



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Hızlı Prototip Uygulamaları için Farklı Materyaller Aracılığıyla Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi

 Ufuk ÇİFCİ^{a,*},  Arif ÖZKAN^b,  Çağatay TAŞDEMİRÇİ^b

^a Elektrik-elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ufuk.cfc90@gmail.com

DOI : 10.29130/dubited.544192

ÖZET

Mühendislik teknolojisi, güncel teknolojiler ile tersine mühendislik uygulamaları için yöntem ve cihazlar geliştirmektedir. Bu alanda üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojileri gerek malzeme gerekse üretim yöntemi anlamında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu araştırma çalışmasında çeşitli hammadde ve çok boyutlu yazıcı yardımı ile yüzey pürüzlülüğü ve tekrarlı üretimdeki verimlerinin yanı sıra kullanılan materyale bağımlı olarak numune maliyetleri değişkenleri ve baskı süreleri incelenmiştir. Çok boyutlu yazıcılar ile gerek prototip üretiminde kullanılabilirliği gerekse istikrarlı verim alabilme uygulamaları ele alınmış olup yeterli olan malzeme miktarında tasarıma uygun kıyaslamalar açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok boyutlu yazıcılar, İmalat teknolojileri, Prototip üretimi, Yüzey pürüzlülüğü.

Investigation of the effects of three-dimensional printer technologies on surface roughness through different materials

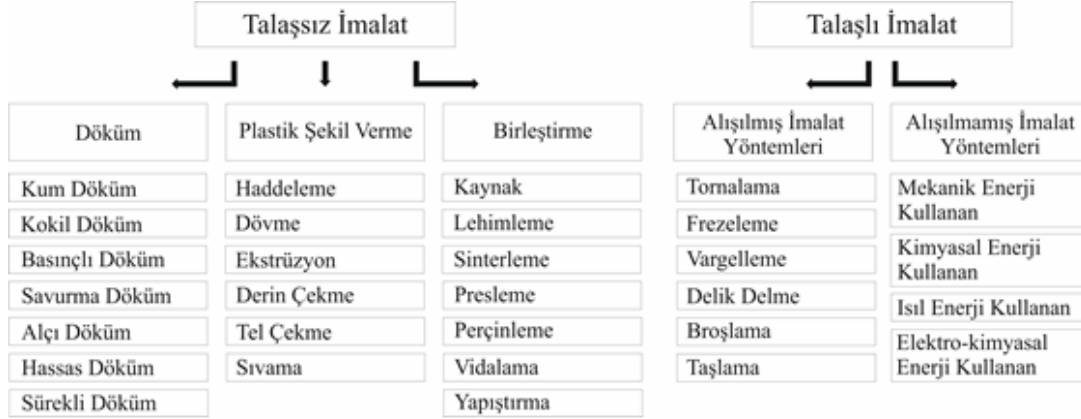
ABSTRACT

Engineering technology develops methods and devices for reverse engineering applications with up-to-date technologies. In this area, three-dimensional design and manufacturing technologies are frequently used in terms of both material and production method. In this study, surface roughness and efficiency in repetitive production were investigated with the help of various raw materials and multidimensional printers. In addition, sample costs variables and printing times were examined depending on the material used. The use of multidimensional printers in prototype production is discussed. Stable efficiency applications are taken into consideration and appropriate comparisons of design are explained.

Keywords: Multi-dimensional printers, manufacturing technologies, prototype production, surface roughness

I. GİRİŞ

Endüstriyel imalat yöntemleri genel olarak talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Bu gruplar Şekil 1'de gösterildiği gibidir. Talaşlı imalat, alıılmış imalat yöntemleri ve alıılmamış imalat yöntemleri olmak üzere iki gruba ayrılırken, talaşsız imalat yöntemleri döküm, plastik şekil verme ve birleştirme olmak üzere üç grupta incelenebilir [1].



Şekil 1. İmalat yöntemlerinin sınıflandırılması.

Gelişen teknoloji ile birlikte imalat yöntemleri her geçen gün farklı bir boyuta ulaşmaktadır. Bunun en önemli örneklerinden biri ise çok boyutlu yazıcılar olarak göze çarpmaktadır. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi henüz halk arasında popüler bir yöntem olmamasına karşın, bu teknoloji ile elde edilen başarılar sayesinde her geçen gün daha fazla adı duyulmaktadır. Tasarım ve imalat konusunda sunduğu özgür fikir ve üretim koşullarını baz alındığı zaman, bu sektördeki yeniliklerin de bu kadar hızlı bir şekilde gelişmesi ile doğru orantılı olması hiç de sürpriz değildir [2].

Plastik türevleri, polimer, metal ve metal alaşımları, seramik vb. gibi geniş bir yelpaze ile bilgisayar teknolojisi eşliğinde üç boyutlu katı obje üretmeyi mümkün kılan yeni jenerasyon imalat teknolojisinin keşfi 1970'li yıllara kadar dayanmaktadır [3]. El işçiliği ve diğer imalat yöntemleri ile üretimi imkansız karmaşık formların üretimine imkan veren bu teknoloji otomotiv, mimari, inşaat, tıp, biyoteknoloji, endüstriyel tasarım, moda tasarımı ve gıda gibi sektörleri içinde barındırmaktadır [3, 4].

Çok boyutlu yazdırma, dijital ortamda hazırlanmış olan üç boyutlu verilerden üç boyutlu katı obje imalatı sürecidir. Bu aşamayı gerçekleştiren makineler çok boyutlu yazıcılar olarak adlandırılır. Bu makineler aracılığı ile üç boyutlu tasarımı gerçekleştirilen veriler, çok kısa bir süre içerisinde elle tutulur şekilde incelenmeye olanak sağlayan katı nesnelere haline gelebilmektedir. Yazdırılacak model, amaca hizmet eden çeşitli programlar kullanılarak bilgisayar ortamında dilimleme adı verilen işlemden geçer ve istenen hassasiyetlerde katmanlara ayrılır. Bu katmanlar üç boyutlu yazıcının kullandığı teknolojiye göre farklı işlemden geçen materyal üst üste yığılma halinde yazdırılarak somut nesnelere haline dönüşür [5]. Bu sayede oluşturduğumuz somut nesnelere amacına uygun kullanmak, gerek geliştirme konusunda, gerek maliyet konusunda bize pek çok çeşitli olanak sağlamaktadır.

Üç boyutlu yazıcılar yeni bir ürün tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde o ürünü elinize alıp kontrol etmenize olanak vermesi en büyük avantajı olarak görülmektedir. Bu yönleriyle üç boyutlu yazıcılar imalat sektöründe geleceği belirleyecek robotlar olarak göze çarpmaktadırlar [6].

Prototip imal etme konusunda düşük maliyetli olması ile öne çıkmış olmasına rağmen üreticiye

zamandan da tasarruf sağlamakta olan üç boyutlu yazıcılar, daha şimdiden endüstride büyük bir öneme sahiptir. Çok boyutlu yazdırma teknolojisinde kullanılan çeşitli yöntem ve teknolojiler birbirine benzer olmasına karşın, oldukça çeşitlidir ve her sektöre hitap etmektedirler [7].

