerisine yerleştirilmiştir. Sonlu eleman analizinde, kortikal kemik için kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri için Dechow'un mandibula mekaniği üzerine yaptığı çalışması temel alınmıştır [16, 17]. Düzlemsel yönde oluşabilecek ortalama ısırma kuvveti simülasyonunun gerçekçi olması açısından, lingual yönde 15 N, eksenel yönde 150 N ve mezyodistal doğrultuda ise 5 N'luk kuvvet uygulanmıştır. Bu bileşenler okluzal düzlemde 150.8 N'luk ısırma kuvvetine karşılık gelmektedir [12] (Şekil 1e).

Bu makalede, 3 Boyutlu yazıcı için anatomik çene modelinin tasarımına öncelik verildiğinden yapılan sonlu eleman analiz sonuçlarının detayına girilmemiştir, ancak bulgular irdelendiğinde, denklem 14'e göre implant içerisindeki normal gerilme 160 MPa civarında iken, kortikal kemikteki normal gerilme 40 MPa'ı ve dolayısıyla da kayma gerilmeside 20 MPa'ı aşmamaktadır. Kemik sağlığı ve implantın ömrü açısından en riskli bölgenin implant boyun kısmı ile kortikal kemik temas alanında olduğu görülmüştür [12,13]. Literatürde kemiğin fonksiyonlarını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesi açısından sağlıklı kemik gelişimi için 1,8-2,8 MPa gerilme aralığı ve maksimum kayma dayanımının 60 MPa'ı aşmaması gerektiği bildirilmiştir [18, 19, 20]. Bu bakımdan sonlu eleman analizi sonuçları gerçek klinik duruma yakın sonuçlar vermiş ve kortikal kemikteki gerilme uygun sınırlar içerisinde bulunmuştur. Sonuç olarak stl verileri iyileştirilen ve

yeniden tasarlanan çene kemiği modelinin 3 boyutlu yazdırılmaya uygun anatomik bir model olduğu görülmüştür.

4. Sonuçlar

Özet olarak, 3B üretim teknolojileri;

- Tam ve bölgesel kemik kaybının üretimi gerçekleştirilebilecek yapay kemik ile yenilenmesi.
- Elde edilen modellerle her alanda kullanılabilecek analiz altyapısının oluşturulması.
- Diş kaybı yaşayan hastalarda kendi çene kemiği yapılarına uygun butik implant veya destek protezi imalatına imkan sağlaması bakımından gelecek vadede imalat yöntemleridir.

Referanslar

1. Culmann, K., Die Graphische Statik, Zurich: Verlag von Meyer & Zeller, 1866.
2. Meyer, G.H., Die Architectur der Spongiosa, Reichert und Du Bois-Reymond's Archiv, 8, pp. 615–628, 1867.
3. Skedros, J.G., Brand, R.A., Biographical sketch :Georg Hermann von Meyer (1815-1892), Clinical Orthopaedics and Related Research, 469,11, pp. 3072-3076, 2011.
4. Wolff, J., Das Gesetz der Transformation der Knochen, Berlin: Verlag von August Hirschwald, 1892.
5. Branemark, P.I., Hansson, B.O., Adell, R., Breine, U., Lidstrom, J., Hallen, O., Ohman, A., Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw, Scand J Plast Reconstr Surg, 11, pp. 1-8, 1977.
6. Hao L., Lawrence J., Laser Surface Treatment of Bio-Implant Materials, John Wiley and Sons Ltd, 2005.
7. Bilhan, H., Sülün, T., İmplantlarda Erken Krestal Kemik Rezorpsiyonu ve Oklüzyonun Önemi Diş Hekimliğinde Klinik, 17, pp.58-66, 2004.
8. Bilhan, H., Mumcu, E., Bilgini H., Diş Çekimi Sonrası Hemen İmplantasyon ve Hemen Yükleme Protokolü: Derleme ve 2 Vaka Bildirisi Diş Hekimliğinde Klinik, 20, pp. 87-97, 2006.
9. Geng, J., Yan, W., Xu, W., Application of the finite element method in implant dentistry, Springer Verlag, 2008.
10. Kober C., Erdmann B., Lang J., Sader R., Zeilhofer H.F., 2004, Adaptive Finite Element Simulation of the Human Mandible Using a New Physiological Model of the Masticatory Muscles, Kondrad-Zuse Zentrum für Informationstechnik, Proceedings of the 75th Annual Meeting of the GAMM, Technical University of Dresden, 2004.
11. Kober C., Erdmann B., Sader R., Zeilhofer H.F., Simulation of the Human Mandible: Comparison of Bone Mineral Density and Stress Strain Profiles due to Masticatory Muscles' Traction, Kondrad-Zuse Zentrum für Informationstechnik, Proceedings of the 10th Workshop, The Finite Element Method in Biomedical Engineering, Biomechanics and Related Fields, Ulm, 2003.
12. Çelen S., Lazer yüzey yapılandırılması ile oluşturulan titanium implant yüzeylerinin mekanik ve morfolojik analizleri, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2011.
13. Çelen, S., Mathematical principle of cellular accommodation, (Mathematischer Grundsatz der zellulären Aufnahme mittels), Mat.-wiss. u. Werkstofftech., 47, No. 2–3, 2016, Baskıda.
14. Lekholm, U., Zarb, G., Patient selection and preparation. (Branemark P.I., Zarb G., Albrektsson T., editors.) Tissue-integrated prostheses. Osseointegration in clinical dentistry. Chicago: Quintessence, pp. 199-209, 1985.
15. Cawood, J.I. and Howell, R.A., Reconstructive preprosthetic surgery, Int J Oral Maxillofac Surg, 20, pp. 75–82, 1988.
16. Dechow, P.C., Hylander, W., Elastic Properties and Masticatory Bone Stress in the Macaque Mandible American Journal of Physical Anthropology, 112, pp. 55-574, 2000.
17. Dechow, P.C., Nail, G.A., Schwartz-Dabney, C.L., Asman, R.B., Elastic properties of human supraorbital and mandibular bone, Am Phy Anthropol 90, pp. 291-306, 2000.
18. Rieger M.R., Adams W.K., Kinzel G.L., A finite element survey of eleven endosseous implants, J. Prosthet. Dent. 63, 4, pp. 457-465, 1990.
19. Hassler C.R., Rybicki E.F., Cummings K.D., Clark L.C., Quantitation of Compressive Stress and its Effects Upon Bone Remodeling [proceedings], B. Hosp. Bone Joint Res., 38, pp. 90-93, 1977.
20. Chou, H-Y., Jagodnik J.J., Müftü S. Predictions of Bone Remodeling Around Dental Implant Systems, J. Biomech, 41, pp. 1365-1373, 2008.

KİŞİYE ÖZEL İMPLANT TASARIMLARININ 3 BOYUTLU YAZICILARLA ÜRETİLMESİ

Mustafa KARAGÖZ^a, Afşın Alper CERİT^b

a, ERU Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Kayseri/TÜRKİYE, mustafakaragoz@erciyes.edu.tr
b, ERU Mühendislik Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Kayseri/TÜRKİYE, acerit@erciyes.edu.tr

Özet

Sağlık, biyomedikal ve diş hekimliği sektörlerinde mühendislik, tasarım ve üretim uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Bu uygulamalarla birlikte tedavi süreci hızlanmakta, ameliyatların daha başarılı olması sağlanmaktadır.

Bu bildiride; kişiye özel implant tasarım ve üretim süreçleri birlikte ele alınmıştır. Vücutta zarar gören organ veya kemiklerin Üç Boyutlu (3B) ortamda tespit edilmesi, modellenmesi, görüntü işleme süreçlerinin incelenmesi ve implant tasarımında kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. Örnek olarak seçilen bir hastadan alınan Bilgisayarlı Tomografi (BT) verilerinin incelenip, hastaya özel kafatası implant tasarımı yapılması ve DMSL aracılığıyla nasıl üretildiği hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kişiyeye özel implant tasarımı, 3B yazıcı, Biyomedikal

PRODUCTION OF PERSONEL IMPLANT DESIGNS WITH A 3D PRINTER

Abstract

Implementations of engineering, designing and production in health, biomedical and dentistry sectors are increasing day by day. With these implementations, process of treatment gets faster and more successful.

In this research, personal implant design and its production stages are examined together. The research gives information about the determining the hurt organs or broken bones in a 3-dimensional platform, examination of image processing stages and materials that are used in implant designing. You can also find detailed information about how to design a skull implant to a patient whose computertomography data is taken voluntarily and also how to print out the designed implant from a 3 dimensional printer.

Keywords: Personal implant design, 3D printing, Biomedical

1. Giriş

Kişiyeye özel implantların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. İlk olarak 1982 yılında diş hekimliği alanında ticari olarak piyasaya sunulan implantlar günümüzde tıp, biyomedikal ve sağlık alanlarında da kullanılmaya başlamıştır [1]. Eklemeli imalat yöntemlerinde meydana gelen gelişmelerle birlikte kişiyeye özel tasarlanan implantların imalatı bu gelişmelere paralel olarak kolaylaşmıştır. Özellikle 3B yazıcıların imalat sektörüne girmesiyle beraber kişiyeye özel implant tasarımlarının üretimi hızlanmış, üretim maliyeti düşmüştür.

Kişiyeye özel implant tasarımı [2]:

- Ameliyat süresinin kısılmasını sağlar,
- Detaylı, hassas çalışmalarının yürütülmesini sağlar,
- 3 boyutlu hasta geometrileri kullanılarak en uygun tedavi yöntemini seçmeyi sağlar,
- Standart implantlara göre vücuda daha uyumludur,
- Gerilme dağılımı analizi yapılarak implant ömrünün artırılmasını sağlar,
- Hastanın iyileşme süresini kısaltır.

2.Yöntem

Bu çalışmada Şekil 1' de tanımlanmış adımlar takip edilmiştir. Bu sıralamaya göre önce bir hastadan alınan (BT) verileri kullanılmıştır. Bu veriler Materialise Mimics® yazılımı kullanılarak işlenmiş ve hasta anatomisine uygun bir şekilde implant tasarımı yapılmıştır. Materialise Mimics® yazılım paketiyle birlikte gelen 3-matic® yazılımı kullanılarak tasarım üzerinde düzenlemeler yapılmıştır. Son halini alan implant

tasarımının katı modeli oluşturulmuştur. STereoLithography (STL) formatında kaydedilen kişiye özel implant tasarımı 3B yazıcılarla üretime hazır hale getirilmiştir.

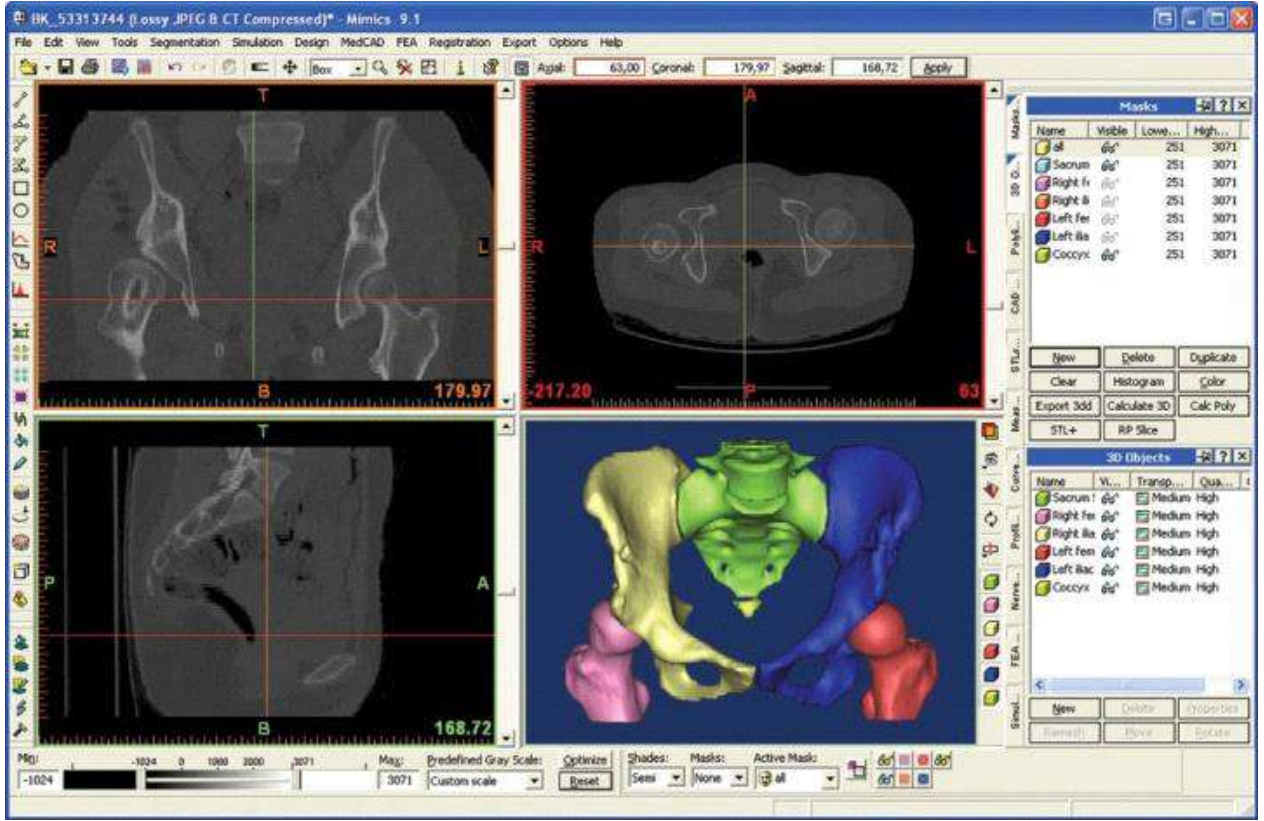


Şekil 1. Kişiye Özel İmplant Tasarımı ve Üretim Aşamaları

3. Deneysel Uygulama

Bu uygulamada kafatasında deformasyon görülen örnek bir hastadan alınan tomografi verileri kullanılmıştır. Bu veriler sadece araştırma yapmak isteyenlerin kullanımına açık olan bir web sitesinden alınmıştır [3]. Alınan bu verileri işlemek için görüntü işleme yazılımlarından olan Mimics® yazılımının lisanslı deneme sürümü kullanılmıştır (Şekil 2). Bu yazılım, BT verilerini işlemeye, verileri 3B hale getirmeye ve veriler üzerinde değişiklikler yapmaya imkan sağlamaktadır. Mimics yazılımıyla [2];

- Hem iki boyutlu görüntüler hem de doğrudan üç boyutlu model üzerinde mesafe, açı, çap ve yoğunluk ölçümleri yapılabilecek,
- Duvar Kalınlığı, Parça Karşılaştırma veya kurvatür gibi, gelişmiş geometrik analizleri,
- Damar Orta Çizgisi; atardamarların, toplardamarların veya hava yolu çapları ve tortusite hesaplamaları gibi daha özel ölçümler yapılabilecek,
- Kişiye özel, kendi antropometrik analizleri kullanarak yinelenen ölçümler yapılabilecek,
- İstatistiksel analizler için ölçümler export edilebilecek,
- En karmaşık ölçümleri ve analizleri kolaylaştıran, yapı geometrileri tasarlanabilecektir.



Şekil 2. Mimics Yazılımı Arayüzü

4. Biyomalzemeler

Biyomalzemeler tıbbi uygulamalarda kullanılan, doku ve organlarla uyumlu malzemelerdir [4]. Vücudun kabul ettiği malzemeler biyoyumludur ve biyomalzeme olarak adlandırılır. Ancak tüm biyomalzemeler vücudun her yerinde aynı etkiyi göstermezler. Dolayısıyla, biyomalzeme ile implant takılacak bölgedeki doku uyumuna dikkat edilmelidir. Seramikler, metal alaşımlar, kompozit malzemeler biyomalzeme olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin biyoyumlu olmasının yanında mekanik özellikleri (akma, çekme dayanımları vs.) de malzeme seçiminde önemli rol oynamaktadır. Kişiye özel implant uygulamalarında kullanılan en ideal biyomalzeme titanyum ve titanyum alaşımlardır. Bu bildiride tasarlanan ve üretilmesi planlanan implant için Ti-6Al-4V kullanılacaktır. Ti-6Al-4V diş hekimliği ve tıp alanında en yaygın kullanılan metal alaşımdır [5].

