



3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE YAZDIRMA DOLULUK ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hatice EVLEN¹, Gülçin EREL¹, Elif YILMAZ¹

¹ Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Karabük

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 tasarımında 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 (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PLA (Polilaktik Asit) dir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ABS, PLA 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 tablasız z eksenini yönünde hareketli, yazma işlemini gerçekleştiren nozul kısmı x ve y eksenini 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, Kompozit Filament, Doluluk Oranı

3D PRINTER DESIGN AND INVESTIGATION OF EFFECTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE PRINTING FILL RATES

Hatice EVLEN¹, Gülçin EREL¹, Elif YILMAZ¹

¹ Karabük University Technology Faculty, Industrial Design Engineering Department, Karabük

ABSTRACT

3D printers are devices that can produce computer-aided designs or scanned real parts in 3D, rather quickly than traditional production methods. Today, 3d printer technology is being used widely in jewellery, accessories and footwear design, industrial and architectural design, automotive industry, aerospace, dental and medical sector, education, scientific studies covering various fields worldwide. 3D printers allow production using many materials. ABS (acrylonitrile butadiene styrene) and PLA (Polylactic acid) are the most widely used two materials. This work presents design and prototype manufacture of a cartesian type 3d printer with the overall dimension of 400x400x360 mm and max 160x170x120 mm print area. The printer has a heated table with enclosed or open mechanical system. The design consist of the printer table moving in z axis and the nozzle head moving in x and y axis using

four stepper motors. The performance of the purpose built printer has been demonstrated by processing composite filaments producing a total of 18 samples with three different fill ratios of 10%, 30% and 50%. The printing was performed for two different cases where the mechanical system was open or enclosed. The resulting samples were subjected to tensile test and the Shore hardness test. The results demonstrated the impact of infill rate as well as the enclosed or open mechanical printer design on mechanical strength of the printed parts.

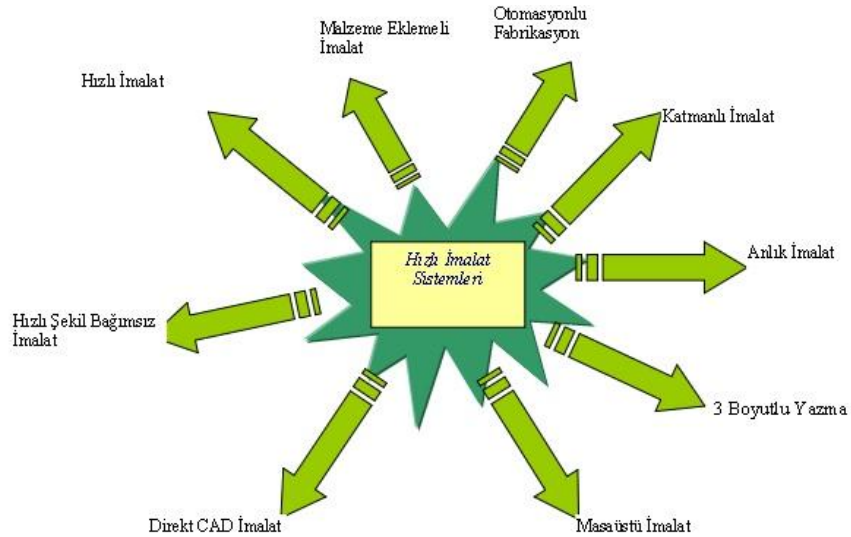
Keywords: 3-D Printers, Composite Filament, The Occupancy Rate.

1. GİRİŞ

Günümüzün üretim dünyasında ürünün pazara sürüm süresinin kısaltılması firmaların rekabetçi kalabilmeleri için önemlidir. Bu sürecin kısaltılmasının yanında, pazara sunumdan sonra gelecek sorun giderici tasarım gereksinimlerinin de minimize edilmesi hatta sıfırlanması bir diğer önemli, tamamlayıcı koşuldur. Küresel rekabetle birlikte ürünlerin pazardaki yaşam sürelerinin kısaltılması, ürün geliştirme süreçlerinin 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 Sinterleme 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 dolayı 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].