Bu teknolojinin diğer önemli özelliği ise karmaşık yapıya sahip, gerek iç içe sarmal, gerek ince işlemeli modellerde kullanıcıya imalat imkanı sağlamasıdır. Bu teknolojiye baskısı alınacak modelin ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğunun hiçbir sakıncası yoktur. Tüm tasarımları tek parça halinde yazdırma özelliğine sahiptir. Yazdırma işlemi sırasında modelde bulunan yapılar arasındaki boşlukları tamamlamak amacı ile üretim teknolojisine göre farklı destek materyalleri ile bu hizmeti bize rahatlıkla sağlamaktadır. Yazdırma işlemi tamamlandıktan sonra kullanılan destek materyali baskısı alınan katı objeden çıkarılıp, istediğimiz yapıya sahip olmamızı mümkün kılmaktadır. Her türlü materyali destek materyali olarak kullanmamıza olanak vardır. Bazı yazıcılarda modelde bulunan yapılar arasındaki boşluklar toz şeklinde destekleme yapılırken, FDM teknolojisi kullanan yazıcılarda sadece destek materyali olarak kullanılan ve suda eriyen materyal de bulunmaktadır. Tüm destek materyalleri uygulanması gereken işlemler ile temizliği yapıldıktan sonra amaca uygun kullanıma gelmektedir [8]. Üç boyutlu yazdırma teknolojisi ile tek parça olarak üretilmiş karmaşık yapıya sahip model örneği Şekil 2'de gösterildiği gibidir [9].



Şekil 2. Üç boyutlu yazdırma teknolojisi ile tek parça olarak üretilmiş karmaşık yapıya sahip model örneği.

İmalat birçok değişkenin belirli koşullar altında bir araya gelmesi ile sürdürülen bir süreçtir. Üretim tarzında veya bileşenlerinde meydana gelen değişimler, tarihte dönüm noktası olan anlara işaret eder. Ağır sabanın bulunması, Avrupa tarihinde önemli bir yere sahipse, buhar makinesinin icadı insanoğluna yeni bir çağın kapılarını açmışsa, 3D (üç boyutlu) yazıcıların da insanlık tarihi adına benzer bir etki göstereceği değerlendirilmektedir [10]. 3D yazıcılar, bilgisayar kontrolü ile üç boyutlu somut nesnelere üretebilen endüstriyel bir robot olarak insanlara hizmet etmektedir [11].

3D yazıcılar endüstri alanında kullanılan geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla farklı teknikler kullanarak üretim yapmaktadır. Geleneksel üretim yöntemlerindeki gibi nesnelere keserek, bükerek veya delerek şekillendirmek yerine, dijital olarak tasarlanan modeli katmanlar halinde lazer sinterleme, üst üste yığıma, polimer sertleştirme gibi farklı işlem basamakları kullanarak nesnelere şekillendirir. 3D baskı teknolojilerinde en yaygın olarak kullanılan yöntem katmanlı üretim yöntemleri olarak göze çarpmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı ise plastik malzemenin eritilerek katı nesnelere oluşturulmasını sağlayan FDM (kaynamış birikim modelleme) yöntemidir [12].

Tüm sektörlerde olduğu gibi imalat sektöründe de yükseliş gösteren teknolojik imkanlar ile ürün geliştirme süreç ve süresinin kısaltmaya devam ettiği göze çarpmaktadır. Eklenebilir imalatla alışılmamış imalat yöntemleri olarak bu gelişmelere öncülük etmektedir [13].

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

Çalışmada FDM 1 NO, 2 NO ve 3 NO ile kodlanan üç farklı çok boyutlu yazıcı modeli kullanılmıştır. FDM 1 NO ile kodlanan üç boyutlu yazıcı ile baskısı alınan numunelerin Türk markası olan X marka PLA filament ve yine bir başka Türk markası olan Y marka ABS filament olmak üzere iki çeşittir. 2 NO ve 3 NO ile kodlanan üç boyutlu yazıcıları ile baskısı alınan numunelerin materyalleri VisiJet'tir. Bu materyaller maliyet bakımından FDM teknolojisinde kullanılan materyallere göre (PLA, ABS, STH, PETG v.b.) oldukça pahalıdır. Çalışmada FDM 1 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcı ile kullanılmış ABS ve PLA filamentlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri sırasıyla Tablo 1. ve Tablo 2.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. Çalışmada FDM 1 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcı ile kullanılmış ABS filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [14].

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül ağırlık		ASTM D792	g/cm^3	1,032
Çekme mukavemeti	2mm/dk.	ASTM D638	MPa	10,4
Elastik modülü	2mm/dk.	ASTM D638	MPa	800
Eğme mukavemeti	1,15mm/dk.	ASTM D790	MPa	43,05
Eğme modülü	1,15mm/dk.	ASTM D790	MPa	2180
İzod darbe dayanımı		ASTM D256	kJ/m^2	30,45
Geçiş sıcaklığı tayini		ASTM D3418	$^{\circ}C$	100,59- 100,08
Isıl defleksiyon (HDT)		ASTM D648	$^{\circ}C$	64,3-61,0
Shore D sertlik		ASTM D2240		78,0-89,5
Erime akış hızı (MFR)	190 $^{\circ}C$ /2,16kg.	ASTM D1238	$g/10dk.$	4,31

Tablo 2. Çalışmada FDM 1 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcı ile kullanılmış PLA filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [15].

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül ağırlık		ASTM D792	g/cm^3	1,24
Döküm çekme		ASTM D955	%	0,2-0,4
Erime akış hızı	220 $^{\circ}C$ /10kg	ASTM D1238	$g/10dk.$	27
Gerilme direnci	@3,2mm esneme 50mm/dk.	ASTM D638	MPa	57.859
Çekme uzaması	@3,2mm kırılma 50mm/dk.	ASTM D638	%	4
Gerilme modülü	@3,2mm 1mm/dk.	ASTM D638	MPa	3.236
Bükülme mukavemeti	@3,2mm 15mm/dk.	ASTM D790	MPa	53.936

Tablo 2. Çalışmada FDM 1 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcı ile kullanılmış PLA filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri (devamı).

Bükülme modülü	@3,2mm 15mm/dk.	ASTM D790	MPa	2.255
İzod darbe dayanımı	23°C	ASTM D256	kg-cm/cm	16
6,4mm çentikli	-30°C		kg-cm/cm	10
İzod darbe dayanımı	23°C	ASTM D256	kg-cm/cm	16
3,2mm çentikli	-30°C		kg-cm/cm	10
Rockwell sertlik	R-scale	ASTM D785		75
Vicat yumuşama sıcaklığı	5kg. 50°C/s	ASTM D1525	°C	58

Çalışmada 2 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcıda kullanılan VisiJet M3 Crystal materyal ve 3 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcıda kullanılan VisiJet C4 Spectrum materyallerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri sırasıyla Tablo 3. ve Tablo 4.'te gösterildiği gibidir.