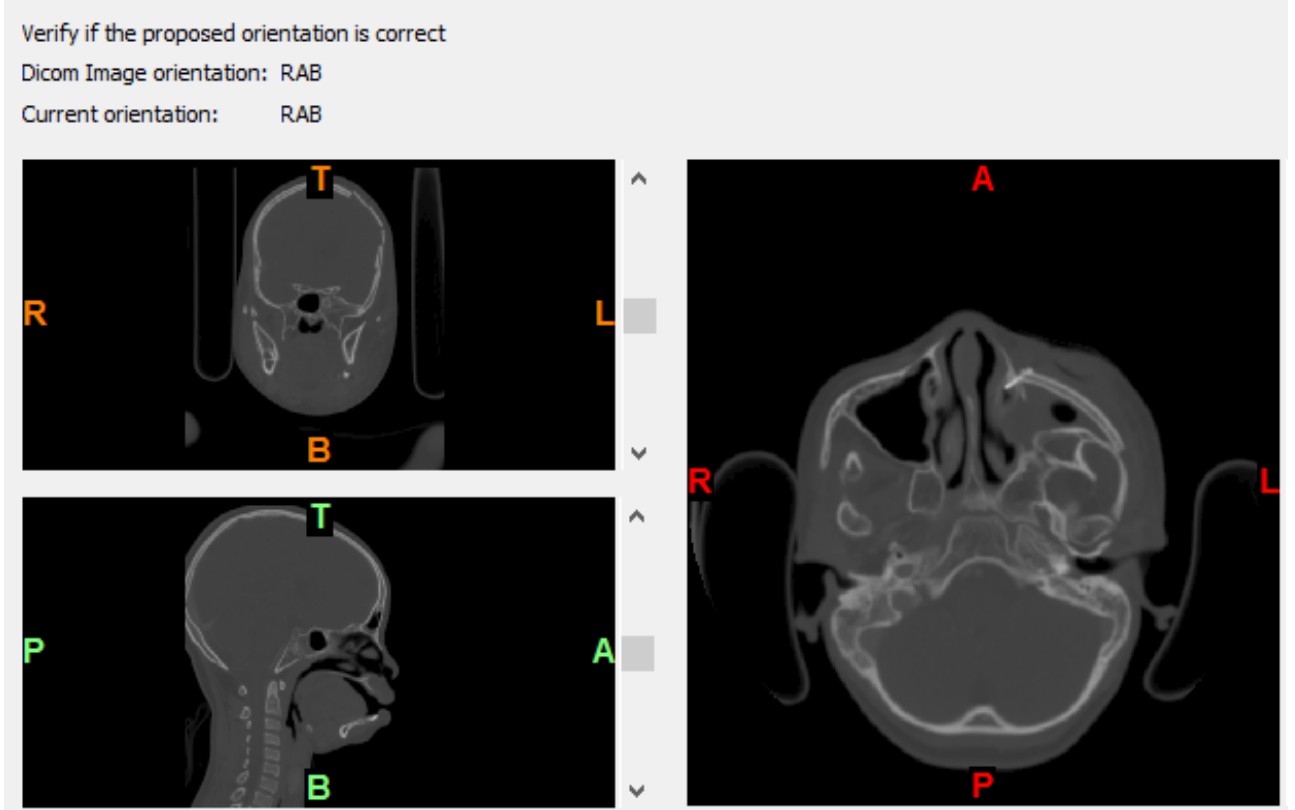
Ti-6Al-4V kullanım sebepleri:

- Biyoyumluluk
- Yüksek dayanım, sağlamlık
- Korozyona ve aşınmaya karşı dayanımının yüksek olması

5. Tasarım ve Prototip Aşaması

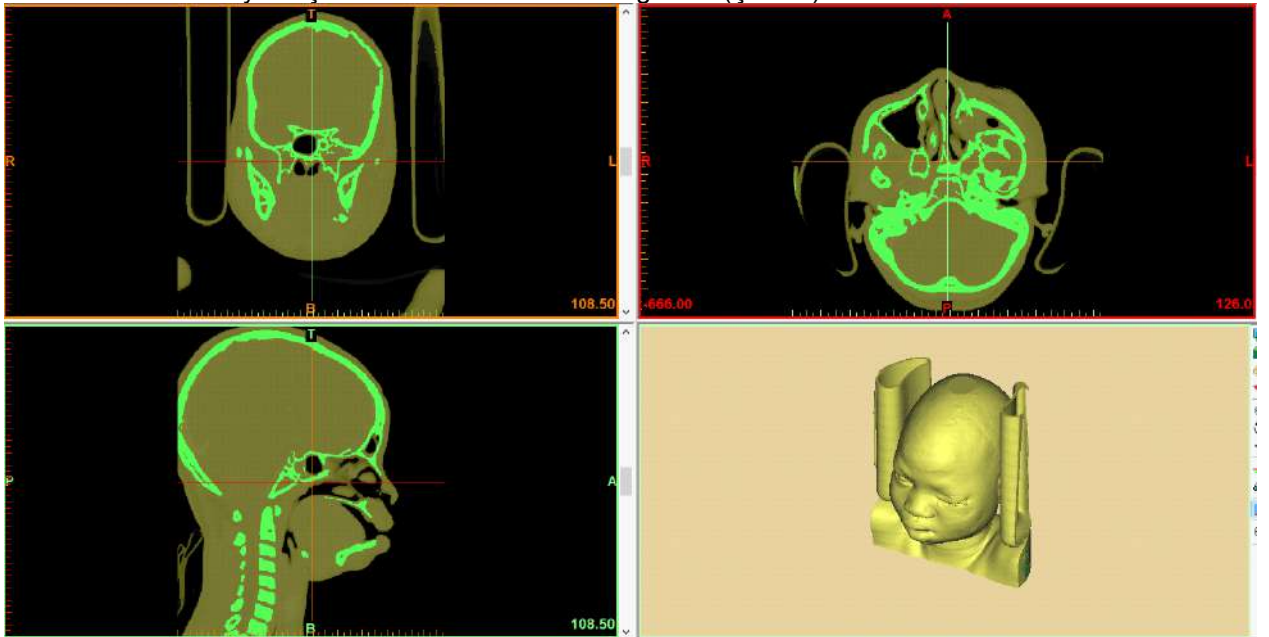
Kişiye özel implant tasarımı beş aşamadan oluşmaktadır:

- İlk aşamada hazır bulunan DICOM dosyaları Mimics yazılımı içerisinde bulunan New Project wizard komutuyla aktarılır (Şekil 3).



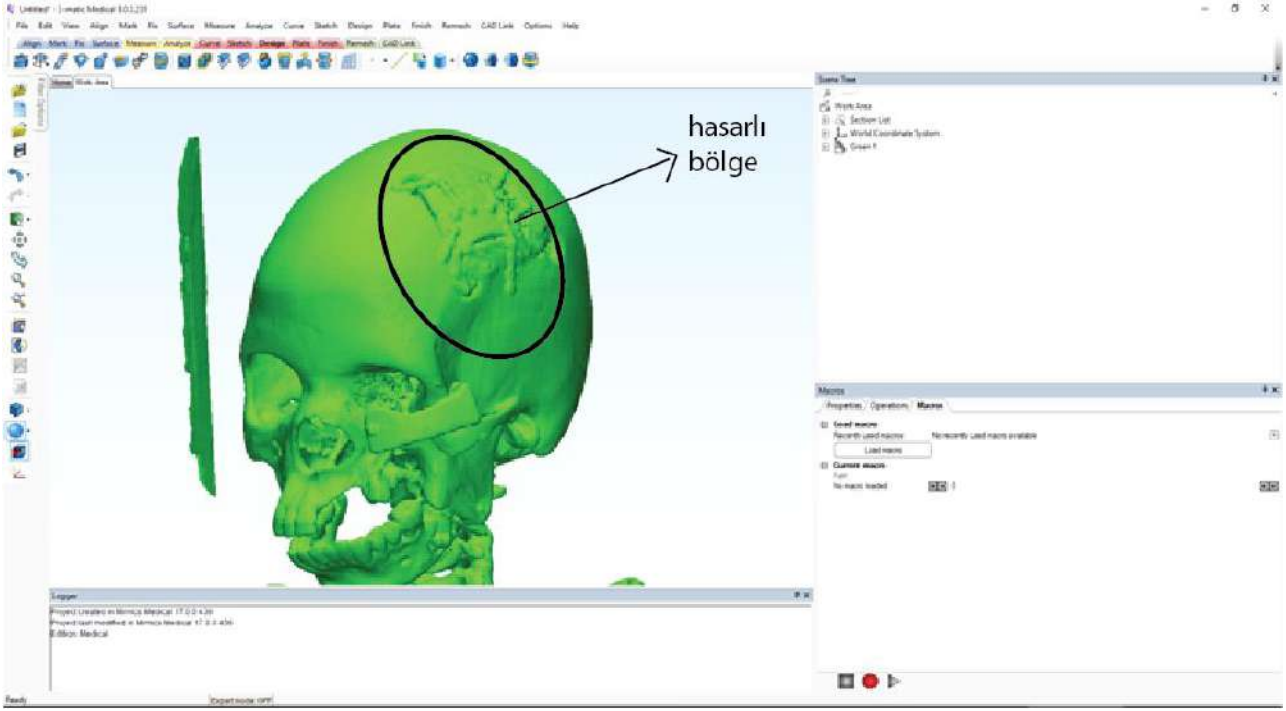
Şekil 3. Mimics Yazılımına Veri Aktarımı

- Aktarılan veriler mimics yazılımında iki boyutlu (2B) halde görüntülenir. New mask komutu kullanılarak yumuşak ve sert dokular 3B hale getirilir (Şekil 4).



Şekil 4. Verilerin 2 Boyutlu Halde Görüntülenmesi

- İmplant yapılacak bölge belirlenir. Yazılım içerisinde bulunan 3 matic-design komutuyla 3B görüntü 3-matic yazılımına aktarılır (Şekil 5).



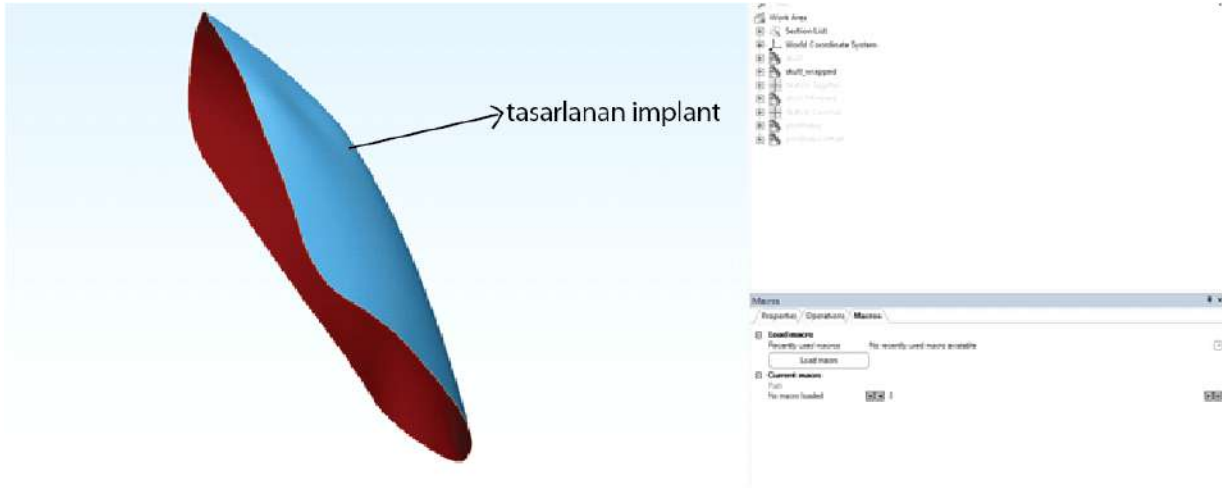
Şekil 5. 3B Görüntünün 3-Matic Yazılımına Aktarımı

- 3-matic yazılımı içerisindeki curve komutu kullanılarak implant yapılacak yüzey belirlenir. New sketch komutu kullanılarak istenilen implant çizimi yapılır. Diğer bir yöntemde ise; kafatasının sağ ve sol kısımlarının simetri olması özelliği kullanılarak, zarar görmemiş kısım mirror komutuyla implant yapılacak bölgeye aynalanır. Böylece kafatası geometrisine birebir uyumlu implant geometrisi elde edilir. İki yöntem de implant tasarımı için kullanılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Kişiyeye Uygun İmplant Geometrisi

- Tasarlanan implantın istenilirse sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılabilir. Son olarak CAD modeli oluşturulan implant STL formatında kaydedilerek 3B yazıcıdan üretilebilir hale getirilir (Şekil 7).



Şekil 7. Üretime Hazır Kişiyi Özel İmplant Geometrisi

6. İmalat Yöntemi

İmalata uygun tasarımı yapılan implantların üretim süreçlerinde eklemeli imalat, elektron ışını ile ergitme (EBM), toz metalurjisi ve talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Kişiyi özel implant üretiminde kalıp maliyetinin olmaması, yüksek hassasiyet, ekonomiklik, zamandan tasarruf ve kolay üretilebilirlik gibi parametreler üretim yöntemini belirleyici rol oynamaktadır. Bu parametreler göz önüne alındığında kişiyi özel implant üretimi için en uygun imalat yöntemi eklemeli imalat yöntemidir.

Eklemeli imalat yönteminde kullanılan en yaygın malzemeler [6]:

- fotopolimer reçine (SLA)
- polimer (SLS)
- toz (SLS,SLM ve EBM)

6.1. Eklemeli İmalat(Hızlı Prototipleme) Yöntemi

Eklemeli imalat 3B CAD dosyası üzerinden doğrudan yapılan imalat yöntemidir. Parça modeli birçok yazılım kullanılarak tasarlanabilir. Önemli olan tasarlanan parçanın STL formatında kaydedilip üretime hazır hale getirilmesidir [7]. Bu yöntem de tasarlanan parçalar, yüzeylerin katman katman inşa edilmesiyle oluşturulur [8]. Şekil 8.'de implant tasarımı için eklemeli imalat yönteminin aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 8. Eklemeli İmalat Yöntemi

Eklemeli imalat cihazları kullandıkları yöntemlere göre beş ana başlıkta toplanır [9].:

- FDM (Fused Deposition Modelling)
- SLA (Stereolithography)
- SLS (Seçici Lazer Sinterleme)
- DMLS (Doğrudan Metal Lazer Sinterleme)
- Polyjet

İmplant üretiminde en çok tercih edilen yöntem DMLS'dir.

6.1.1. Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS)

DMLS yöntemi CAD verilerinden tamamen işlevsel metal parçaları oluşturur. Bunun için, toz metaller ve yüksek voltajlı lazer kullanılır [9]. Bu yöntemle; alüminyum, paslanmaz çelik ve titanyum gibi metal tozlar lazerle ergitilip birbirine kaynaştırılarak istenilen ürünün üretilmesi sağlanır. Üretilen parçalar, ısıya ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Bu yöntemle üretim, tıp sektöründe, implant üretiminde ve havacılık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. DMLS Yöntemiyle Üretilmiş Parçalar [2].

7. Sonuç

Örnek olarak seçilen bir hastadan alınan BT verileri mimics yazılımı kullanılarak 3B hale getirilmiştir. 3-matic yazılımı kullanılarak hastanın kemik yapısına en uygun implant tasarımı yapılmıştır. Tasarım yapılırken implant geometrisinin pürüzsüzlüğü, mukavemeti, korozyona karşı dayanımı gibi faktörler göz önüne alınmıştır. Biyouyumlu malzemeler kullanılarak tasarlanan implantın vücutla uyumlu olmasına dikkat edilmiştir. STL formatında kaydedilen implant CAD modelinin Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) metoduyla üretilbildiği anlaşılmıştır.