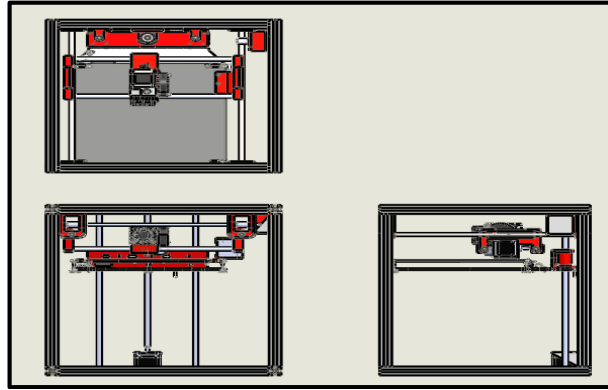
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 3 Boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). 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.

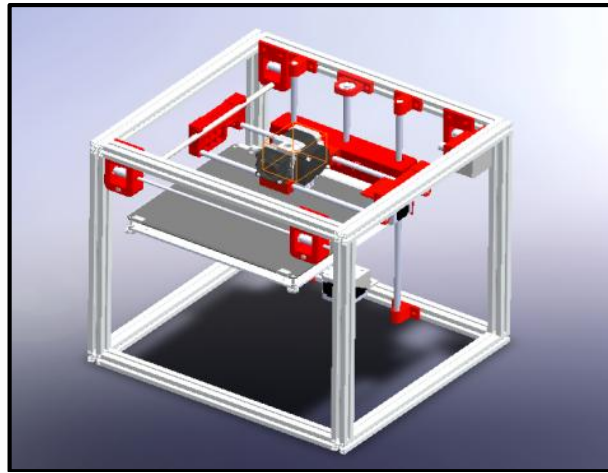


Şekil 2: Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık ve kapalı haldeki görüntüleri

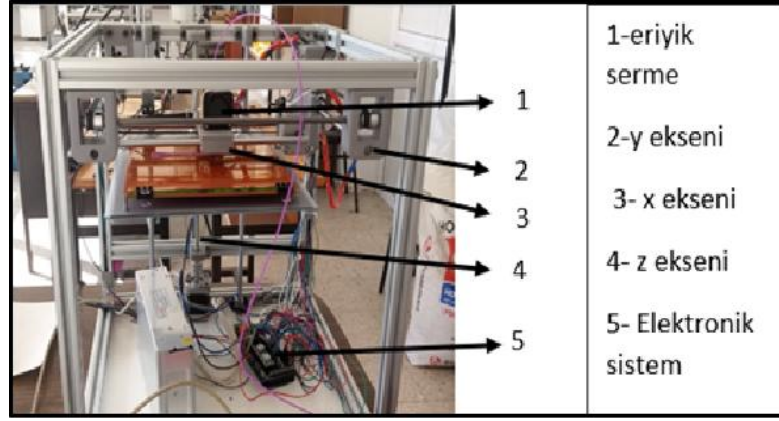
Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcı kartezyen tipi olup ısıtmalı tablaya sahiptir. İskelet sistemi (x,y,z eksenleri), elektronik sistem ve eriyik serme (ekstrüder) sisteminden oluşmaktadır. Geleneksel yöntemlerle üretilmiş üç boyutlu yazıcı Solidworks 2015 programında modellenmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4).



Şekil 3: Tasarlanan 3 boyutlu yazıcının üç görünüşü



Şekil 4: 3 boyutlu yazıcı modeli



Şekil 5: 3 boyutlu yazıcı kısımları

Tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilen 3 boyutlu yazıcıya ait teknik özellikler Tablo 1’ de verilmiştir. 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 sigma profiller 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 miller 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.