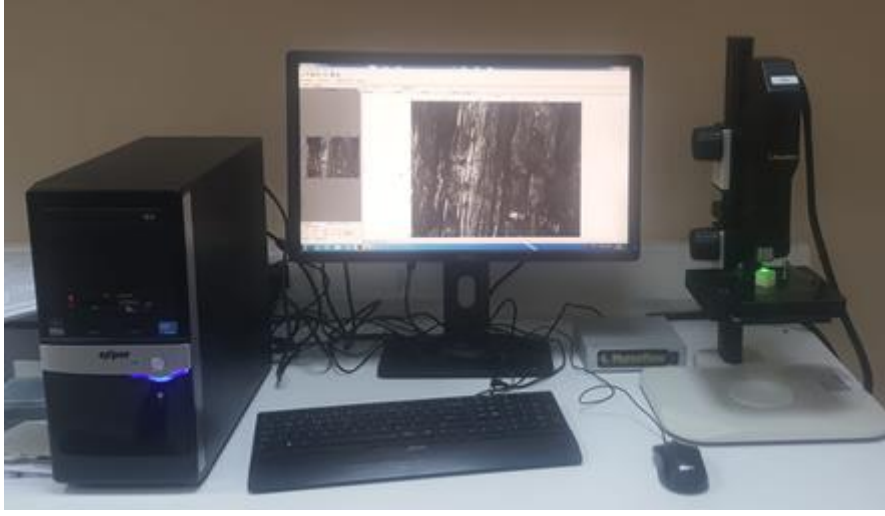
Tablo 3. Çalışmada 2 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcı ile kullanılmış VisiJet M3 Crystal materyalin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [16].

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Bileşim				UV kürlenebilir plastik
Şişe miktarı			kg	2
Yoğunluk	@80° C (sıvı)	ASTM D4164	g/cm ³	1,02
Gerilme direnci		ASTM D638	MPa	42,4
Gerilme modülü		ASTM D638	MPa	1463
Kopma uzaması		ASTM D638	%	6,83
Bükülme mukavemeti		ASTM D790	MPa	49
Isı bozulma sıcaklığı		ASTM D648	°C	56
USP sınıfı VI onaylı				Evet
ProJet uygunluğu				SD, HD
Açıklama				Sert plastik, yarı saydam

Tablo 4. Çalışmada 3 NO ile kodlanan çok boyutlu yazıcı ile kullanılmış VisiJet C4 Spectrum materyalin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [17].

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Gerilme direnci		ASTM D638	MPa	24,8
Gerilme modülü		ASTM D638	MPa	1600
Kopma uzaması		ASTM D638	%	3,6
Bükülme mukavemeti	Sünme	ASTM D638	MPa	36,5
	Son	ASTM D638	MPa	24,4
Eğilme modülü		ASTM D790	MPa	1125
Shore D sertlik		ASTM		79
		D2240		
Isı bozulma sıcaklığı		ASTM D648	°C	57

Yüzey pürüzlülükleri deneyi, bilgisayar kontrollü, *Phase View* marka optik profilometre görüntüleme cihazında yapılmıştır. Bu cihaz Şekil 3.'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Deneyde kullanılan optik profilometre görüntüleme cihazının fotoğrafı.

B. METOT

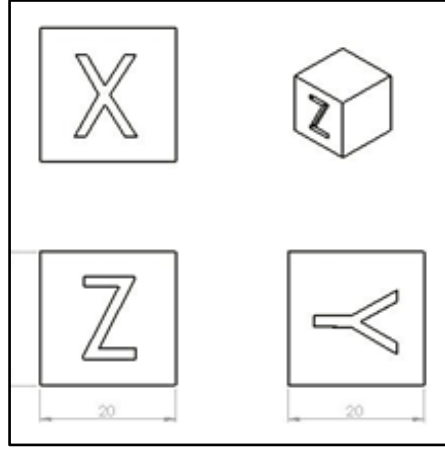
Deney numuneleri üç boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiştir. Farklı tipte üç boyutlu yazıcılar ve hammaddeler kullanılarak deney çeşitliliği artırılmıştır. Böylece bu teknolojinin bize sunduğu imkanlar daha net bir şekilde gözler önüne serilmiştir.

Üretilen üç boyutlu baskı numunelerine yüzey pürüzlülüğü testi uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin deneysel tasarımı Tablo 5'te detaylı şekilde gösterilmiştir.

Tablo 5. Deneysel tasarım çizelgesi.

3D Yazıcı Türü	Materyal Türü	Yazdırılan Katman Yüksekliği				Toplam
		32 μm	100 μm	200 μm	300 μm	
FDM 1	ABS	-	-	3	3	6
NO	PLA	-	-	3	3	6
2 NO	VisiJet	3	-	-	-	3
3 NO	VisiJet	-	3	-	-	3
Toplam		3	3	6	6	18

Yüzey pürüzlülükleri deneyi için numune olarak üç boyutlu yazıcı için kullanılan kalibrasyon küpü seçilmiştir. Kalibrasyon küpü olarak bilinen bu parça, makinenin gerekli baskı parametrelerini sağlamak amacıyla yazdırılan bir şekildedir. Numune boyutları Şekil 4'te gösterildiği gibidir. Dijital olarak kaydedilen yüzey pürüzlülükleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4. Deney numunesi boyutları.

Yüzey pürüzlülükleri deneyi için yazdırılan numunelerin baskı parametreleri, baskısı alınan yazıcıya göre değişiklik göstermiştir. Tekrarlı üretime bağlı olarak aynı üç boyutlu yazıcıda aynı yazdırma hassasiyeti ile üretilen numune yazdırma sürelerinde bir değişikliğe rastlanmamıştır. Deneylerde kullanılan baskı parametreleri Tablo 6’da gösterildiği gibidir.

Tablo 6. Deneylerde kullanılan baskı parametreleri.

3D Yazıcı Türü	Materyal Türü	Yazdırma Hassasiyeti (μm)	Doluluk Oranı (%)	Yazdırma Süresi (min.)
FDM 1 NO	ABS	200	20	24
		300	20	17
	PLA	200	20	24
		300	20	17
2 NO	VisiJet	32	100	407
3 NO	VisiJet	100	100	96

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı materyaller kullanılarak, farklı yüzey kalitesinde üç boyutlu baskısı alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen yüzey pürüzlülükleri deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler ve numune materyal birim maliyetleri Tablo 7’de gösterildiği gibidir. Üç boyutlu baskı sonrası elde edilen numunelerin yüzeylerine herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Yüzey pürüzlülükleri deneyi numune materyal maliyetleri, baskısı alınan yazdırma materyaline göre değişiklik göstermiştir. FDM 1 NO kodlu yazıcıda numuneler %20 doluluk oranı ile, 2 NO ve 3 NO kodlu yazıcılarda numuneler %100 doluluk oranı ile yazdırılmıştır. Tüm yüzey hassasiyetlerinin her birine ait 3 numune bulunmaktadır ve tüm numunelerin yüzey pürüzlülükleri değerleri Z eksenine göre raporlandırılmıştır.

Tablo 7. Yüzey pürüzlülükleri deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler ve numune materyal birim maliyetleri.