Referanslar

1. Topkaya T., (2013). Dental implant destekli protezlerde implant sayısının ve yerleşim şeklinin sonlu elemanlar metoduyla analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
2. www.4cmedikal.com.tr
3. <http://www.osirix-viewer.com/datasets/>
4. Tathe A., Ghodke M., Nikalje A. (2010). A Brief Review: Biomaterials and their Application, International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences
5. D.D. Deligianni, N. Katsal, S. Ladas, D. Sotiropoulou, J. Amedee, Y.F. Missirlis (2001). surface roughness of the titanium alloy Ti-6Al-4V on human bone marrow cell response and on protein adsorption.
6. Brennan, J. (2010). Production of Anatomical Models from CT Scan Data
7. Vojislav Petrovic, Juan Vicente Haro, Jose Ramón Blasco and Luis Portolés, (2012). Additive Manufacturing Solution for Improved Medical Implants
8. Özüğür, B. (2006). Hızlı Prototipleme Teknikleri İle Kompleks Yapıdaki Parçaların Üretilirliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
9. <http://www.stratasys.com/>

FARKLI ORANLARDA AHŞAP TOZU-PLA KARIŞIMI İÇEREN FİLAMENTLERİN ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Ebru GÜRBÜZ, Murat AYDIN, Özkan ÖZ, Suat ALTUN

a, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE, ebrugurbuz@hotmail.com, murataydin@karabuk.edu.tr, ooz@karabuk.edu.tr, saltun@karabuk.edu.tr

Özet

3B yazıcılar günümüzde imalat ve tasarım alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan hızlı prototipleme teknolojisidir. 3B yazıcılarda filament olarak çeşitli termo plastik malzemeler kullanılmakta olup, geri dönüştürülebilen bir biyo plastik olan PLA malzeme yaygın olarak tercih edilmektedir. Günümüzde filament malzemesi olarak sadece termo plastik malzemeler yerine ahşap, metal veya seramik takviyeli filamentler tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, ağırlıkça %10 ve %15 oranında ahşap tozu takviyeli PLA kompozit filament vidalı ekstrüder kullanılarak üretilmiştir. Üretilen filament kesitleri optik mikroskop ile incelenerek, ahşap tozunun dağılımı belirlenmiştir. Ahşap tozlarının PLA matris içerisinde homojen bir dağılım göstermesi için, tekrarlı ekstrüzyon yöntemi kullanılmıştır. Tekrarlı ekstrüzyon yöntemi ile üretilen filamentlerden rastgele seçilen bölgelerdeki ahşap dağılımları incelendiğinde, ahşap tozu parçacık boyutlarının tekrarlı ekstrüzyon yöntemi kullanılmasıyla giderek küçüldüğü, başlangıçtaki ahşap tozu boyutlarının, yaklaşık %98 oranında küçüldüğü belirlenmiştir. Ahşap tozunun filamentlerde takviye elemanı olarak kullanılmasıyla, geri dönüştürülebilen, çevreye duyarlı 3B yazıcı filamentlerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Filament, PLA, Ekstrüder, Ahşap tozu, Kompozit

INVESTIGATING PRODUCTION OF PLA-WOOD POWDER FILAMENTS CONTAINS DIFFERENT WOOD POWDER

Abstract

Nowadays, 3D printers which are rapid prototyping technique have widely become to use in manufacturing and design industries. Various thermo plastic materials are used in 3D printers as filament materials. PLA that is a bioplastic material is widely used as filaments. Recently, composite filaments that have supportive material such as wood, metal or ceramic particles have been preferred instead of thermo plastic filaments. In this study, composite filaments which have the concentration of wood particles are 10 and 15 weight percent of PLA are produced using screwed extruder and produced filaments are investigated with optical microscope in order to determine the distribution of wood particles. Repetitive extrusion method was carried out on the purpose of gaining homogenous wood particles distribution in PLA matrices. When randomly selected areas from repetitive extruded filaments surface are examined, the sizes of wood particles are decreased approximately 98 percentages. Recyclable and environment friendly 3D printer filaments were produced by means of adding wood particles into filaments.

Keywords: Filament, PLA, Extruder, Woodparticles, Composite

1. Giriş

Hızlı prototipleme özellikle, imalat sanayi ve tasarım işlemlerinde son yıllarda gelişen teknoloji dalıdır. Günümüz teknolojik olanaklarıyla, ev ortamında veya endüstride hızlı prototipleme yöntemleri ile bireysel tasarımların üretimi yapılmadan önce somut olarak test edebilmek mümkündür. Hızlı prototipleme yöntemlerinden FDM (Fused Deposition Modelling-Ergiyik Yığılma Modelleme) yöntemini kullanarak parça veya ürün üretmekte kullanılan 3 boyutlu yazıcılar bu alanda yaygındır.

3B yazıcılar, CAD ortamında oluşturulan modellerin kullanılarak, metal, polimer veya kompozit malzemeleri katmanlar halinde birleştirerek fiziksel modeller üretebilen makinelerdir. Yazıcıların yazdırma kafası içerisine iletilen termoplastik malzeme, ergime sıcaklığına kadar ısıtılarak ergiyik hale getirilir. 3B yazıcı kafasının uç kısmında yer alan nozul yardımıyla, tasarlanan geometri katmanlar halinde yazdırılır. 3B yazıcılarda kullanılan termoplastik malzemeler oldukça sınırlıdır. Endüstride yaygın olarak

akrilonitrilbutadiyensitren (ABS) ve polilaktikasit (PLA) malzemeler, düşük ergime sıcaklıkları ve geri dönüştürülebilir malzemeler olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Bu termoplastik malzemelerin dayanımlarının düşük olması ve yazdırılan parçaların son ürün olarak kullanım alanlarının sınırlı olması, takviyeli plastik malzemelerin filament olarak kullanımı ihtiyacına sebep olmaktadır.

Günümüzde takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde plastik malzemeye ahşap veya metal tozları gibi takviye elemanlarının ilave edilmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Plastik malzemelerin doğada yok olmaması ve çevre kirliliğine neden olmasından dolayı, bu malzemelerin geri dönüştürülerek farklı alanlarda kullanımı birçok sektörde yapılmaktadır. Plastik malzemelerin ahşap takviyesi eklenerek kompozit malzeme üretimi ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar yer almaktadır.

Kaymakçı v.d., ahşap polimer kompozitlerin dış cephe kaplaması olarak kullanımı ve bunun ekolojik yönden faydaları üzerine çalıştılar. Ahşap polimer kompozitlerin üretiminde kullanılan plastiklerin hidrofobik yapıya sahip olmasından dolayı, neme karşı dirençlerinin arttığını, bakım maliyetlerinin düştüğünü, boyutsal stabilitelerinin olumlu yönde değiştiğini belirttiler. Polimer matris ile ahşap tozu arasındaki kimyasal bağın vehomojen karışımlarının iyi bir şekilde sağlanması, ayrıca ilave edilecek çeşitli katkı maddelerinin bağlanma kabiliyetlerini arttırdığını gösterdiler[1].

Özmen v.d., MDF atıklarının, odun-plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi üzerine çalıştılar. Orman endüstrisinin ve mobilya fabrikalarının üretim sürecinde oluşan lif levha atıklarının odun-plastik kompozitlerinde odun unu yerine kullanımı sağladılar. Odun-plastik kompozit malzemelerinin üretiminde, matris malzemesi olarak Polipropilen'i (PP) seçtiler. Çalışmalarında, %10'dan %50'ye kadar farklı oranlarda lif levha atık unu ekleyerek çift vidalı ekstrüder yardımıyla pelletler ve ASTM D4703-10 standartında sıcak pres kalıplama yöntemi ile kompozit malzemeler ürettir. Ürettikleri kompozit malzemelere sırasıyla, çekme, eğme ve darbe testlerini uyguladılar. Yaptıkları deneyler sonucunda, lif levha unu oranının artmasıyla, kompozit malzemelerin çekme ve darbe dayanımlarının düştüğünün belirlendi. Ayrıca, lif levha unu takviyeli kompozit malzemelerin elastisite modülü ve eğme dayanım değerlerinin, plastik keresteler için ASTM D 6662 standardında belirtilen değerlerin çok üstünde olduğunu, plastik kereste kullanım alanlarında kullanılabileceği sonucuna ulaştılar[2].

Şahin, antep fıstığı kabuklarından kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalıştı. Çalışmasında, antep fıstığı kabukları ve uçucu kül takviyeli kompozit malzeme üretti. Antep fıstığı kabuklarının eklenmesinde bağlayıcı olarak ve su absorpsiyonunu en aza düşürmek için üre-formaldehit ve fenol-formaldehit kullandı. Kompozit malzemenin yanmazlık özelliğini geliştirmek için uçucu külü ekledi. Antep fıstığı kabuklarını kırarak parçacıklara ayırdı ve değişik oranlarda üre-formaldehit kullanarak 600°C'lik etüvde 24 saat bekleterek numuneler hazırladı. Hazırladığı numuneleri üç noktadan eğme testine tabi tuttu. En yüksek eğme direncini %50'lik üre-formaldehit bağlayıcı ile 1.45 N/mm² olarak ve optimum değer olarak % 50'lik üre-formaldehit ve 60gr dolgu maddesi olarak belirledi. Yanma geciktirici olan uçucu külün %10 oranında ilave edilmesiyle en iyi sonucu elde etti. Su emme kapasitesini düşürmek amacıyla %60 oranında fenol-formaldehit ile en düşük su absorpsiyon seviyesini sağladı[5].

Karakuş v.d., termoplastik esaslı polimer kompozitlerin üretilmesinde, orman budama atıklarının değerlendirilmesi üzerine çalıştılar. Çalışmalarında termoplastik malzemeye %40 oranında orman budama atıklarının katılmasıyla üretilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerini ve budama atıklarının etkisini incelediler. Termoplastik polimer olarak düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve polilaktik asit (PLA) kullandılar, kompozit malzemeleri ise ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemi ile ürettir. Ürettikleri kompozit malzemelere çekme, eğme ve darbe testleri uyguladılar. Deney sonuçlarından, PLA matrisli kompozit malzemenin çekme dayanımının orman budama atıkları ilave edilmesi ile arttığını, ancak AYPE'ni çekme dayanımının değişmediğini gözlemlediler. PLA ve AYPE malzemelerin çekme testindeki elastisite modülü değerlerinin, takviye elemanı ilave edilmesi ile arttığını ve bunun odun unlarının elastisite modülünün termoplastiklerden daha fazla olmasından kaynaklandığını belirttiler. Orman budama atıklarının ilave edilmesi ile kopmada uzama değerlerinin düştüğünü gösterdiler. Eğme dayanımı ve eğme elastisite modülü değerlerinin ise odun unu katkısı ile arttığını tespit ettiler[4].

Kaymakçı ve arkadaşları, ahşabın kimyasal yapısının, ahşap polimer kompozitlerin fiziksel özelliklerine olan etkisini incelediler. Çalışmalarında sağlam ve çürük çam odun unu, polipropilen ve uygunluk ajanı (MAPP) kullanarak, ahşap polimer kompozitler ürettir. Ürettikleri kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinden olan su alma ve şişme performanslarını incelediler. Yaptıkları deneylerden, çürük çam odun unu kullanarak ürettikleri polimer kompozitlerin, sağlam odun kullanılarak üretilen kompozitlere göre daha düşük fiziksel özellikler sergilediklerini belirlediler. Su alma ve kalınlığına şişme özelliklerinin, selüloz ve hemiselüloz (Holoselüloz) yapılarındaki serbest hidroksil gruplarının sayısına bağlı olduğu belirttiler. Çürük odun unu içerisindeki polar hidroksil gruplarının az sayıya olmasından dolayı, fiziksel

özelliklerindeki değişim meydana geldiğini gösterdiler. Ayrıca ahşap polimer kompozitlerin üretiminde çürük odun kullanımının doğru bir yaklaşım olduğu sonucuna vardılar[3].

Literatürde çeşitli takviye elemanlarının termoplastik malzemelere eklenmesiyle kompozit malzeme üretimi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda üretim yöntemi olarak, enjeksiyon kalıpcılığı veya sıcak presleme yöntemlerinin kullanımı yaygındır. Takviye elemanı kullanılarak üretilen termoplastikmatrislikompozit malzemelerin 3B yazıcılarda filament olarak kullanımı ve son ürün elde edilmesine yönelik çalışmalar sınırlıdır.

Zhongv.d.,3B yazıcılarda kullanmak üzere, kısa cam fiber takviye elemanlarının,ABS matris malzemesineekleyerek,ekstrüderkullanımıyla filamentürettir. ABS matris içerisine cam fiber takviye elemanı eklenmesiyle kompozit malzemenin dayanımının, ergime ve ısı çarpılma sıcaklıklarının arttığını gösterdiler. Cam fiber takviyesinin üretilen filamentin kırılganlığını arttığını, bu nedenle 3B yazıcılarda kullanımının sınırlı olduğunu altını çizdiler. Ürettikleri kompozitfilamenti 3B yazıcılarda kullanmak için LLDPE malzemeyi (plastikleştirici) ve uygunluk ajanını (Hydrogenated Buna-N) cam fiber takviye elemanı ile beraber kullandılar. Ekstrüde ettikleri son karışımın 3B yazıcılarda kullanılabilir olduğunu belirttiler ve çekme dayanımının ABS'ye oranla oldukça yüksek olduğunu gösterdiler[8].

Namıkıv.d.,sürekli fiber ile takviyelendirilmiştermoplastik malzemeyle numune yazdırma üzerine çalıştılar. Polilaktasit (PLA) ve sürekli karbon fiber malzemeyi ayrı ayrı 3B yazıcının ekstrüderi içerisine gönderdi ve yazdırma kafası içindeki ısıtıcı vasıtasıyla iki malzemenin karıştırılmasını sağladılar. 3B yazıcı kafasında sürekli fiber ve PLA karışımından, hacimce %1 oranında karbon fiber içeren çekme test numuneleriyazdırdılar. Elde ettikleri sonuçlardan karbon fiber takviyeli kompozit numunelerin elastisite ve çekme dayanımlarının, saf PLA numunelere göre daha yüksek olduğunu belirlediler. Çekme test numunelerinden aldıkları SEM görüntülerinde karbon fiberin PLA matrisi içerisinde belirli bölgelerde delaminasyona uğradığını ve boşlukların oluştuğunu gördüler. Delaminasyon ve boşluk oluşmasının önlenmesi amacıyla, karbon fiberin ön ısıtmaya tabi tutulmasını ve yazdırma tablasının sıcaklığının değiştirilmesini, ayrıca nozul çapının düşürülmesini önerdiler[9].

Perezv.d.,ABS matris malzemesi ve ağırlıkça %5 oranında hint keneviri elyafı karışımı filamentiekstrüder kullanarak ürettir. Hazırladıkları kompozit filamentler ile 3B yazıcıda çekme numunesi yazdırdılar ve bu çekme numunelerinin dayanımlarını karşılaştırdılar. Elde ettikleri sonuçlardan kompozitfilament ile yazdırılan numunelerin çekme dayanımlarının, saf ABS'e kıyasla %9 oranında düştüğünü, diğer yandan kırılma yükünün ise %29 oranında arttığını gösterdiler[10].

Carneirov.d.,3B yazıcıda kullanmak amacıyla polipropilen (PP) matris malzemeli ve cam takviyeli filamentler ürettir. Filamentleriekstrüder yardımıyla ürettir, saf PP ve cam takviyeli PP (GRPP) kompozit malzemenin dayanımlarını karşılaştırdılar. Hazırladıkları kompozitfilamentlerde %30 ve %40 oranında cam takviyesi kullandıklarında numunelerin elastisitemodülü ve dayanımlarının önemli ölçüde arttığını belirlediler. Cam fiberlerin ekstrüzyon işleminde ve 3B yazıcıda yazdırılması esnasında kritik fiber uzunluklarını koruduklarını ve fiber takviyesinin 3B yazıcılarda kullanılabileceğini gösterdiler[11].

Bu çalışmada, 3B yazıcılarda filament malzemesi olarak kullanılan PLA termoplastiğin içerisine ağırlıkça %10 ve %15 oranında ahşap tozu katılarak, takviyelendirilmiş kompozit filamentin üretilmesine ve ahşap tozlarının PLA matris içerisinde homojen olarak dağılımının sağlanması üzerine çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, mısır ve şeker kamışı gibi yenilenebilir nişastalardan imal edilen, enjeksiyonkalıpcılığı, medikal uygulamalar gibi birçok alanda kullanılabilen, biyolojik olarak ayrıştırılabilen, geri dönüşümlü biyo polimer olan PLA (Polilaktik asit) kullanılmıştır[6]. Kullanılan PLA, granül halde ortalama 2.4mm çapında ve 3.09mm uzunluğundadır. PLA içerisine odun tozu, ağaç cinsi dikkate alınmadan, PLA'nın ağırlığının %10 ve %15 oranlarında ilave edilmiştir. Şekil 1'de kullanılan PLA malzemeve odun tozu gösterilmiştir. PLA'nınmekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



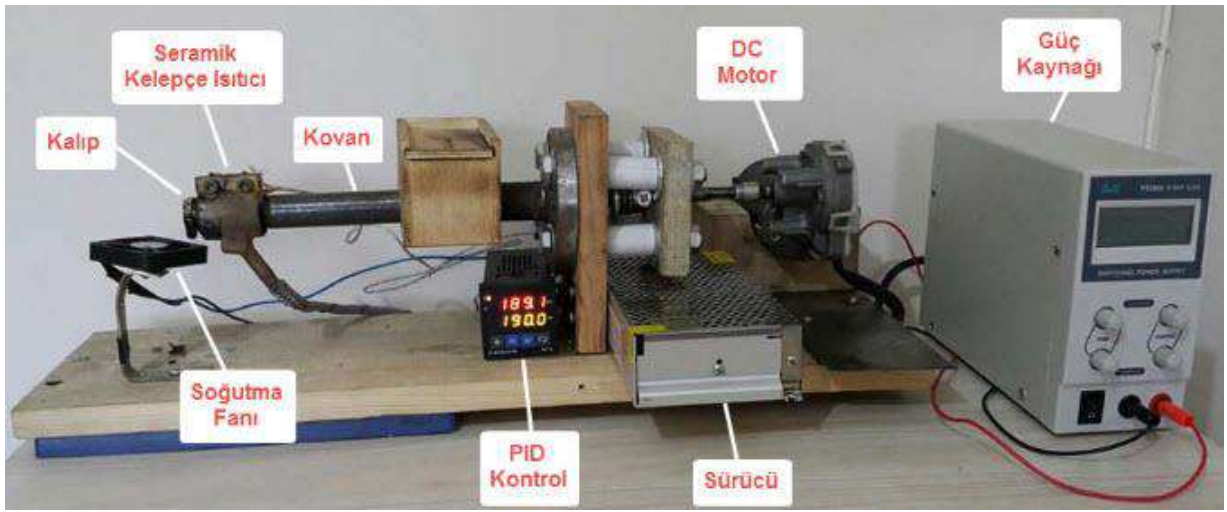
Şekil 1. (a) PLA Granül ve (b) Ahşap Tozu.