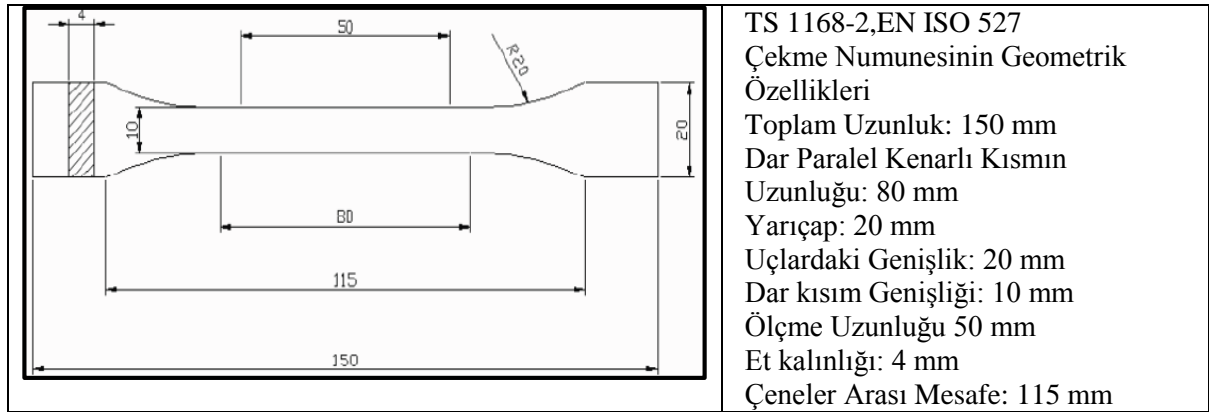
Günümüzde kullanılan üç boyutlu yazıcıların kontrol kartları çoğunlukla Arduino’ya dayanmaktadır. Bu kontrol kartlarının en temel görevleri step motorları, ısıtıcı nozul ve ısıtıcı tablayı kontrol etmektir. RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) elektronik kontrol kartı Arduino ek kartıdır. Üç boyutlu 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].

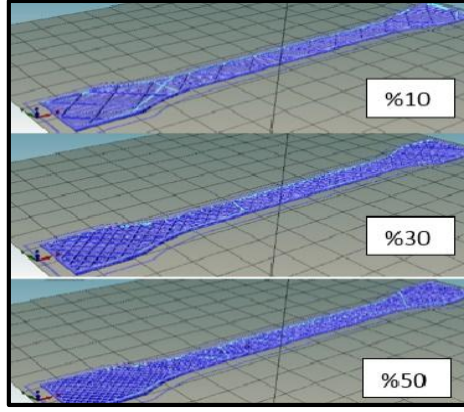
Tablo 1: Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı teknik özellikleri

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 6' da 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 (Tablo 2). Standart çekme numunesi boyutları ve baskıları Şekil 6 ve Şekil 7' de verilmiştir. Tablo 3' de yazdırma parametreleri verilmiştir.

**Şekil 6:** Standart çekme numunesi**Tablo 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

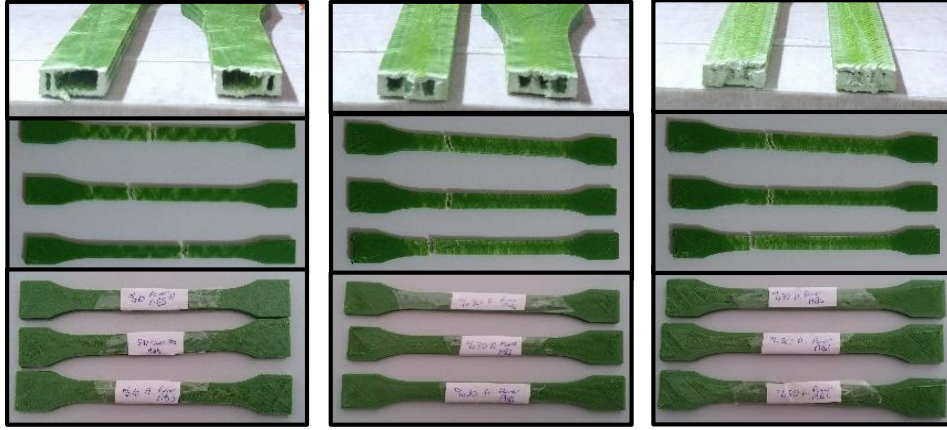
Tablo 3: Yazdırma parametreleri

	POWER ABS
Tabla sıcaklığı	70°C
Ekstrüder 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