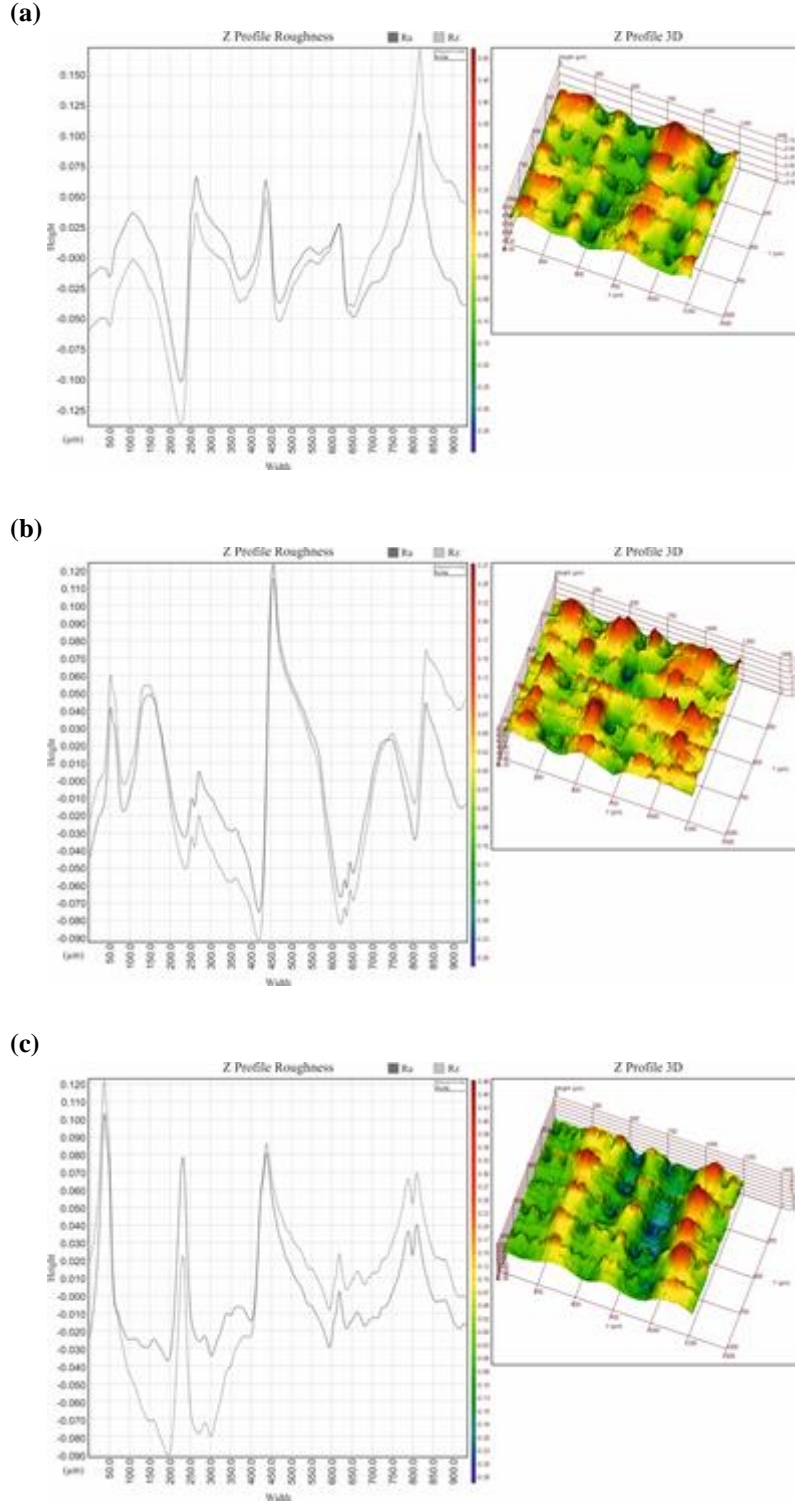
3D Yazıcı Türü	Materyal	Yazdırma Hassasiyeti (μm)	Rz			Numune Ağırlığı (gram)	Materyal Fiyatı (TL/kg)	Materyal Maliyeti (TL)
			Ra (μm)	(JIS) (μm)	Rt (μm)			
FDM 1 NO	ABS	200	0,025	0,111	0,205	0,033	4,3466	0,34
			0,030	0,101	0,199	0,037	4,3213	0,34
			0,022	0,088	0,141	0,028	4,3181	0,34
		300	0,061	0,297	0,516	0,083	4,5270	0,36
			0,030	0,153	0,264	0,040	4,5154	0,36
			0,020	0,090	0,182	0,028	4,5105	0,36
	PLA	200	0,056	0,185	0,369	0,071	4,7643	0,42
			0,033	0,145	0,224	0,043	4,7696	0,42
			0,030	0,140	0,226	0,041	4,7571	0,42
		300	0,025	0,105	0,184	0,036	4,9531	0,44
			0,027	0,114	0,179	0,034	4,9662	0,44
			0,029	0,122	0,167	0,036	4,9732	0,44
2 NO	VisiJet	32	0,026	0,149	0,315	0,034	8,8844	31,98
			0,026	0,149	0,315	0,034	8,8844	31,98
			0,026	0,149	0,315	0,034	8,8844	31,98
3 NO	VisiJet	100	0,040	0,193	0,323	0,051	6,5963	13,74
			0,040	0,193	0,323	0,051	6,5963	13,74
			0,040	0,193	0,323	0,051	6,5963	13,74

Not: Döviz 4,5676 TL olarak 12 Haziran 2018 tarihine göre hazırlanmıştır.

Deney sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülükleri değerlerinin yazıcının türüne ve malzeme ile ortam şartlarına bağlı olarak değiştiği, çalışmada kullanılan tüm çok boyutlu yazıcıların izin verilen ve kabul edilen kalibrasyon ayarları ile alakalı sapma ile hassasiyet problemi yaşadığı tespit edilmiştir. Fakat bu teknolojide ürünler katmanlı imalat yöntemi ile üretildiği için yüzey pürüzlülükleri kabul edilebilir seviyededir. Kullanılan materyal türünün küreleşme ve ortam koşullarına uyum sağlama süreçlerinde bu sapmaların meydana geldiği düşünülmektedir. Ev tipi kullanıma uygun olan FDM 1 NO kodlu yazıcının gerekli kalibrasyonlar yapılması şartıyla, profesyonel kullanıma uygun olan 2 NO ve 3 NO kodlu yazıcılara kıyasla benzer yazdırma kalitesine ulaştığı fakat FDM 1 NO kodlu yazıcının aksine 2 NO ve 3 NO ile kodlanan profesyonel kullanıma yönelik çok boyutlu yazıcıların baskı kalitesinde tekrarlı üretimde istikrarlı yüzey kalitesi değerlerine ulaşabildiği sonucuna varılmıştır.