Çizelge 1. PLA Mekanik Özellikler [7].

Mekanik Özellikler		
Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	(g/cm ³)	1.24
Uzama	(%)	6
IzodDarbe Dayanımı	(Jm ⁻¹)	16
Elastisite Modülü	(GPa)	3.5
Çekme Dayanımı	(MPa)	53

2.2. Metot

Yapılan çalışmada, PLA malzeme ve PLA ağırlığının %10 ve %15 oranlarında ahşap tozu karışımı filamentekstrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Seçilen %10 ve %15 ağırlık oranları hassas terazi kullanılarak PLA içerisine eklenmiştir. PLA granülleri ile ahşap tozunun karıştırılarak filament üretilmesinde kullanılan vidalı ekstrüder Şekil 2'de gösterilmiştir.



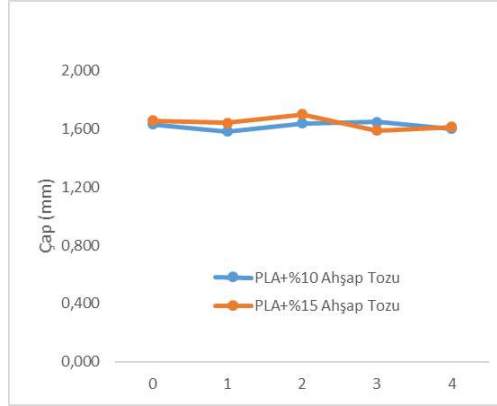
Şekil 2. Kullanılan Ekstrüzyon Cihazı.

Kullanılan ekstrüder de PLA malzemenin kalıba kadar taşınmasında vidalı mil olarak ağaç matkabi kullanılmıştır. Matkaba döndürme hareketinin iletilmesinde Mako marka 12V çalışma gerilimine ve 36Nm torka sahip DC motor kullanılmıştır. DC motor milinden alınan dönme hareketi kaplin kullanılarak matkap ucuna aktarılmış ve plastik malzemenin kalıba kadar ekstrüder içinde iletilmesi sağlanmıştır. DC motor milinin dönüş hızı, PLA malzemenin granül halde olması ve ekstrüder boyutlarının masaüstü tipi olmasından dolayı düşük tutulmuş, amper ve gerilim ayarlı güç kaynağı ile kontrol edilerek, 3V geriliminde 18dv/dk olarak belirlenmiştir. PLA malzemenin ekstrüderden filament şeklinde çıkabilmesi için ekstrüder çıkışına kalıp bağlanmış ve bu kalıbın ortasına 1.75mm çapında delik açılmıştır. Granül malzemenin kalıp içerisinde ergiyik hale gelmesi için kalıp yüzeyine seramik kelepçe ısıtıcı bağlanmıştır. Kelepçe ısıtıcının sıcaklığı, PID sıcaklık termostadı ile kontrol edilmiştir. PLA malzemenin ergiyik olarak filament dönüşmesi için sıcaklık 190°C'de PID sıcaklık kontrol termostadı ile sabitlenmiştir. Kalıptan yüksek sıcaklıkta çıkan filamentlerin boyutsal hassasiyetinin korunması amacıyla kullanılan soğutucu fan ile oda sıcaklığına kontrollü olarak soğuması sağlanmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar

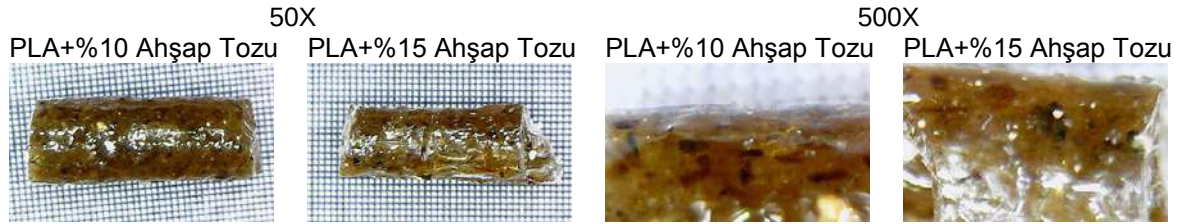
3B yazıcılarda kullanılan filamentler standart olarak 1.75mm çapa sahiptirler. Bu nedenle kullanılan ekstrüderde kalıp çıkışındaki nozul çapı 1.75mm olarak üretilmiştir. Üretilen filamentlerin uzunluğu boyunca rastgele seçilen bölgelerden alınan numuneler 0.1mm aralıklı kalibrasyon plakasına konmuş ve optik mikroskop ile 50 kat büyütülerek görüntüleri alınmıştır (Bakınız Şekil 4). Çap ölçümleri sonucunda, %10 ahşap tozu içeren filament için birinci ekstrüzyon işlemi sonucunda ortalama 1.63mm filament çapı elde edilmiş ve diğer ekstrüzyon işlemleri için sırasıyla, 1.58mm, 1.63mm, 1.64mm ve 1.59mm çap değerleri ölçülmüştür. %15 ahşap tozu içeren filamentler için ise birinci ekstrüzyon işlemi sonucunda 1.65mm çap değeri ölçülmüş ve diğer ekstrüzyon işlemleri için sırasıyla, 1.64mm, 1.69mm, 1.58mm ve 1.61mm çap değerleri ölçülmüştür. Her iki kompozit filament için birinci ekstrüzyon sonucundaki çap

değerleri, beşinci ekstrüzyon sonucundaki çap değerlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Birinci ve beşinci ekstrüzyon işlemleri sonucunda oluşan çap farklılığının başlangıçta ahşap tozu parçacıklarının boyutlarının büyüklüğü ve ergiyik PLA malzemenin kalıp nozulçıkışını tam olarak doldurduğu, fakat beşinci ekstrüzyon işleminde ahşap tozlarının boyutunun küçülmesiyle ergiyik plastik ham maddenin yoğun kıvamından nozulçapını tam dolduramadığı şeklinde açıklanabilir. Filamentlere ait çap değerlerinin dağılım grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Filament Çaplarının Değişimi.

Granül haldeki saf PLA ve piyasadaki PLA filamentler beyaz renge sahiptir. Şekil 4'de filament numunelerinden 50 kat büyütülerek çekilen görüntülere verilmiştir. Birinci ekstrüzyon işleminde ahşap tozlarının sıcaklık etkisiyle yanması ve PLA ile karışmasıyla filamentlerin renginin değiştiği görülmektedir. Ayrıca ekstrüzyon sayısının artmasıyla, ahşap tozlarının yanması daha da artmış ve filament renginin birinci ekstrüzyon işlemine kıyasla daha koyulaştığı, siyaha yakın bir renk aldığı görülmüştür.



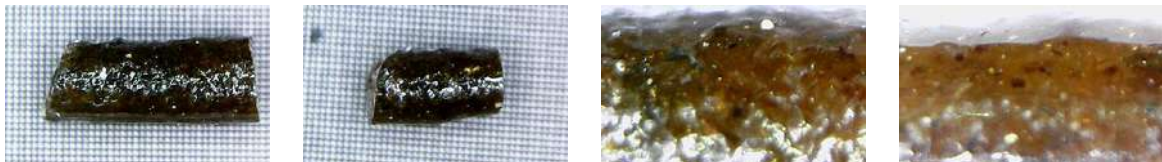
Birinci Ekstrüzyon İşlemi



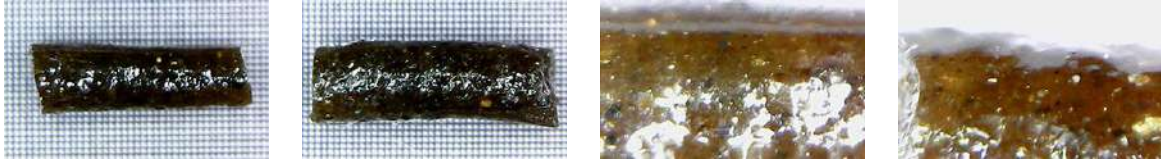
İkinci Ekstrüzyon İşlemi



Üçüncü Ekstrüzyon İşlemi



Dördüncü Ekstrüzyon İşlemi



Beşinci Ekstrüzyon İşlemi

Şekil 4. Dijital Mikroskop Görüntüleri.

Optik mikroskop ile numunelerden 500 kat büyütülerek alınan görüntülere bakıldığında, birinci ekstrüzyon işlemi sonrasında ahşap parçacıklarının heterojen dağılım gösterdiği ve boyutlarının büyük olduğu görülmektedir. Ekstrüzyon sayısı arttıkça, ahşap tozları boyutsal olarak küçülmekte ve yanmaya bağlı olarak PLA'nın rengi koyulaşmaktadır. Ayrıca PLA içerisinde ahşap parçacıklarının homojen biçimde dağıldığı görülmektedir (Bakınız Şekil 4).

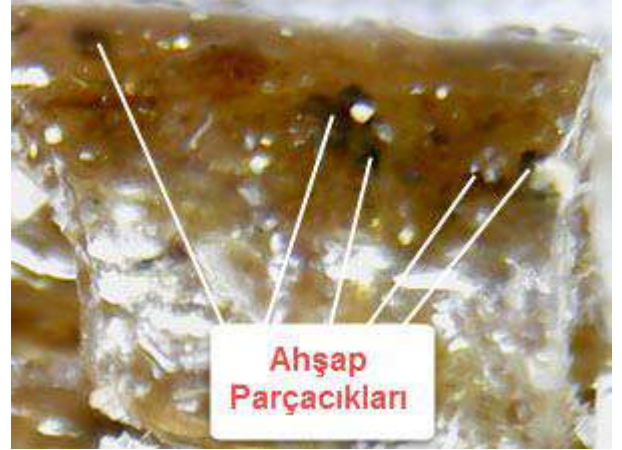
Her iki tip filament için, birinci ekstrüzyon işlemi sonucunda, PLA içerisinde ahşap tozu parçacıkları çıplak gözle görülebilmektedir. Şekil 5'de ağırlıkça %10 ve %15 ahşap tozu oranına sahip filamentlerin birinci ekstrüzyon işleminden sonra 500 kat büyütülerek alınmış görüntüleri verilmiştir. Ahşap parçacıkları, birinci ekstrüzyon işlemi sonunda ortalama 0.13mm boyutunda ve 0.042mm eninde, heterojen bir şekilde dağılmıştır. Aynı zamanda filamentin üst kenarlarında PLA malzemenin, filamentin çevresini düzgün bir şekilde sarmadığı görülmektedir.

PLA+%10 Ahşap Tozu (Birinci Ekstrüzyon İşlemi)



(a)

PLA+%15 Ahşap Tozu (Birinci Ekstrüzyon İşlemi)



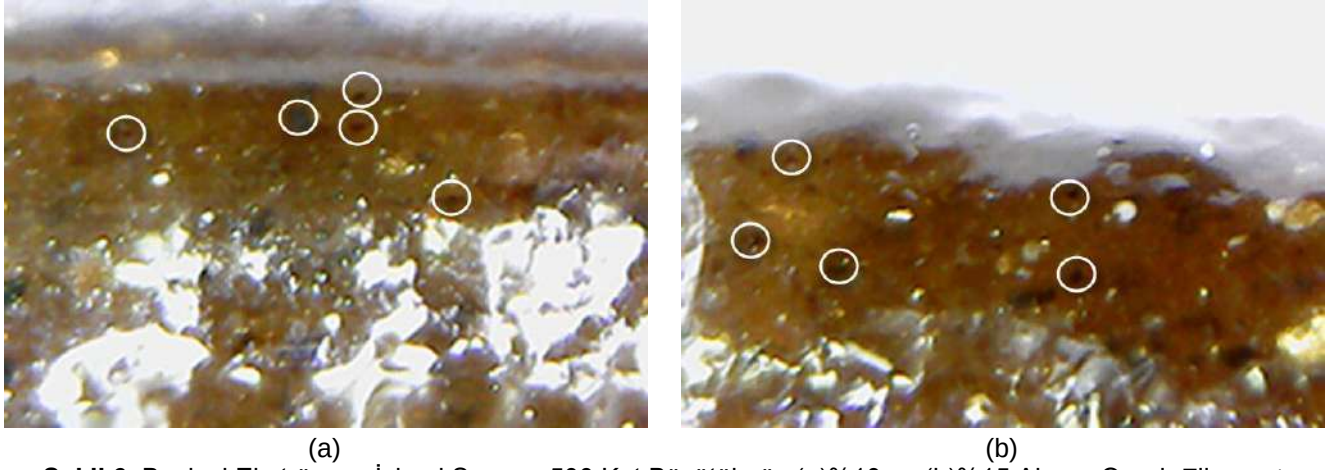
(b)

Şekil 5. Birinci Ekstrüzyon Sonucu 500 Kat Büyütülmüş (a)%10 ve (b)%15 Ahşap Oranlı Filament Numuneleri.

Beşinci ekstrüzyon işlemi sonucunda, ahşap tozu ve parçacıklarının PLA içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Şekil 6'da ağırlıkça %10 ve %15 ahşap oranına sahip filamentlerin beşinci ekstrüzyon işleminden sonra 500 kat büyütülmüş hali gösterilmiştir. Burada optik mikroskop ile ölçülebilen ahşap parçacıkları ortalama 0.030mm uzunluğunda ve 0.019mm genişliğindedir.

PLA+%10 Ahşap Tozu (Beşinci Ekstrüzyon İşlemi)

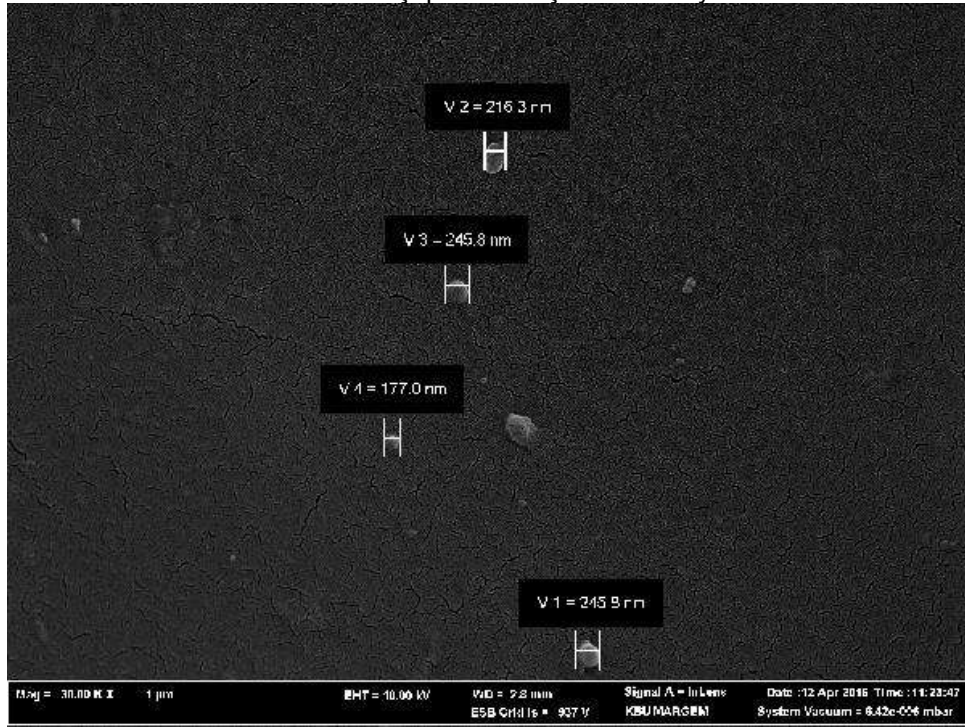
PLA+%15 Ahşap Tozu (Beşinci Ekstrüzyon İşlemi)



Şekil 6. Beşinci Ekstrüzyon İşlemi Sonucu 500 Kat Büyütülmüş (a)%10 ve (b)%15 Ahşap Oranlı Filament Numuneleri.