A. FDM 1 NO KODLU YAZICI ÇIKTISININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İNCELENMESİ

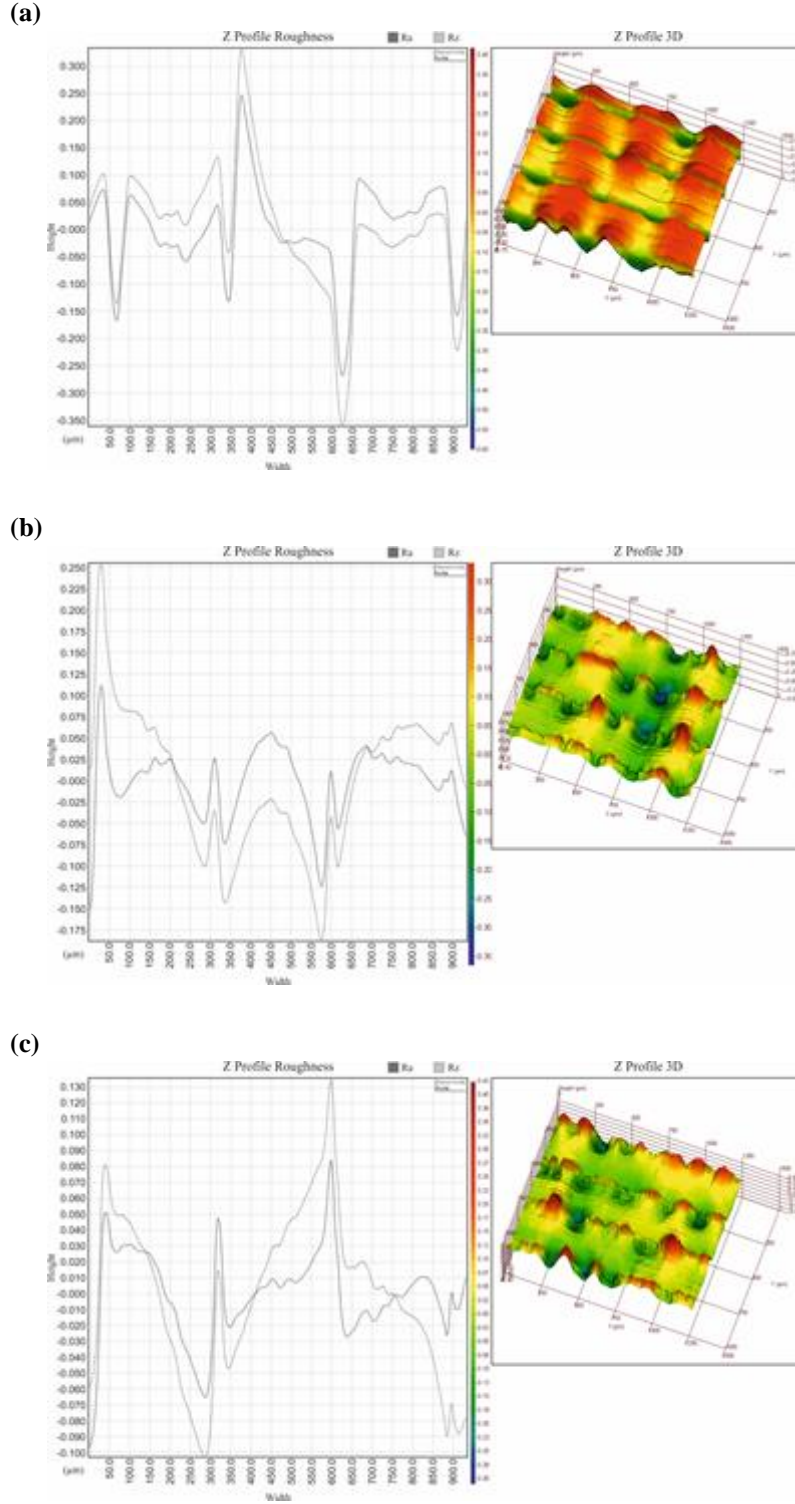
FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan numunelerin sırasıyla yüzey pürüzlülüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları Şekil 5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5. FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 200 µm hassasiyetinde baskısı alınan (a) numune 1, (b) numune 2 ve (c) numune 3'ün yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları.

Şekil 5 (a), (b) ve (c)'de görüldüğü üzere koyu gri renk ile gösterilen Ra (aritmetik ortalama sapma) ve açık gri renk ile gösterilen Rz (beş tane en yüksek ve beş tane en alçak noktanın ortalaması) değerlerinin her bir numunede farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

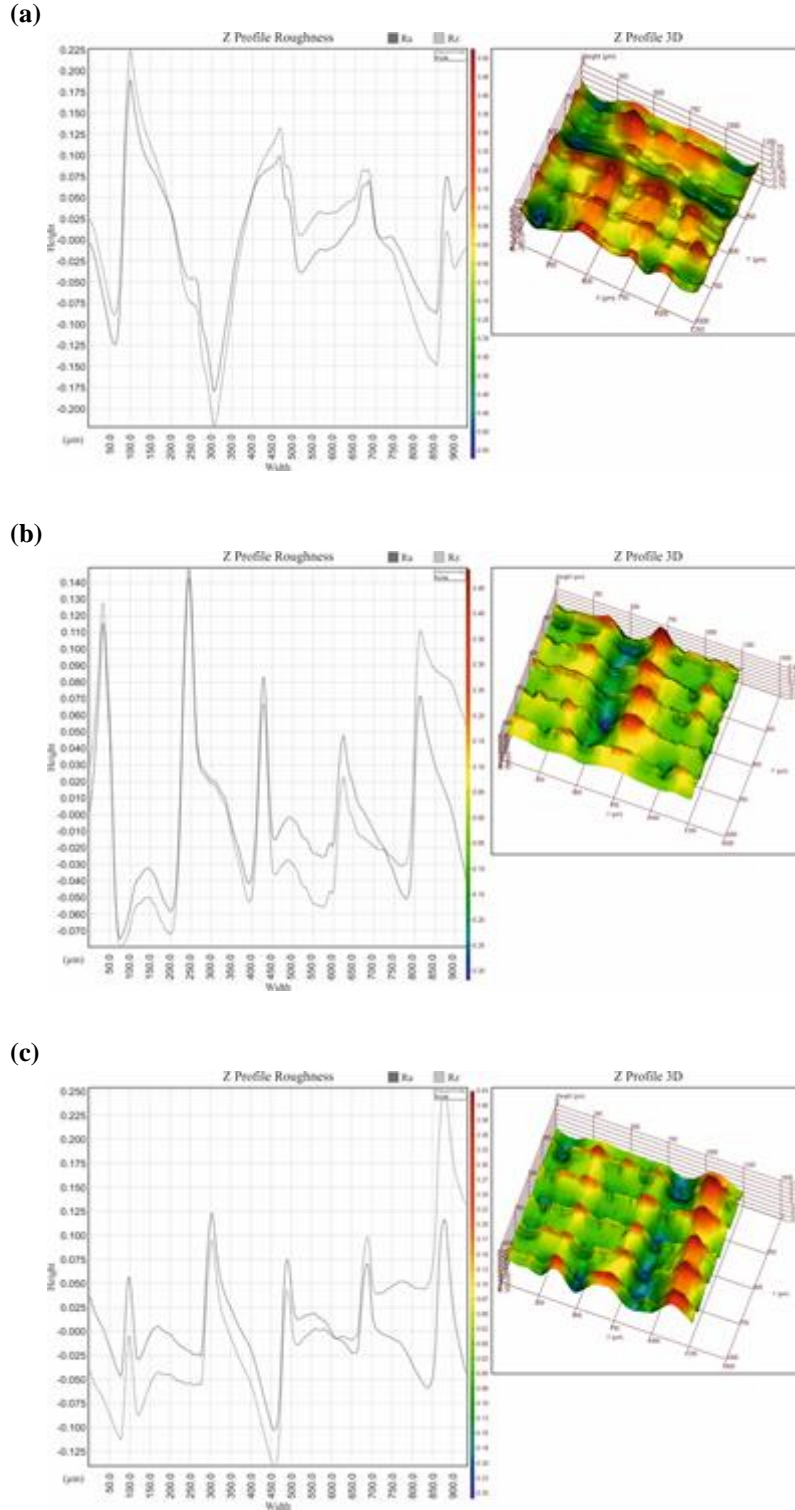
FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 300 μm hassasiyetinde baskısı alınan numunelerin sırasıyla yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları Şekil 6’da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 300 μm hassasiyetinde baskısı alınan (a) numune 1, (b) numune 2 ve (c) numune 3'ün yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları.