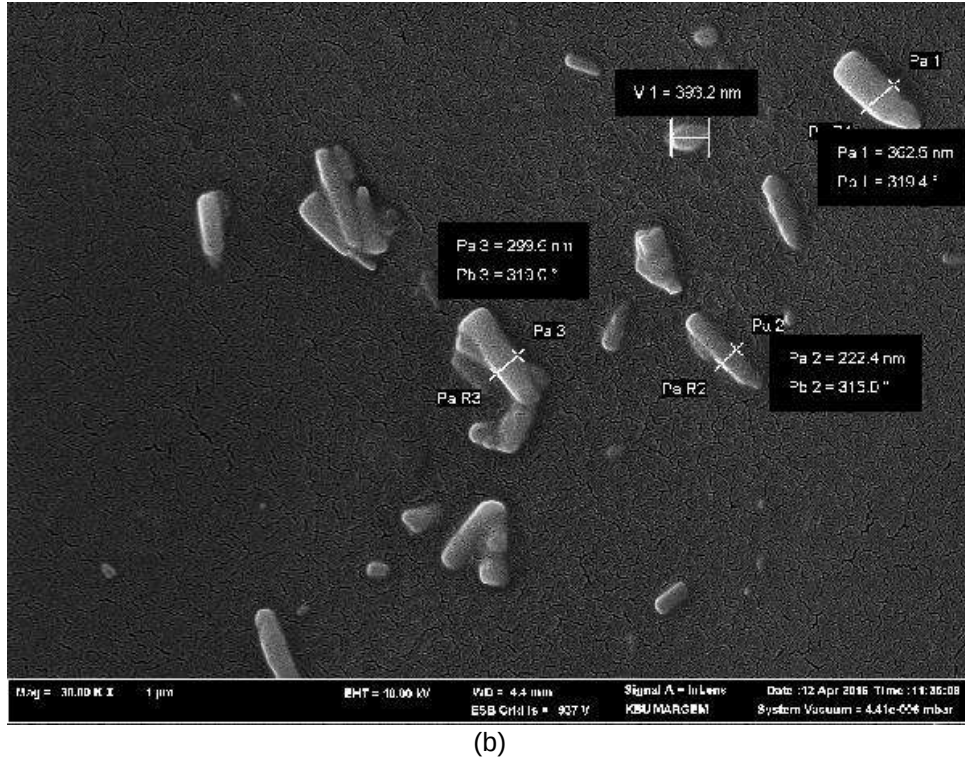
Beşinci ekstrüzyon işlemi sonucunda, ahşap tozu parçacıklarının boyutları optik mikroskop ile görülemeyecek kadar düşmüştür. Bu nedenle, ağırlıkça %10 ve %15 ahşap tozu için beşinci ekstrüzyon sonucunda elde edilen filament uzunluğu boyunca seçilen bir bölgeden 30000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 7'de ağırlıkça %10 ve %15 ahşap oranına sahip, beşinci ekstrüzyon işlemi sonucunda üretilen filamentlerin SEM görüntüleri verilmiştir.

PLA+%10 Ahşap Tozu Beşinci Ekstrüzyon



(a)

PLA+%15 Ahşap Tozu Beşinci Ekstrüzyon



(b)

Şekil 7. (a)%10 ve (b) %15 Ahşap Tozu Oranlarına Sahip Beşinci Ekstrüzyon Filamentlerin SEM Görüntüleri

SEM görüntüleri incelendiğinde, her iki tip filament için ahşap tozlarının PLA malzeme içerisindeki parçacık boyutları görülmektedir. Ağırlıkça %10 ahşap tozu oranına sahip filament yapı içerisinde partikül olarak yer alan parçacıkların genişlikleri sırasıyla, 0.0002163 mm, 0.0002458 mm, 0.000177 mm olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %15 ahşap tozu oranına sahip filamentte ise yapı içerisinde partikül olarak yer alan parçacıkların genişlikleri ise sırasıyla, 0.0002996 mm, 0.0003932 mm, 0.0003625 mm, 0.0002224 mm olarak ölçülmüştür. Her iki tip filament için birinci ekstrüzyona göre boyutsal düşüş oranı Denk.(1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Boyutsal Düşüş Oranı (BDO)} = \left(\frac{\text{Birinci ekstrüzyon}}{\text{Beşinci ekstrüzyon}} - 1 \right) 100 \quad (1)$$

Denk. (1)'de birinci ve beşinci ekstrüzyon ifadeleri partikül boyutlarını belirtmektedir. Denk. (1) kullanılarak yapılan hesaplamalarda, ağırlıkça %10 ve %15 ahşap tozu içeren filamentlerdeki BDO yaklaşık olarak sırasıyla, -%98.8 ve -%98.3 olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 3B yazıcılarda filament malzemesi olarak kullanılan PLA termo plastik malzeme ve PLA'nın ağırlıkça %10-%15 oranında ahşap tozu karışım kompozit filamentin, vidalı ekstrüder kullanılarak üretimi yapılmıştır. Tek kademeli ısıtıcı kullanılarak, ahşap tozu parçacıklarının, PLA matris içerisinde boyutlarının küçültülmesi amacıyla tekrarlı ekstrüzyon yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yöntemle, ahşap tozu taneciklerinin, tekrarlı ekstrüzyon yöntemi ile boyutlarının küçüldüğü ve ahşap tozunun PLA içerisinde homojen bir şekilde karıştığı görülmüştür.

Ağırlıkça %10 ve %15 ahşap tozu içeren PLA matrisli kompozit filamentlerdeki BDO yaklaşık olarak sırasıyla, -%98.8 ve -%98.3 olarak hesaplanmıştır.

Ağırlıkça %10 ve %15 ahşap tozu içeren filamentler için birinci ekstrüzyon işlemi sonucunda ahşap tozu parçacıklarının heterojene dağıldığı ve büyük boyutlu olduğu belirlenmiştir. Ekstrüzyon sayısı arttıkça, ahşap tozları boyutları küçülmekte ve PLA içerisinde ahşap tozlarının yanmasıyla rengi koyulaşmaktadır.

Referanslar

1. Alperen KAYMAKÇI, Nadir AYRILMIŞ, Turgay AKBULUT, "Dış Cephe Kaplamalarına Ekolojik bir Yaklaşım: Ahşap Polimer Kompozitler", 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş, İstanbul, 3-4 Nisan 2014.
2. Nilgöl ÖZMEN, Nihat Sami ÇETİN, Nasır NARLIOĞLU, Vedat ÇAVUŞ, Ertuğrul ALTUNTAŞ, "MDF Atıklarının Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi", SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayfa 65-71, 2014.
3. Alperen KAYMAKCI, Nadir AYRILMIŞ, Türker GÜLEÇ, Zekiye ÖZTÜRK, "Ahşabın Kimyasal Bileşiminin Ahşap Polimer Kompozitlerin Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi", II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta.
4. Kadir KARAKUŞ, İbrahim Halil BAŞBOĞA, Fatih MENGELOĞLU, "Termoplastik Esaslı Polimer Kompozitlerin Üretilmesinde Orman Budama Atıklarının Değerlendirilmesi", II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta.
5. Şahin Meltem, "Antep Fıstığı Kabuklarından Polimer Kompozit Malzeme Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bil.Ens. Kimya MühBl, Haziran 2006.
6. <http://www.resinex.com.tr/polimer-turleri/pla.html>
7. http://www.goodfellow.com/catalogue/GFCat4I.php?ewd_token=Zim2zyvAc4S1S1Yha0f19smrCfkzhl&n=FOvSf5F3QAugwe2Q8dhcEspZUKrWaR&ewd_urlNo=GFCatSeaRed6&Catite=ME346310&CatSearNum=4
8. Zhong, W., Li, F., Zhang, Z., Song, L. ve Li, Z. 2001. "Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling", Materials Science and Engineering A, 301, 125-130.
9. Namiki, M., Ueda, M., Todoroki, A., Hirano, Y. ve Matsuzaki, R. 2014. "3D Printing of Continuous Fibre Reinforced Plastic", Proceedings of the Society of the Advancement of Material and Process Engineering, Seattle, 2-5 June 2014, 6.
10. Perez, A.R.T., Roberson D.A. ve Wicker, R.B. 2014. "Fracture Surface Analysis of 3D-Printed Tensile Specimens of Novel ABS-Based Materials", J Fail. Anal. and Preven., 14, 343-353.
11. Carneiro, O.S., Silva, A.F. ve Gomes, R. 2015. "Internal resistance heating for homogeneous curing of adhesively bonded repairs", Materials & Design, 83, 76

ÇİFT EKSTRUDERLİ 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI ve İMALATI

Yasin Doğan^aM.Ali Öcel^bBilçen Mutlu^cGürcan Atakök^d

a. Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, İstanbul / TÜRKİYE, y.dgn54@hotmail.com

b. Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, İstanbul / TÜRKİYE, m.ali.ocel@hotmail.com

c. Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, İstanbul / TÜRKİYE, bmutlu@marmara.edu.tr

d. Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, İstanbul / TÜRKİYE, gatakok@marmara.edu.tr

Özet

Günümüzde yaygın kullanım alanı olan ve yakın gelecekte ofis ve evlerimizin de vazgeçilmezi olacak üç boyutlu yazıcılar hızla geliştirilmektedir. Ülkemizde bu teknolojik gelişmeleri takip edebilmesi için üç boyutlu yazıcılar alanında bilimsel çalışmalar yapmaya başlamıştır. Üniversitelerimizde değişik destekler altında bu alanda projeler yapan bilim insanlarımız bulunmaktadır.

Bu çalışmada, operatörün müdahalesi olmaksızın çift kafalı ekstruderin otomatik olarak eş zamanlı yazması, iki farklı renk veya boyuttaki herhangi bir parçanın yazdırma işleminin gerçekleştirilebilmesi, kontrol paneli ile kolay kullanım vb. özelliklere sahip üç boyutlu yazıcı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

DUAL EXTRUDER 3D PRINTER DESIGN AND MANUFACTURING

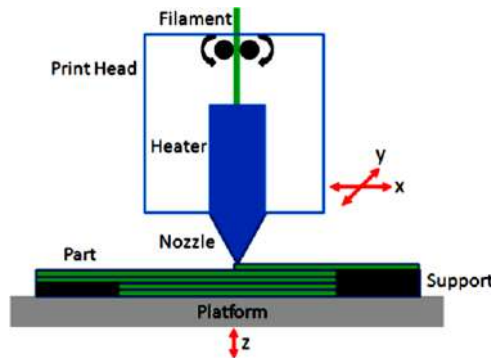
Abstract

Which is widely used today and the near future will be indispensable in our Offices and homes is rapidly developing a three-dimensional printers. In order to follow the developments in our country in this technology, three-dimensional printers to make scientific studies in the field has started. We have scientists in our universities who supports the different projects in this area under.

In this study, the intervention of the operator without dual-head extruder automatically in concurrent write, to be able to print two different colors or sizes or any part of the control panel with easy operation etc. Printer properties of three-dimensional design and manufacturing was carried out.

1. Giriş

3 Boyutlu yazıcı ile serbest formdaki nesnelerin katman katman yazdırılarak oluşturulması sağlanmaktadır. Hızlı prototipleme cihazı olarak bilinen 3 boyutlu yazıcılarda katı parçalar katmanlı olarak üretilmektedir [1-5]. Üç boyutlu yazma ilk olarak 30 yıl önce tanımlandı. Otomotiv, endüstri, sağlık ve askeri gibi birçok alanda kullanıldı. Bu çalışma, büyük boyutlu ve karmaşık parçaların çift ekstruder ile tasarlanıp, prototiplenmesini içermektedir. Şekil 1 de görüldüğü gibi 3 boyutlu yazmanın genel prensibi katman katman yazılmasına dayanmaktadır [6-10].



Şekil 1. Katman Katman Yazma İşlemi

2. Çift Ekstruderli 3 Boyutlu Yazıcı

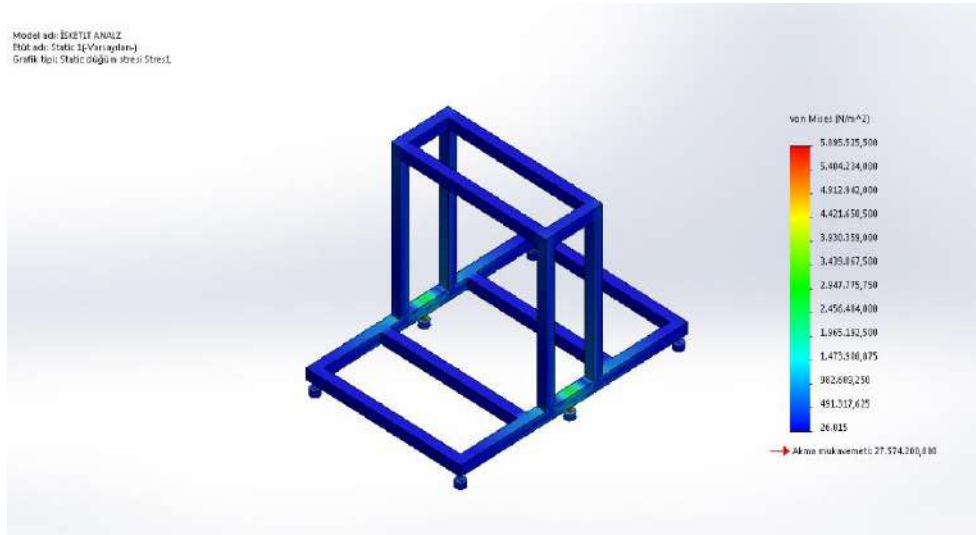
Çift ekstruderli 3 boyutlu yazıcı tasarımı öncelikle yazdırma işleminde gerekli hassasiyet ve zaman kazanmak için 0.3 mm ve 1mm nozzle çapları alınmıştır. Ürünün dış çeperinin hassas olması için

0.3mm'lik nozzle ile yazdırılırken zaman ve dayanım açısından 1mm'lik nozzle ile parçanın iç kısmı yazdırılması planlanmıştır. Bir nozzle'da sarı renkli filament, diğer nozzle'da ise kırmızı renkli filament olmak üzere iki renkle yazdırılma işlemi gerçekleştirilecektir.



Şekil 2. Gövde Tasarımı

Gövde tasarımında “Sigma Profil” kullanılmıştır. Sigmaprofil; mukavemetli, hafif ve birleştirilmesi basit olduğundan dolayı tercih edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılarak dayanım ve deformasyonlar açısından en uygun profilin Şekil 3’de gösterilen 40x40mm alüminyum light sigma profilin olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. 40x40mm Alüminyum Hafif Sigma Profilin Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 4. Profillerin Montajı

2.1. Boyut ve Baskılı Alanı Özellikleri

Protiplemede kullanılan 3 boyutlu yazıcılarda nadir bulunan büyük baskı alanına sahip yazıcılar hakkında yararlanılabilecek çalışma yetersizdir. Boyutu büyük olan parçaları tek seferde yazdırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için baskı alanı aşağıda verilen boyutlarda seçilmiştir.

Boyut ölçüleri;

X eksen: 600mm

Y eksen: 1000mm

Z eksen: 600mm'dir.

Baskı alanı ölçüleri;

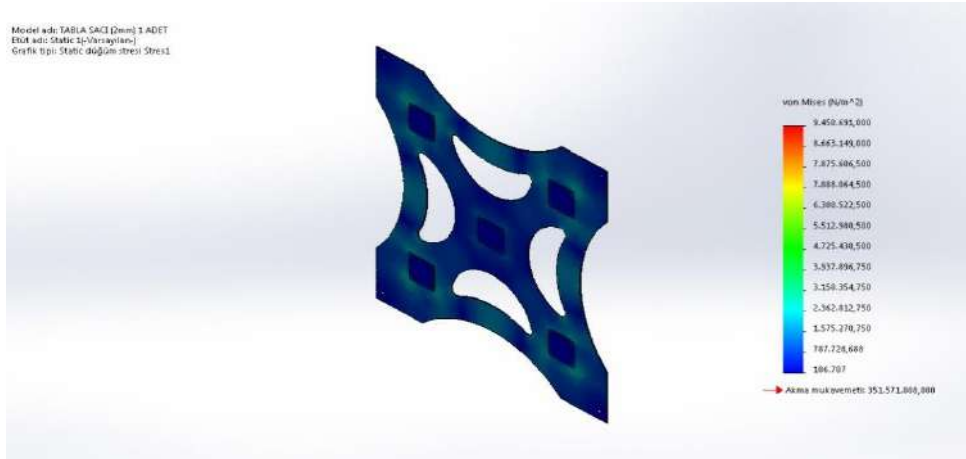
X eksen: 500mm

Y eksen: 500mm

Z eksen: 400mm'dir.

2.2. Tabla Özellikleri

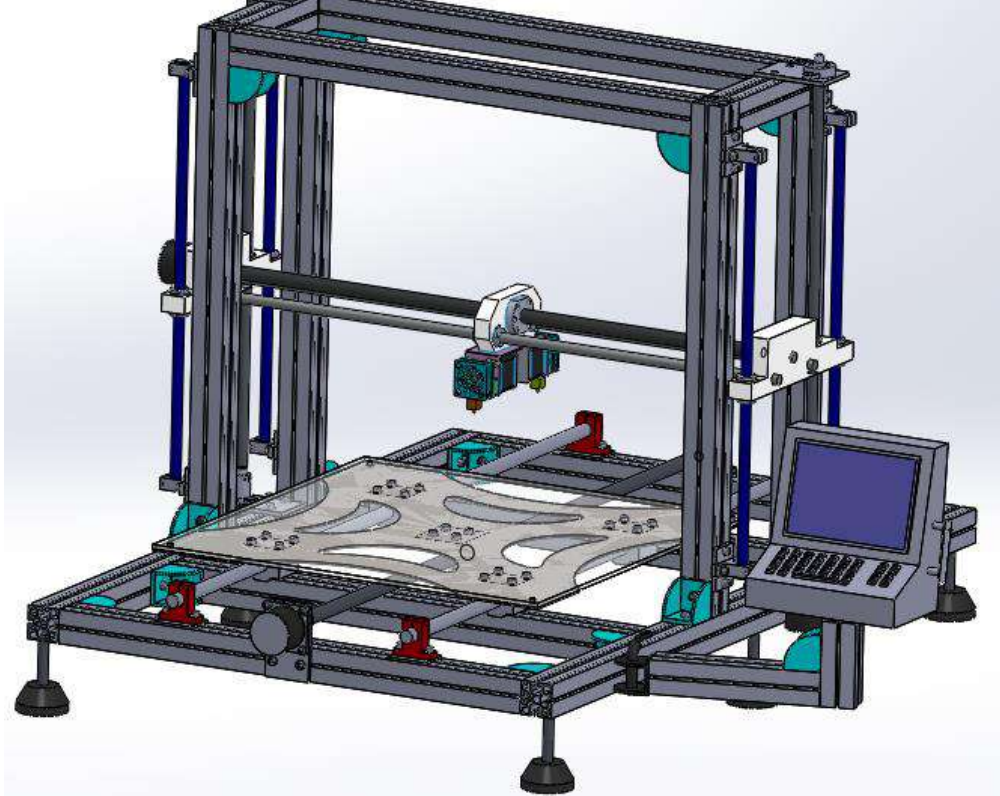
Büyük boyutlarda prototipleme yapacak 3B yazıcının tablasının da uygun seçilmesi çok önemlidir. Sonlu elemanlar analizi yapılarak tablanın büyüklüğü ve geometrisi belirlenmiştir.



Şekil 5. Tablanın Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

2.3. Kontrol Paneli Özelliği

Kontrol paneliyle bilgisayar olmadan 3B yazıcının kontrolü sağlanabilmektedir. Kontrol panelinde bulunan Ekran, Klavye ve USB girişi sayesinde 3B yazıcını kontrolü sağlanabilmektedir.



Şekil 6. 3B Yazıcının Montajı

Kontrol Panelinde Bulunan;

- “Dokunmatik Ekran”,
- “Klavye”,
- “Usb girişi”,
- “Sd Kart Okuyucu” gibi özellikler ile cihazın kontrolü sağlanmaktadır.

Ayrıca elektronik devre kontrol panelinin içerisinde bulunan boşluğa konulup, kablo dağılımı buradan yapılmaktadır.

3. Sonuçlar

Birçok alanda hızlıca kullanımı artan ve teknolojik gelişmelere de önemli katkı da bulunan 3B yazıcıların tasarımı ve imalatında bilgi ve tecrübe sahibi olmak amacıyla üniversitelerde de genç araştırmacıların yetişmesi için destek sağlanmalıdır. Bu çalışmada çift kafalı 3B yazıcı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiş denemeleri devam etmektedir. Eğitim amaçlı olarak da kullanılabilecek yazıcı ile diğer çalışmalarda da yararlanılacaktır.

Referanslar

1. Dina Radenkovic, AtefehSolouk, Alexander Seifalian "Personalizeddevelopment of human organs using 3D printingTechnology",MedicalHypotheses, 87 (2016) 30–33.
2. Çelik, D., 3 Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları, YL Tezi, KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2015, Karabük.
3. Prince, D. "3D printing: an industrialrevolution", Journal of Electronic Resources in Medical Libraries, 11 (1): 39-45 (2014).
4. Kruth, J. P.,Leu, M. C. andNakagawa, T., "Progress in additive manufacturing and rapid prototyping",Annals of theCirp, 47 (2): 525-540 (1998).
5. Hull, C.,Feygin, M., Baron, Y., Sanders, R., Sachs, Lightman, E., A. andWohlers, T.,"Rapid prototyping:current technology and future potential",Rapid Prototyping Journal, 1 (1): 11-19 (1995).
6. Y Lee, WS Tan, J An, CK Chua, CY Tang"The potential to enhance membrane module design with3D printing technology" Journal of Membrane, 2016 – Elsevier.
7. Polzin, C.,Spath, S. andSeitz, H. ,"Characterizationandevaluation of a PMMA-based 3D printingprocess",Department of MechanicalEngineering, 19 (1): 37-43 (2013).
8. G. C. Anzalone, B. Wijnenand J. M. Pearce, "Multi-material additive and subtractive prosumer digital fabrication with a free and open-source convertible delta RepRap 3-D printer", Rapid Prototyping Journal,Volume 21 • Number 5 • 2015 • 506–519
9. Vaezi, M.,Chianrabutra, S., Mellor, B. andYang, S. ,"Multiple material additive manufacturing - Part 1: A Review", Virtual andPhysicalPrototyping, 1 (1): 19-50 (2013).
10. C. Duran, V. Subbian, M. T. Giovanetti, J. R. Simkinsand F. R. BeyetteJr, "Experimentaldesktop 3D printingusingdualextrusionandwater-solublepolyvinyl alcohol", Rapid Prototyping Journal,Volume 21 • Number 5 • 2015 • 528–534

FARKLI DOLGU ÖRÜNTÜLERİNİN PET VE ABS MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Hatice EVLEN^a, Merve A. Özdemir^b ve Mesut AYDOĞDU^c

a, Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/Türkiye, hakgul@karabuk.edu.tr

b, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/Türkiye, merveozdemir1987@gmail.com

c, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/Türkiye, m.aydogdu34@yandex.com

Özet

Bu çalışmanın amacı, üç boyutlu yazıcıda farklı dolgu kesitlerine sahip düşük maliyetli parçalar üretmek, dolgu örüntülerinin deney numunesi mekanik özellikleri üzerine etkilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Bu kapsamda parça üretiminde honeycomb, rectilinear ve concentric olmak üzere 3 farklı dolgu örüntüsü kullanılmıştır. Parça üretiminde kullanılan üç boyutlu yazıcıda, baskı malzemesi olarak PET ve ABS filament malzemeler tercih edilmiştir. Çalışma süresince yapılan numune üretim işlemlerinde kullanılan PET 220°C, ABS ise 270°C yazdırma sıcaklığı 90°C tabla sıcaklığında ; %50 doluluk oranı ile basılmıştır. Üç boyutlu yazıcıda yazdırılan numunelerin tek eksenli çekme testi ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen mekanik testler sonucunda PET ve ABS malzemelerin tek eksenli çekme testi ve sertlik sonuçlarının farklı dolgu kesitlerinde benzer davranış gösterdiği, PET malzemenin çekme mukavemetinin ABS malzemenin çekme mukavemetinden çok daha yüksek olduğu, yüzde uzama ve sertlik değerlerinin ise birbirine oldukça yakın çıktığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Dolgu örüntüsü, Doluluk oranı, PET, ABS, 3B yazıcı

EFFECTS OF DIFFERENT FILL PATTERNS ON MECHANICAL PROPERTIES OF PET AND ABS MATERIALS

Abstract

The purpose of this study, compare the effectivity of filling patterns on test pieces mechanical properties by producing different filling patterned low cost parts with a three-dimensional printer. In this context, 3 different filling patterns that honeycomb, rectilinear and concentric are used for producing test specimens. PET and ABS filament materials are preferred as printing material. The manufacturing process is performed at 220°C nozzle temperature for PET, at 270°C nozzle temperature and 90 ° C bed temperature for ABS. Specimens manufactured with 50% filling percentage during operation. Uniaxial tensile tests and hardness measurements of 3d printed samples were carried out. As a result, the uniaxial tensile test and hardness values of PET and ABS materials are showed similar properties. Also PET materials tensile strength is much higher than ABS materials, the elongation and hardness values have been shown to be quite close to each other.

Keywords: Filling pattern, Filling percentage, PET, ABS, 3D printer

1. Giriş

Erimiş yığın modelleme (FDM) teknolojisiyle imalat, şerit halindeki hammaddenin ekstrüzyon kafası sayesinde talaş kaldırmadan ergimiş plastiğin katmanlar halinde modellenen parçanın kullanılabilir haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. [1-3]. Ergimiş plastiğin katmanları oluşturmak için makinanın “extruder” denilen kafasına katı halde gelen “Filament” plastik, bu haznenin içerisinde akışkan forma geçer. Buraya kadar olan yöntem aslında kalıpla imalat ve enjeksiyonlu üretimde de benzer şekilde kullanılmaktadır (enjeksiyonlu üretimde ham madde filament değil granüller şeklinde makinaya konulur) [4].

Eklemeli imalat (additive manufacturing) teknolojileri olarak da bilinen ergiyik yığın depolama metodu geleneksel imalat yöntemlerinden hızlı, daha uygun maliyetli oluşu, daha az iş gücü gerektirdiği ve temiz çalışma alanı imkanı sağlamasından dolayı özellikle son yıllarda araştırmacıların ilgisini üzerinde toplamıştır. Eklemeli imalat teknolojilerinde birçok farklı malzeme, birçok farklı metotla iş parçasına son geometrisini verebilmeye imkan sağlamaktadır. Önemi gittikçe artan teknolojinin uygulama alanlarında en

çok tercih edilen malzemeler PLA (Polylaktik asit), ABS (akrinitril butadien stiren), PET (polietile tereftalat), PP (polypropilen) olarak sayılabilir.

Son 20 yıl içerisinde kullanım alanının hızla gelişmesi ile PET, en önemli mühendislik polimerlerinin arasına girmeyi başarmıştır. Kimyasal maddelere karşı olan kararlılık, işlenebilirlik, renklendirilebilirlik ve termal özelliklerinden dolayı birçok uygulama için tercih edilen bir maddedir. PET, termoplastikler arasında zayıf asitlere, bazlara ve çoğu çözücülere karşı dayanımı olduğu kadar, sağlamlık, sertlik, parlaklık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikleriyle de üstündür. Ayrıca PET 'in gaz geçirgenliği diğer plastiklerin çoğundan daha düşüktür [5].

Bir petrol ürünü olan ABS (Akrilonitril Butadin Stiren), sert bir termoplastik polimerdir. Kapalı kap içinde aseton ile çözülebilmektedir. ABS kullanarak yazdırılan ürünler, 20 ila 80°C sıcaklık aralığında kullanıma uygundur. ABS'nin başlangıçtaki ergime sıcaklığı 105°C olmasından dolayı 80°C üzerindeki bir sıcaklığa çıkılması yada yoğun güneş ışınlarına maruz bırakılması durumunda parçanın geometrik hassasiyeti bozulup, yumuşama ve şekil bozulması yaşanabilir. ABS yüksek dayanım ve darbe direnci sayesinde üç boyutlu yazıcılarda sıkça tercih edilen bir malzeme türüdür [6].

Özellikle prototip imalatında oldukça önemli bir yere sahip olan teknoloji, farklı kompozit türevlerinin kullanılmasına da olanak sağlamaktadır. Bir çok araştırmacı eklemeli imalat teknolojileriyle kompozit malzeme türevlerini ve dolgu malzemesinin etkilerini incelemiştir [7-10].

Üç boyutlu yazıcılardan ürün çıkarabilmek için ilk aşamada bu ürünün dijital ortamda CAD tabanlı yazılımlar kullanılarak üç boyutlu olarak tasarlanmış olması gerekir. Tasarlanan ürün STL formatında kaydedilir ve dilimleme arayüz programlarına aktarılır. Böylelikle 3B olarak tasarlanan parçanın doluluk oranı dolgu geometrisi katman yüksekliği gibi yazdırma parametreleri, yüzey kalitesi, yazıcı uç yolları ve üretim kodları çıkarılmış olur. Genellikle tescilli ve markalı 3B yazıcılar kendileri için tasarlanmış arayüz programları ile satışa sunulmaktadırlar. Ancak açık kaynaklı yazıcılar için de ücretli ve ücretsiz birçok farklı arayüz programı mevcuttur. Skeinforge, RepRap Host, SuperSkein, Slicer, KiSSlicer, Repeater Host ücretsiz açık kaynaklı programlardır.

Ürün için en uygun parametreler arayüz programı vasıtasıyla belirlendikten sonra dilimleme işlemi yapılarak ürün katmanlara ayrılır ve g.code dosyası oluşturulur. Oluşturulan bu dosya ya hafıza kartı aracılığıyla ya da doğrudan bilgisayar bağlantısı ile üç boyutlu yazıcılara aktarılarak ürün baskısı gerçekleşir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda farklı dolgu örüntüleri %50 doluluk oranıyla üretilmiştir. Doluluk oranı basılan parçanın gözle görünmeyen iç kısmının ne oranda plastik içereceğini belirler. %0 girilirse parça sadece çeperden oluşur ve içi tamamen boş olur. %100 girilirse tamamen dolu bir parça oluşturulur. Doluluk oranı arttıkça baskı süresi uzar.

Dolgu örüntüsü ise rastgele bir plastik akıtma şekli değildir. Dilimleme arayüz programları 3B yazdırılacak parçaya mukavemet verecek şekilde geometrik bir desen vererek yazdırma işlemini gerçekleştirir.

Gerçekleştirilen çalışmada Repetier host programı kullanılarak 3 farklı dolgu örüntüsünde (honeycomb, concentric, rectilinear), %50 doluluk oranı kullanılarak 2 farklı malzeme ile çekme ve sertlik numuneleri açık kaynaklı yazıcıda üretilmiştir. Elde edilen numuneler çekme testi ve sertlik ölçümlerine tabi tutulmuştur.

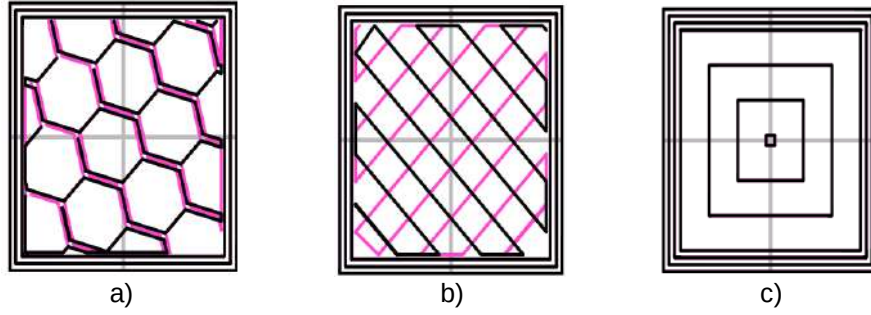
2. Materyal ve Metot

Parça üretiminde baskı malzemesi olarak PET ve ABS filamentler tercih edilmiştir. Çizelge 1.' de pet malzemeye ait fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir.

Çizelge 1. Pet Malzemeye Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler [5]

Özellikler	Değerler
Moleküler ağırlık (yinelenebilir birim)	192 (g mol ⁻¹)
Ortalama moleküler ağırlığı (M _W)	30,000–80,000 (g mol ⁻¹)
Yoğunluk	1.41 (g cm ⁻³)
Camsı geçiş sıcaklığı	68–115 (°C)
Erime sıcaklığı	260 (°C)
Çekme dayanımı	50 (MPa)
Çekme dayanımı modülü	1700 (MPa)
Darbe dayanımı	90 (J m ⁻¹)
Su absorpsiyonu (24 h sonra)	0.5 (%)

Bu çalışmada kullanılan arayüz programı Repetier Host üç boyutlu yazıcı kontrol ve dilimleme programıdır. Bu program ile hem dilimleme işlemi hem de üç boyutlu yazıcı kontrolü yapılabilmektedir. Numunelerin yazdırılmasında Slicer ile dilimleme seçilmiştir. Şekil 1.' de numunelerde kullanılan dolgu örüntü çeşitleri gösterilmektedir.