Şekil 6 (a), (b) ve (c)'de görüldüğü üzere koyu gri renk ile gösterilen Ra ve açık gri renk ile gösterilen Rz değerlerinin her bir numunede farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan numunelerin sırasıyla yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları Şekil 7’de gösterildiği gibidir.

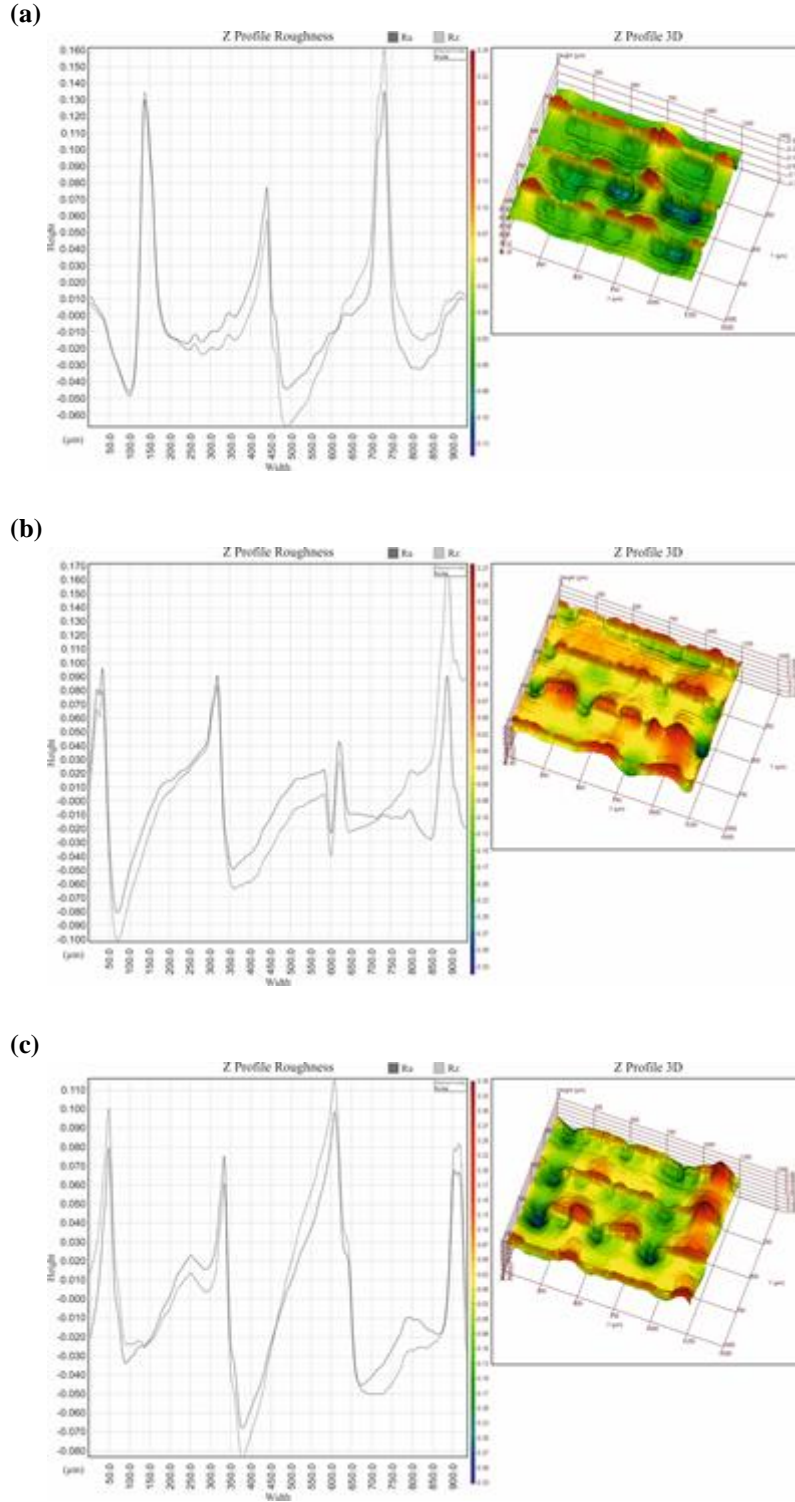


Şekil 7. FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan (a) numune 1, (b) numune 2 ve (c) numune 3’ün yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları.

Şekil 7 (a), (b) ve (c)’de görüldüğü üzere koyu gri renk ile gösterilen Ra ve açık gri renk ile gösterilen

Rz değerlerinin her bir numunede farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 300 µm hassasiyetinde baskısı alınan numunelerin sırasıyla yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları Şekil 8’de gösterildiği gibidir.