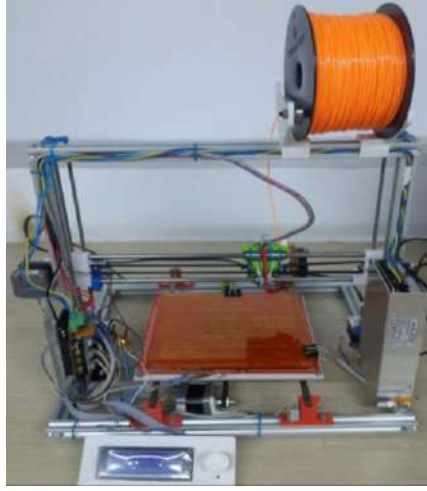


Şekil 1. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Dolgu Örüntü Çeşitleri a)Honeycomb, b)Rectilinear, c)Concentric

Dolgu örgüsünün %50 doluluk oranına sahip PET ve ABS malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemek üzere Çizelge 2.'de verilen yazdırma parametreleri ve Şekil 2'de yer alan açık kaynaklı yazıcı kullanılarak tek eksenli çekme testi ve sertlik ölçüm numuneleri yazdırılmıştır.

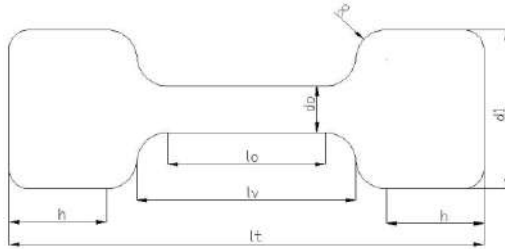
Çizelge 2. 3B Numune Yazdırma İşleminde Kullanılan Parametreler

Yazıcı Malzemesi	ABS / Mavi	PET / Yeşil
Yazıcı Türü	Kişisel	Kişisel
Katman Yüksekliği (mm)	0.4	0.4
Doluluk Oranı (%)	50	50
Yazıcı Uç sıcaklığı	270°C	220°C
Tabla Sıcaklığı	90°C	-
Kabuk sayısı	2	2
Dolgu Örüntüsü	Honeycomb Rectilinear Concentric	Honeycomb Rectilinear Concentric



Şekil 2. Deneysel Çalışmalarda Numune Üretimi Gerçekleştirilen Açık Kaynaklı Yazıcı

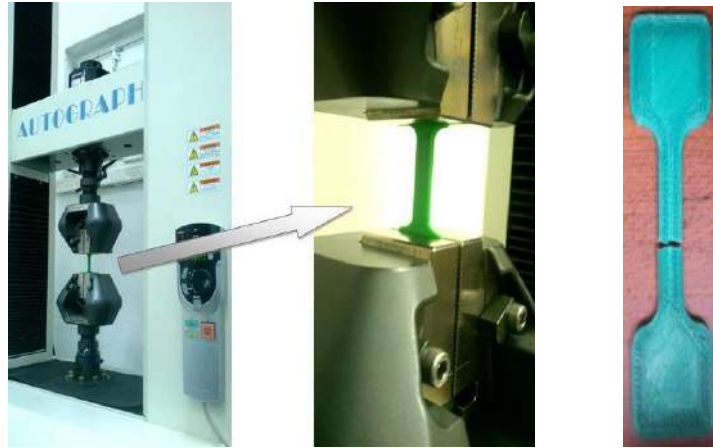
DIN 527 standardına göre 9 adet PET ve 9 adet ABS malzemeden olmak üzere toplam 18 adet çekme testi numunesi basılmıştır. Basılan çekme testi numunesi standart boyutları Şekil 3.'de verilmiştir.



l_t	77 mm
l_v	35.8 mm
l_o	25.8 mm
d_1	26 mm
d_0	7.6 mm
h	16 mm
R	5 mm

Şekil 3. Çekme Testi Numune Boyutları

Tek eksenli çekme testleri Karabük Üniversitesi Mekanik Test Laboratuvarında SHIMADZU AG-I model çekme cihazında 10 mm/d çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.'de çekme numunesinin cihaza bağlanmış ve deney sonucundaki kopmuş hali görülmektedir.



Şekil 4. Çekme Numunesinin Deney Esnasındaki ve Deney Sonrası Görüntüsü

Sertlik ölçümleri malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en kolay ve hızlı ölçme yöntemlerinden biridir [11].

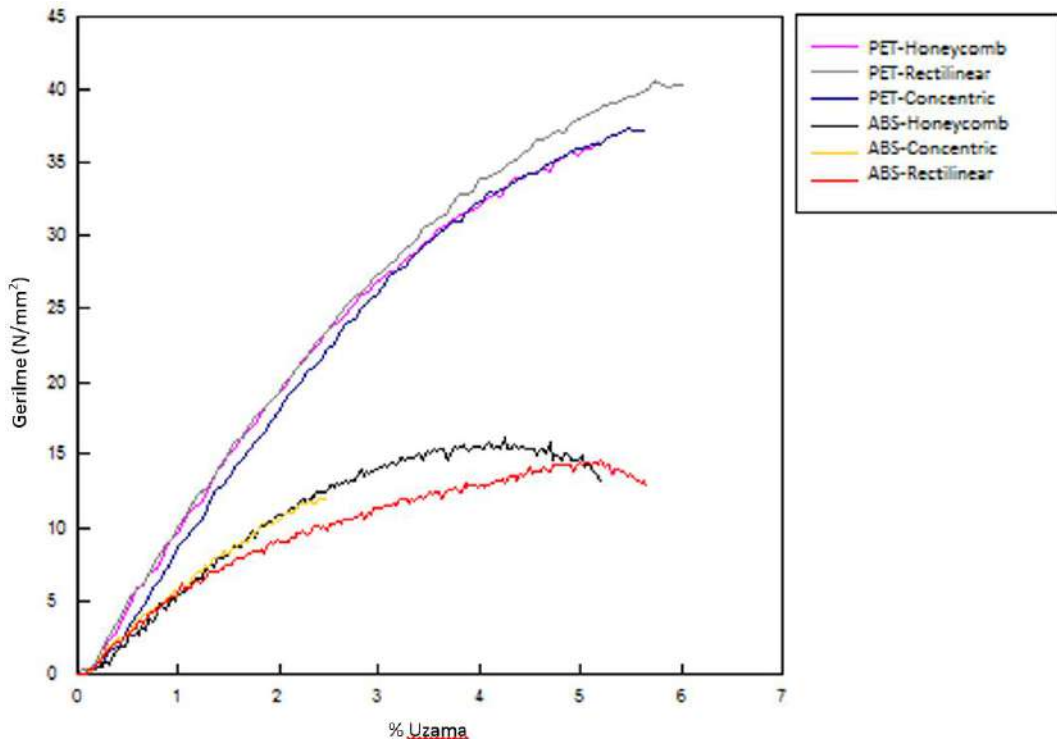
Üç boyutlu yazıcıda yazdırılan numune dinamik sertlik ölçüm metodu olarak bilinen Shore (Durameter) sertlik ölçme yöntemiyle ölçülmüştür (Şekil 5). Ölçümleri gerçekleştirmek için Çizelge 2.' de verilen parametrelere göre 10*10*10mm boyutlarında sertlik ölçüm numuneleri basılmıştır. Herbir numuneden 5'er adet sertlik ölçümü gerçekleştirilmiş, çalışmanın deneysel sonuçlarının değerlendirilmesinde bu değerlerin ortalaması dikkate alınmıştır.



Şekil 5. Sertlik Test Cihazında Numunenin Ölçümü

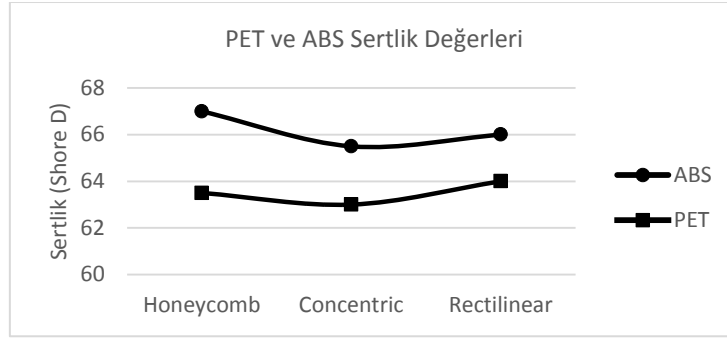
3. Deneysel Bulgular

%50 doluluk oranı ve 3 farklı dolgu örüntüsüyle 3B baskısı gerçekleştirilen PET ve ABS numunelere uygulanan çekme testi ve sertlik ölçümlerinin sonuçları sırasıyla Şekil 6. ve Şekil 7'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6. PET ve ABS Çekme Testi Grafikleri

Şekil 6.'de yer alan çekme diyagramı incelendiğinde PET malzeme grubunda en büyük çekme mukavemeti ve % uzama Rectilinear dolgu örüntüsünde ($40,67 \text{ N/mm}^2$ ve $5,7$) elde edilirken, aynı malzeme grubunda en küçük çekme mukavemeti ve % uzama değeri honeycomb dolgu örüntüsünde ($36,5 \text{ N/mm}^2$ ve $5,17$) elde edilmiştir. ABS malzeme grubunda ise en büyük çekme mukavemeti honeycomb ($16,21 \text{ N/mm}^2$) ve en büyük %uzama değeri Rectilinear ($5,19$) dolgu örüntülerinde elde edilirken, en küçük çekme mukavemeti ve % uzama değerleri concentric ($12,16 \text{ N/mm}^2$ ve $2,4$) dolgu örüntüsünde elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. PET ve ABS Malzeme Shore D Sertlik Değerleri

Sertlik ölçüm sonuçlarına bakıldığında ise (Şekil 7) ABS malzeme grubunda en büyük sertlik değeri 67SD ile honeycomb dolgu örüntüsünde elde edilirken, en düşük concentric dolgu örüntüsünde (65,5 SD) elde edilmiştir. PET malzemelerde ise en yüksek sertlik değeri 65 SD ile rectilinear dolgu örüntüsünde elde edilirken en düşük sertlik değeri 63,5 SD ile concentric dolgu örüntüsünde elde edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bireysel kullanıcılara yönelik düşük maliyetli üç boyutlu yazıcılarda üretilen parçaların dolgu örüntüsüne göre karşılaştırma yapıldığında; PET malzeme grubunun çekme mukavemeti değerlerinin ABS malzemenin değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuç literatürde ABS ve PET malzeme gruplarıyla yapılan çalışmaları destekler niteliktedir [5,12]. Ancak sertlik değerleri kıyaslandığında ise ABS malzemenin sertlik değerlerinin PET malzemenin değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun farklı analiz ve incelemelerle (SEM, EDS, Mapping vb) açıklanması araştırma ekibinin ilerleyen çalışmalarına yön verir nitelikte olmuştur.

Ayrıca PET malzeme için rectilinear dolgu örüntüsünün ABS malzeme için ise honeycomb dolgu örüntüsünün daha iyi mukavemet değerleri (çekme mukavemeti ve sertlik) sağladığı görülmüştür. Bu durumda malzeme cinsine, malzeme bağ yapısına, filament içindeki kalabilen hava boşluklarına bağlı olduğu gibi yazıcı uç ve tabla sıcaklığına da bağlı olarak dolgu örüntülerinin de deney parçası mukavemet değerleri üzerine etkili olduğu açıkça görülmektedir.

Referanslar

1. İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, "3D Printers and Components", www.3d.grabercars.com (2014).
2. RepRap, "RepetierHost", www.reprap.org/wiki/Repetier-Host, 2014.
3. Ciurana J.D., Serenóa, L., Vallès, E., Selecting Process Parameters in RepRap Additive Manufacturing System for PLA Scaffold Manufacture, Procedia CIRP. First CIRP Conference on BioManufacturing, no 5, pp 15-157, 2013.
4. Ramulu M, Wern CW, Garbini JL., Effect of the direction on surface roughness measurements of machined graphite/epoxy composite, Compos Manuf. Vol 4, no 1, pp 39-51, 1993.
5. Ahrabi A.Z., Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Pp 6, 2009.
6. Turner B. N., Strong R., Gold S. A. ,A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling, Rapid Prototyping Journal. Vol. 20, no 3, pp 192-204, 2014.
7. Stephens B., Azimi P., Orch Z.E., Ramos T., Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers, Atmospheric Environment. Vol. 79, pp. 334-339, 2013.
8. Torrado A.R., Shemelya C.M., English J.D., Lin Y., Wickera R.B., Roberson D.A., Characterizing the effect of additives to ABS on the mechanical property anisotropy of specimens fabricated by material extrusion 3D printing, Additive Manufacturing. Vol. 6, pp 16-29, 2015.
9. Raquez J.M., Habibi Y., Murariu M., Dubois P., Polylactide (PLA)-based nanocomposites, Progress in Polymer Science. Vol. 38, pp 1504-1542, 2013.
10. Reddy M.M., Vivekanandhana S., Misra M., Bhatia S.K., Mohanty A.K., Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities, Progress in Polymer Science. Vol. 38, pp 1653-1689, 2013.
11. Kayalı E.S., Ensari C., Dikeç F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü Matbaası, 1983
12. Angel R.T., Corey M.S, Joel D.E., Yirong L., Ryan B.W., David A.R., Characterizing the effect of additives to ABS on the mechanical property anisotropy of specimens fabricated by material extrusion 3D printing, Additive Manufacturing. Vol. 6, pp 16-29, 2015.

3 BOYUTLU SERAMİK YAZICISI TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

Aydın ÇALIŞKAN^a, Hatice EVLEN^b, Kerim ÇETİNKAYA^c

^aKarabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE
aydincaliskan@outlook.com.tr

^bKarabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE
hakgul@karabuk.edu.tr

^cKarabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük/TÜRKİYE
kchetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

Hızlı prototipleme teknolojisi, stl formatında modellenmiş parçaların katmanlar halinde yazdırılması işlemidir. Hızlı prototipleme teknolojilerinde çeşitli malzemeler kullanarak kalıp veya fikstüre ihtiyaç duyulmadan üç boyutlu modeller elde edilir. Son yıllarda termo plastik malzemelerin filament olarak kullanılmasının yanı sıra, metal, seramik gibi farklı malzemeler ile parça yazdırılması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, kartezyen tip seramik parça yazdırıcı 3B yazıcı tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan yazıcı ile farklı kil ve seramik malzemeler kullanılarak parça yazdırılmasıyla yazıcının performansı incelenmiştir. Üretimi yapılan yazıcının seramik malzemelerin yazdırılmasında kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, Seramik

Abstract

Rapid prototyping is a process which uses stl file format parts from CAD geometry and prints parts as layers. The 3D geometries can be built without any die set or fixtures and with various materials using rapid prototyping technologies. Recently, many studies have performed to use metal or ceramic materials as filaments in 3D printers instead of thermo plastic filaments. In this study, Cartesian 3D printer that prints ceramic parts was designed and built. The performance of produced 3D printer was examined in terms of prints parts with clay and ceramic material. It was determined that produced 3D printer can be used to print ceramic parts efficiently.

Keywords: 3D Printer, Ceramic

1. Giriş

Bilgisayar ortamındaki çizim programlarında (solidworks, catia, inventor, Uni-graphics v.b.) tasarlanan herhangi bir şekildeki 3 boyutlu nesnenin katı formda basılması işlemine 3 boyutlu baskı denir ve bu işlemi gerçekleştiren cihazlara 3 boyutlu yazıcılar denir [1]. Hızlı prototipleme olarak bilinen bu teknoloji de farklı yöntemler ve farklı hammaddeler kullanılmaktadır. En yaygın kullanıma sahip olan üç boyutlu yazıcıların çalışma prensibi, bilgisayar ortamında hazırlanmış herhangi bir üç boyutlu nesnenin bilgisayar ortamında katmanlara bölünmesi (.STL formatına dönüştürülmesi) ve sonra katman katman inşa edilerek gerçek objeyi oluşturmalarıdır. [2].

3 boyutlu yazıcı teknolojileri birçok farklı teknolojiyi bir arada sunar. Bu teknolojiler, Stereolithography (SL), Fused Deposition Modelling (FDM), Shape Deposition Manufacturing (SDM), Selective Laser Sintering (SLS), Objet Polyjet, Multijet, ColorJet gibi teknolojilerdir [3]. Günümüzde en çok kullanılanı FDM yöntemidir, yani bilgisayarda 3 boyutlu modeli bulunan cismin 2 boyutlu katmanlar halinde yığılmasıyla 3 boyutlu ürün elde edilmesidir. Bu teknolojiler de ABS (acrylonitrile butadiene styrene) , PLA (polylactic acid) , metal , plastik , demir tozu gibifarklı malzemeler kullanılır [4].