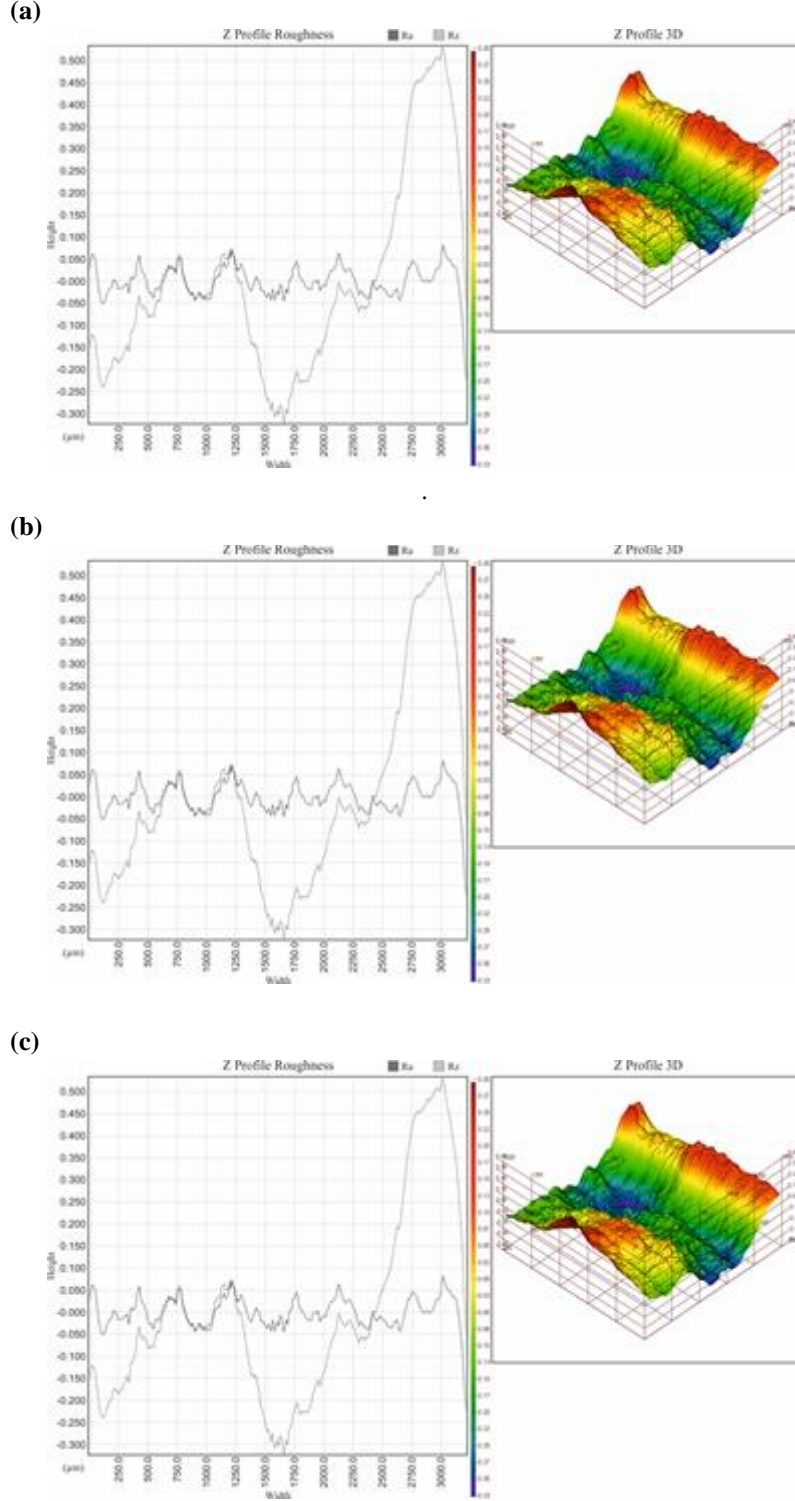
Şekil 8. FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 300 µm hassasiyetinde baskısı alınan (a) numune 1, (b) numune 2 ve (c) numune 3'ün yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları.

Şekil 8 (a), (b) ve (c)'de görüldüğü üzere koyu gri renk ile gösterilen Ra ve açık gri renk ile gösterilen

Rz değerlerinin her bir numunede farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

B. 2 NO KODLU YAZICI ÇIKTISININ YÜZEY PÜRÜZLÜĞÜ İNCELENMESİ

2 NO kodlu yazıcıdan VisiJet materyal kullanılarak 32 µm hassasiyetinde baskısı alınan numunelerin sırasıyla yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları Şekil 9'da gösterildiği gibidir.

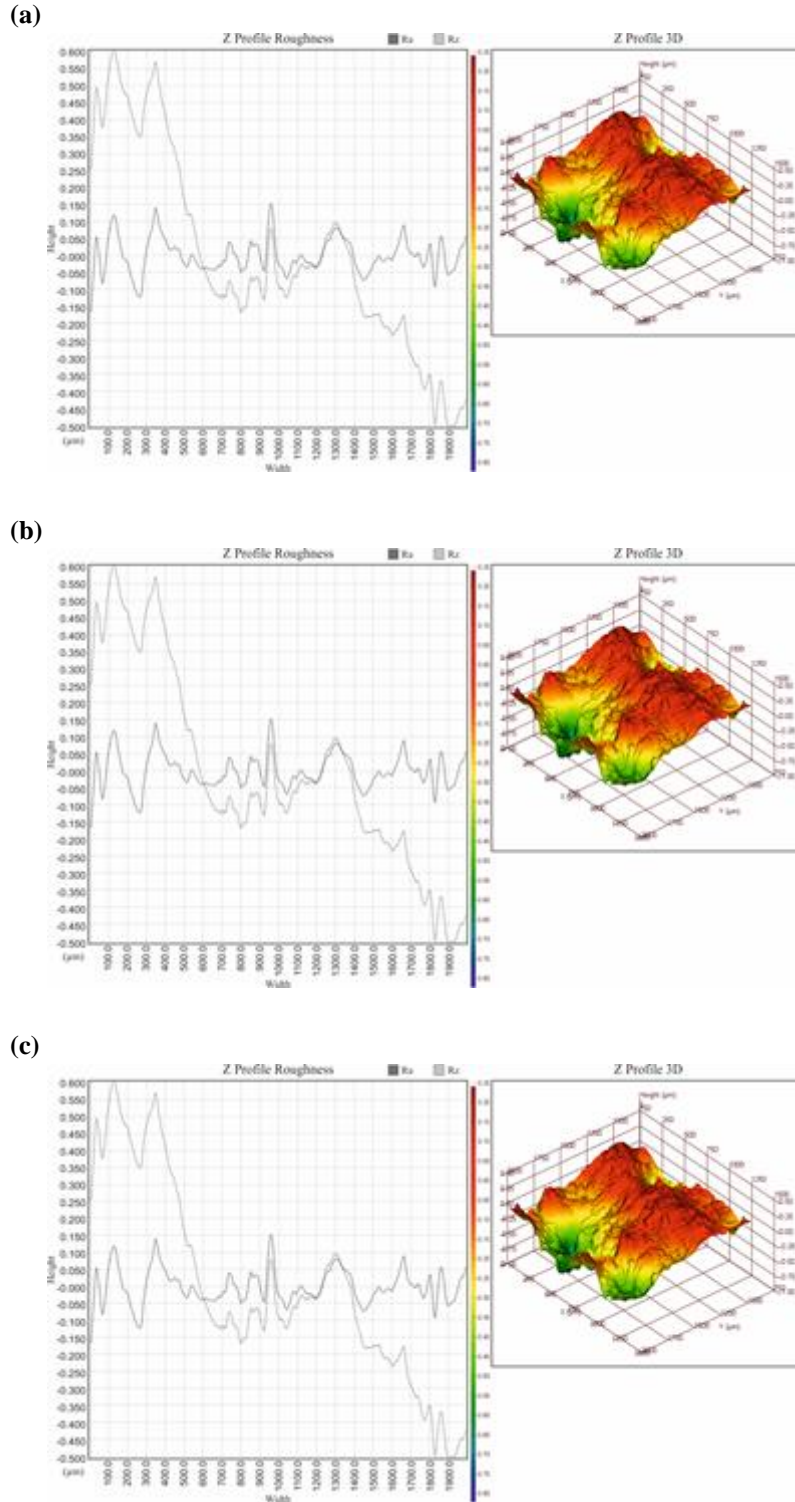


Şekil 9. 2 NO yazıcıdan VisiJet materyal kullanılarak 32 µm hassasiyetinde baskısı alınan (a) numune 1, (b) numune 2 ve (c) numune 3'ün yüzey pürüzlüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları.

Şekil 9 (a), (b) ve (c)'de görüldüğü üzere koyu gri renk ile gösterilen Ra ve açık gri renk ile gösterilen Rz değerlerinin her bir numunede tüm değerlerinin aynı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

C. 3 NO KODLU YAZICI ÇIKTISININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İNCELENMESİ

3 NO kodlu yazıcıdan VisiJet materyal kullanılarak 100 µm hassasiyetinde baskısı alınan numunelerin sırasıyla yüzey pürüzlüğü deney sonuçları ve topoğrafyaları Şekil 10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 10. 3 NO kodlu yazıcıdan VisiJet materyal kullanılarak 100 µm hassasiyetinde baskısı alınan (a) numune 1, (b) numune 2 ve (c) numune 3'ün yüzey pürüzlülüğü deneyi sonuçları ve topoğrafyaları.

Şekil 10 (a), (b) ve (c)'de görüldüğü üzere koyu gri renk ile gösterilen Ra ve açık gri renk ile gösterilen Rz değerlerinin her bir numunede tüm değerlerinin aynı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

IV. SONUÇ

Üç boyutlu yazıcıların hızlı prototip uygulamaları için yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi amaçlı çalışmanın sonucunda aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir.

- Yüzey pürüzlülükleri değerlerinin yazıcı türüne ve yazıcının kullandığı yazdırma teknolojisine bağlı olarak değişiklikler gösterebileceği,
- Gerekli kalibrasyonlar yapıldığı takdirde tüm yazdırma teknolojilerinin istenilen seviyede yüzey kalitesi sonuçlarına ulaşabileceği,
- Yazdırma esnasında kullanılan materyal türünün kürleşme ve ortam koşullarına uyum sağlama süreçlerinde, katmanlı imalat teknolojisi kullanıldığı göz önünde tutularak yazdırılan parçanın yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği,
- FDM 1 NO kodlu çok boyutlu yazıcının baskı kalitesinde tekrarlı üretimde farklı yüzey kalitesi değerlerine ulaşabileceği fakat bu değerlerin göz ardı edilebileceği,
- Yüksek hassasiyet sağlayan ve bu çalışmada 2 NO ve 3 NO ile kodlanan profesyonel kullanıma yönelik çok boyutlu yazıcılarda baskı kalitesinde tekrarlı üretimde aynı yüzey kalitesi değerlerine ulaşabildiği,
- Yüzey pürüzlülükleri deneyinde tekrarlı üretime bağlı olarak aynı 3B yazıcıda aynı yazdırma hassasiyeti ile üretilen numune yazdırma sürelerinde bir değişikliğe rastlanmamıştır.
- Profesyonel kullanıma uygun ve bu çalışmada 2 NO ve 3 NO ile kodlanan yazıcılarda, aynı materyal ile alınan aynı ürün baskılarının ağırlıklarının tekrarlı üretime uygun ve ölçü kararlılığı sunduğu,
- FDM 1 NO kodlu 3B yazıcıda aynı ürünün ağırlıklarında çok düşük bir fark olsa da tekrarlı üretimde farklı sonuçlar verdiği,
- 3B yazıcı teknolojisi sayesinde baskı doluluk oranını azaltarak aynı işlevi gören daha hafif ürünleri ortam bağımsız olarak imal edilebilirliği,
- Ev tipi kullanıma uygun FDM 1 NO kodlu yazıcı ve kullandığı materyal maliyetinin, profesyonel kullanıma yönelik 2 NO ve 3 NO ile kodlanan yazıcılara oranla maliyetlerinde büyük bir fark olduğu,

sonuçlarına ulaşılmıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada kullanılan ölçüm ve uygulama olanakları için Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi ve Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT)'ne teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] İ. Coşkun, M.F. Işık, “Elektroerozyon yöntemi ile tornalama,” *Politeknik Dergisi*, c. 11, s. 4, ss. 285–291, 2008.
- [2] U. Çıfci, (15 Mart 2019). [Online]. Erişim: <https://www.mikrofabrika.com/3d-yazici-nedir/>.
- [3] E.H.V. Martinez, E. Can, “Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve günümüz koşullarında uygulama örneği,” *Sanat Tasarım Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 1–14, 2016.
- [4] İ. Çelik, F. Karakoç, M. C. Çakır, A. Duysak, “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları,” *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 31, ss. 53–70, 2013.
- [5] D. Çelik, “Üç boyutlu yazıcı tasarımı, prototipi ve tersine mühendislik uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, Endüstriyel Tasarım ve Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2015.
- [6] B. Güler, “Çift başlı kartezyen tipi 3 boyutlu yazıcı tasarım ve prototip imalatı (granülden modele),” Yüksek lisans tezi, Endüstriyel Tasarım ve Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2016.
- [7] U. Çıfci, (15 Mart 2019). *Hızlı Prototip ve Silikon Kalıp* [Online]. Erişim: <https://www.mikrofabrika.com/hizli-prototip-ve-silikon-kalip/>.
- [8] U. Çıfci, “Üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojilerinin imalat için tasarıma olan etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Kompozit Malzeme Teknolojileri Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [9] H. Segerman, (14 Nisan 2018). [Online]. Erişim: <https://www.thingiverse.com/thing:151226>.
- [10] B. Korkmaz, “3B yazıcı: Atlantik ve Avrasya rekabetinde yeni bir faktör,” *Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 17–30, 2014.
- [11] L. Aydın, “Üç boyutlu yazıcıyla ayak bileği ortezinin tasarımı ve geliştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2014.
- [12] J.G.N. Levy, R. Schindel, “Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies,” *State of The Art Future Perspectives*, vol. 1, no. 1, pp. 1–21, 1996.
- [13] İ. Durgun, “Tabakalı hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması,” 8. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul, Türkiye, 2015, no. 13.
- [14] Yüzey Kalıp Taban Sanayi ve Ticaret, (11 Mayıs 2018). [Online]. Erişim: <http://sigma3dprinter.com/belgeler/powerabs-test-sonuclari.pdf>.
- [15] ABG Enterprise, (16 Şubat 2018). *ABG Filament PLA TDS Fiziksel Mekanik ve Termal*

Özellikleri [Online]. Erişim: <http://www.abgfilament.com/assets/images/PLA.pdf>.

[16] Prospector, (24 Şubat 2018). *VisiJet M3 Crystal materyalin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri* [Online]. Erişim: <https://materials.ulprospector.com/en/profile/odm?tds&docid=15155>.

[17] Prospector, (24 Şubat 2018). *VisiJet C4 Spectrum materyalin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri* [Online]. Erişim: <https://materials.ulprospector.com/en/profile/odm?tds&docid=177226>.