Anlatılan 3 boyutlu yazıcı teknolojilerinin dışında farklı bir sektörde de 3 boyutlu yazıcılar kullanılmaya başlanmıştır. 2013 yılında Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından 3 Boyutlu Yiyecek Yazıcıları hayatımıza girmiştir. NASA'nın bu projeyi hayata geçirmesindeki asıl neden, uzaydaki astronotların protein ihtiyaçlarını daha rahat karşılamasıdır. Karbonhidrat, protein tozu ve yağ içeren kartuşlara sahip 3 boyutlu yiyecek yazıcılarıyla hazırlanan projedeki ilk ürün pizzadır [5]. 3 boyutlu yiyecek yazıcılarının günümüzde kullanılmaya başlanmasındaki bir diğer neden de müşteri talebine özel olarak tasarlanmış yiyecekler için günümüzde artan bir pazar ihtiyacı oluşmasıdır. Bu ihtiyaç özel eğitilmiş

aşçılara gereksinim duymamızı sağlamıştır. 3 boyutlu yiyecek yazıcıları diğer adıyla yiyecek katmanlı üretim bu ihtiyaca bir çok alternatif sunmaktadır. 3 boyutlu müşteriye özel tasarlanmış yiyecek objeleri katman katman malzeme yığılma yöntemiyle, kalıplamaya ya da insan çabasına ihtiyaç duymadan üretilmektedir. Bu teknoloji kişiye özel yiyecek imalatında, üretim ve üretim verimliliğini artırıp, maliyetini düşürmeye yarar sağlamıştır [6].

Isıtılarak (fusing) inşa tekniğinde, toz halindeki malzemenin istenilen noktalarına lazer veya elektron ışını gibi enerji kaynakları gönderilir. Bu bölgelerin ısıtılıp eritilerek veya sinterlenerek birbirleri ile kaynaşması sağlanır. Enerji tekniği olarak lazer kullanıldığından dolayı, bu teknik genellikle Selective Lazer Sintering (SLS) Seçmeli Lazer Sinterlemesi olarak adlandırılır. Endüstriyel ve sanatsal seramik objelerin üretilebildiği bu teknoloji genel olarak 3 aşamada gerçekleştirilebilir. Öncelikle CAD ve benzeri yazılımlar kullanılarak, bir parça tasarlanmalıdır. Bu parçayı (veya seramik objeyi) bilgisayar veri olarak görmektedir. Daha sonra parça, uygun formatta kaydedilmelidir. Günümüzde STL uzantılı dosyalar, hızlı imalat için kullanılan cihazlarda standartlaştırılmıştır. “STL uzantısı parçayı poligon yaklaşımı kullanarak dönüştürmesi hızlı imalatla basitlik ve kullanışlılık kazandırmaktadır.” (Sofu vd. 2006:198) STL formatlı model, 3B yazıcıların yazdırma programlarında açılmaktadır. “Açılan model yazılım tarafından parçanın yüksekliği boyunca yatay katmanlara bölünerek (metaller için 0.05mm) SLS ve SLM cihazlarının parçaları inşa sırasında kullanılmak üzere hazırlanır.” (Sofu vd. 2006:198) [7].

Üç boyutlu yazıcılarda meydana gelen en önemli gelişme farklı malzemelerin bu teknolojiye kullanılmasıdır. Bu alanda yapılan çalışmalar ile nano-kompozit malzemeler, farklı plastik karışımlar ve farklı karışımlar içeren toz metaller kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni teknoloji, seramik sanatçıları tarafından, farklı bir şekillendirme yöntemi olarak kullanılmış, yeni seramik formların ortaya çıkmasını sağlamıştır [8].



Şekil 1. SLS Makinesinde Seramiğin Üretilmesi (Huson. 2011:5)

Tethon 3D gibi kuruluşlar ise sanatçılara ve tasarımcılara, üç boyutlu seramik eserlerini ve tasarımlarını üretime imkânı sağlamaktadırlar.



Şekil 2. Yazdırılmış parça örneği.

Bowling Green State University Seramik programının 1996'dan beri başkanlığını yürüten John Balistreri büyük boyutlu seramik heykellerinin yanısıra üç boyutlu yazıcı teknolojisi (SLS) kullanarak da eserler veren bir sanatçıdır. Sanatçı 3D Tea Bowl Project adını verdiği proje ile geleneksel çay kaplarını dijital ortama aktarır, üç boyutlu yazıcı teknolojileri ile üretmektedir [9].

3B printer'lar ticari amaçla plastik prototip üretmek üzere kullanılmaya başlanmıştır. Üç boyutlu baskı, ya da bir başka ifadeyle üç boyutlu çıktı, birçok farklı prosese sahiptir. Bu yöntem ile metal, plastik ve fotopolimerik (ışıkla sertleşebilen) materyal basılabilmektedir. Günümüzde üç boyutlu baskı makineleri, seramik hammaddesini diğer seramik ürünlerin sahip olduğu aynı estetik kalitede basabilmektedir. Daha sonraki işlemler geleneksel yöntemlerdeki gibi bisküvi ve sır/dekor pişirimi şeklindedir. Araştırmacılar bu üretimi daha da öteye taşıyarak, bu makinelerle sır ve dekoru porselen bünyeye uygulayıp aynı zamanda 1200C'de pişirme işlemini de gerçekleştiren fonksiyonlar da kazandırmışlardır. Çalışmalar üretim süresini daha da kısaltıp, iş gücü ve enerjiden tasarruf etme yönünde yeni uygulamalar ortaya koymaktadır: Mısır pastası'ndan ilham alınarak üretilen kendinden sırlı kompozisyonu üç boyutlu olarak basarak tek pişirimle sonuç alma yönünde uygulamalar yapılmaktadır. Aynı zamanda bu sayısal çıktı yöntemi CNC üretim yöntemini ileriye taşıyarak inşa edici farklı varyasyonlar da önermektedir. Endüstri tasarımcıları bu yöntemle zaman, iş gücü kazancı ve maliyet açısından bakarken, sanatçılar da bu yöntemlerin estetik potansiyel yönüne odaklanmakta olsalar da seramikte üç boyutlu çıktı yönteminin mühendislikte ileri teknoloji parçalarının üretiminde ve biyolojik uyumlu implantların üretilmesinde kullanılıyor olması heyecan verici bir başka yöndür [10].

Üç boyutlu yazıcıların seramik sanatında kullanımına en önemli katkıyı yapan sanatçılardan biri Jonathan Keep' tir. Sanatçı delta model olarak bilinen üç boyutlu yazıcı mekanizmasını, seramik çamuru ile çalıştırılabilir bir hale getirmiştir. Harç Yığma (FDM) tekniği ile çalışan, JK Delta Ceramic 3D Printer isimli bu yazıcı, herkes tarafından kolaylıkla kolay ulaşılabilir malzemelerden yapılmıştır. Böylece pek çok sanatçı tarafından kolayca yapılabilecek, basitleştirilmiş bir üç boyutlu yazıcının temellerini atmıştır [11].

2. Materyal ve Metot

Şu ana kadar pek çok farklı tasarımlarda 3B yazıcılar tasarlanmıştır. Günümüzde yazıcılar çoğunlukla eğitim, hobi amaçlı ve model üretimde ABS veya PLA gibi malzemeleri basmaktadır. Bu çalışmada seramik ürün üretebilen 3B yazıcı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

3B yazıcının şasesi 40x80 sigma profillerden oluşturulmuştur. Eksen hareketleri; X eksenini için (taban sacı-yazma alanı 210x210) ray-araba sistemi ile kayış-kasnak mekanizması kullanılmıştır. Y eksenini; hareket edebildiği uzunluk 200mm dir. Hareket iletimi, ray üzerinde araba ve kayış-kasnak mekanizması ile hareket sağlanmıştır. Z eksenini; iletim sistemi vidalı mil somunu ile çift taraftan hareket iletimi sağlanmıştır.



Şekil 3. Step(adım) Motorları Vekayış Kasnak Sistemi



Şekil 4. Z Eksenini Vidalı Mil ve Somun Sistemi

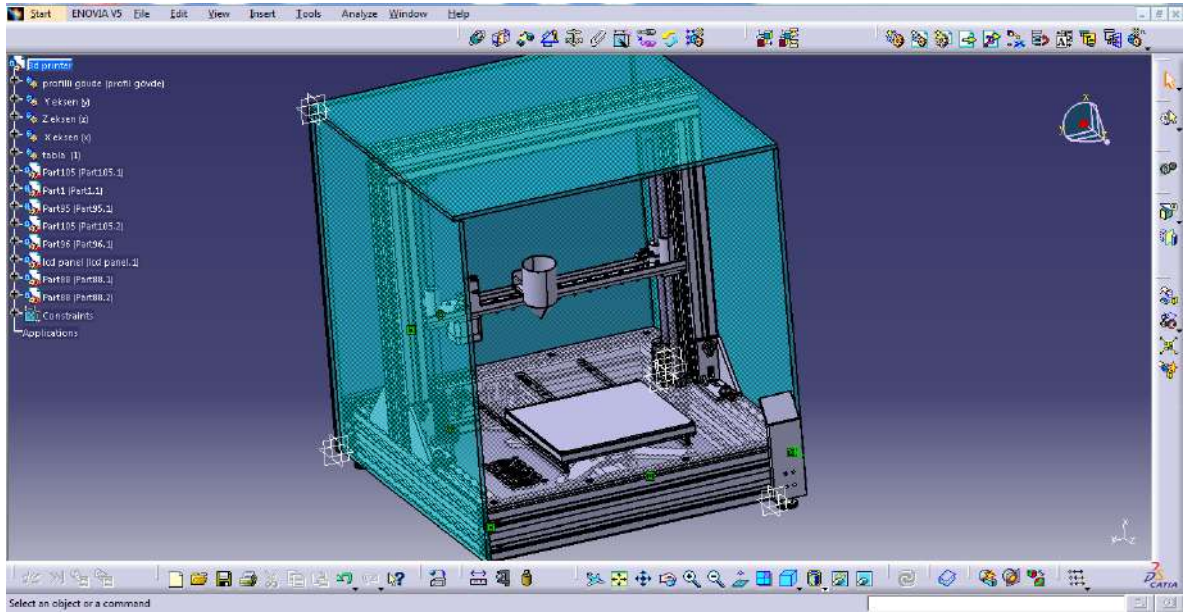
Taban X eksenini tablası ve yazdırma alanı 210x210x1.5 mm sactan meydana gelmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. X eksen sacı

3. Tasarım ve Prototip

Bu çalışmada, Şekil 6.'te görülen 3B seramik yazıcısı modellenmiştir. Modelleme CATIA V5 R19 programında gerçekleştirilmiştir. 3B yazıcının toplam büyüklüğü 500x550x480 mm boyutlarındadır. Yazıcı yazma alanı ise 210x210 mm dir.



Şekil 6. 3B Seramik yazıcısı modellemesi

Sistemin kurulumu ve montaj hali Şekil 7'de verilmiştir. 3B yiyecek yazıcısına ait teknik özellikler Çizelge 1'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Sistemin Montajı

Çizelge 1. Yazıcı Teknik Özellikler

Genel boyutlar	500 x 550 x 480 mm
Baskı boyutları	210x210
Baskı malzemesi	Seramik, kil, derz
Step motor	Nema 17
Nozzle çapı	Ø1.5 mm, Ø3 mm, Ø5 mm

4. Yazdırma Ayarları

Üç boyutlu yazıcılardan ürün çıkarabilmek için ilk aşamada bu ürünün CAD ortamında üç boyutlu modellenmesi gerekir. Ürün STL formatında kaydedilir ve üç boyutlu yazıcı kontrol programlarına aktarılır. Tasarımı yapılan nozzle (yazıcı başlık, yazıcı kontrolü için kullanılan Cura-15.04.3 yazılımı ile uyumu sağlanmış ve Şekil 8’de Cura arayüzünde belirtilen program ayarları gösterilmiştir.

Şekil 8. Cura Ayarları

Seramik yazıcıda nozul 1,5- 2 bar arası kompresör basıncı ile yazdırma yapabilmektedir (Şekil 9). 3B seramik yazıcıyı kontrol etmek için Arduino kart kullanılmıştır ve kontrol programı Cura'dır.

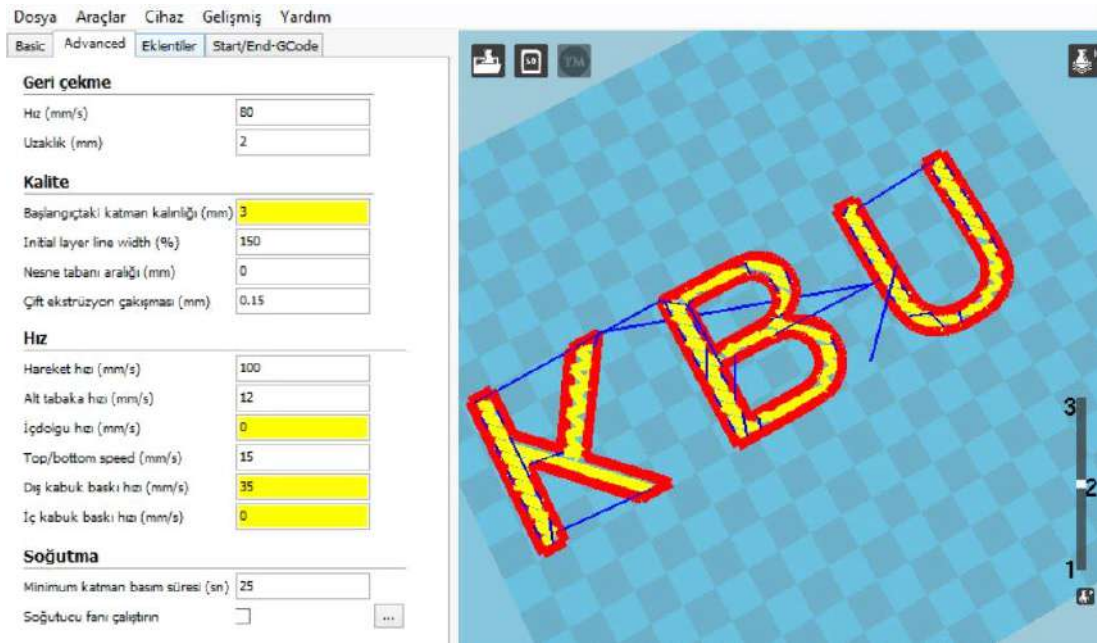


Şekil 9. Ekstrüder Kafası

3B seramik yazıcıyı kontrol etmek için Arduino kart kullanılmıştır ve kontrol programı Cura'dır.

5. Uygulamalar

Solidworks programında oluşturulan "KBU" karakteri STL formatında kaydedildikten sonra CURA programında dilimlenme işlemi yapılmıştır. Ayarlar Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Alçı Uygulamasının Cura Dilimleme İşlemi

Basımı yapılabilir bir alçı elde edebilmek için birçok malzeme ve alçı-su oranları denenmiştir. En uygun olanı bir buçuk bardak alçı ile bir bardak su da en uygun yazdırma hamuru sağlanmıştır. Alçı yazdırma uygulaması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Alçı Yazdırma Uygulaması

6. Sonuçlar

Bu çalışmada üç boyutlu yazıcı tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada seramik, alçı, derz vb. Malzemelerin yazdırma işlemleri yapılmıştır. Çeşitli doluluk oranlarında (%10,%20...)ve çeşitli örgü şekilleri ile parça basma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Parça basımında kompresör basıncı 1,5-2 bar arası değişmektedir.

Referanslar

1. Çavdar, U., Atik, E. (2011). Geleneksel ve Hızlı Sinterleme Yöntemleri. CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, Yıl: 2011, Cilt: 1, Sayı: 15.
2. Levy, Gideon N.; Schindel, Ralf; Kruth, Jean-Pierre. Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2003, 52.2: 589-609.
3. Guo, Nannan; Leu, Ming C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2013, 8.3: 215-243.
4. Kreiger, Megan; Pearce, Joshua M. Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2013, 1.12: 1511-1519.
5. Bourland, Charles T. The development of food systems for space. *Trends in Food Science & Technology*, 1993, 4.9: 271-276.
6. Sun, Jie, et al. 3D food printing—an innovative way of mass customization in food fabrication. *International Journal of Bioprinting*, 2015, 1.
7. Sofu, M.M., Delikanlı, K. (2006). Hızlı Direkt İmalat Yöntemleri ve Uygulamaları. TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi, 26-28 Nisan 2006.
8. Huson D. 3D Printing of Ceramics for Design Concept Modelling. Digital Fabrication 2011 Conference, NIP 27, 27th International Conference on Digital Printing Technologies, Minnesota, USA, October 2011.
9. Qian, B. Shen, Z. (2013). Laser Sintering Of Ceramics. *Journal of Asian Ceramic Societies* 315–321.
10. Özgündoğdu, A. F. (2014). Seramik Üretiminde Çağdaş Bir Biçimlendirme Yöntemi Olarak Üç Boyutlu Yazıcılar. 8. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu Bildiriler Kitabı – 203.
11. Özgüven, Sanver. "Seramik Sanatında Üç Boyutlu Yazıcıların Yeni Bir İfade Biçimi Olarak Kullanılması". *idil* 4.18 (2015): 167-183.