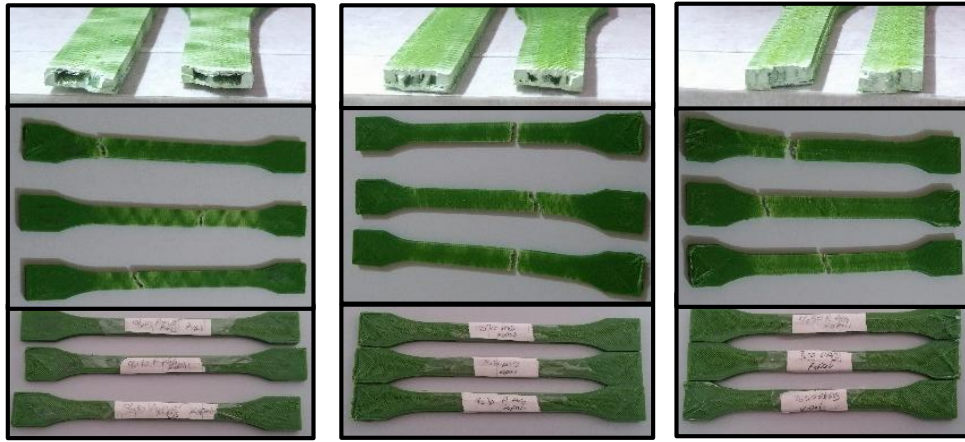
Power ABS; ABS ve PLA gibi diğer baskı malzemelerinde, baskı sırasında yaşanan kalkma, yüksek yoğunlukta çatlama, zemine yapışmama, köşelerde kıvrılma gibi sıkça rastlanan problemlere karşın çözüm olarak geliştirilmiş kompozit bir filamenttir. Erime sıcaklığı 235°C'dir. Tavsiye Edilen Kullanım ise yazdırma 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 TARTIŞMA

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

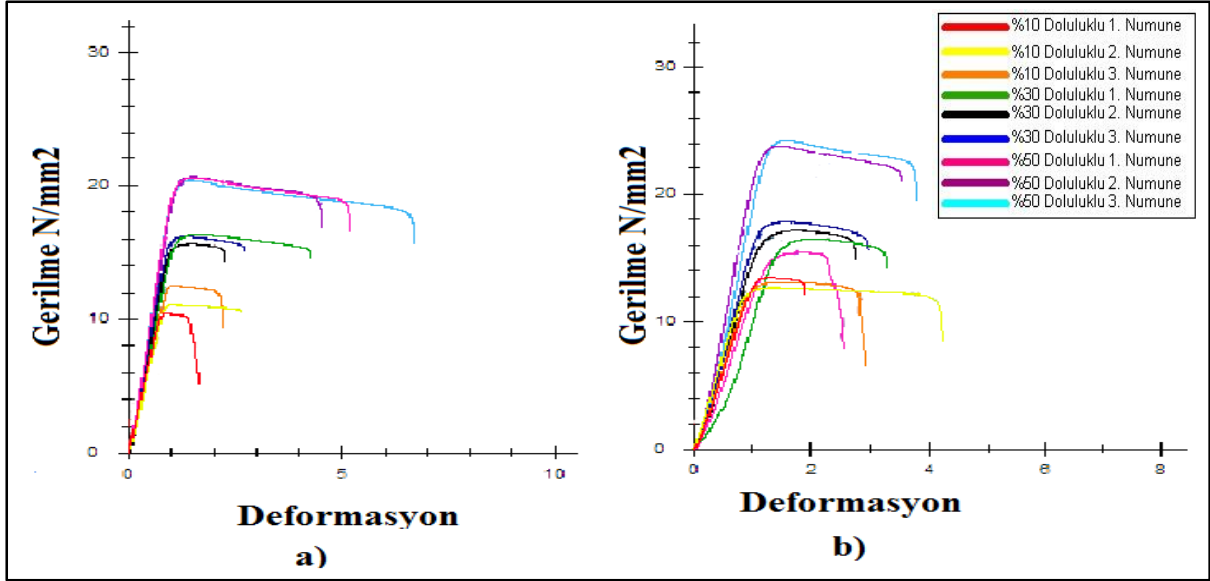


Şekil 9: Kapalı sistem Power ABS numuneleri %10, %30, %50 doluluk oranları

Açık sistemde, Power ABS plastikten basılmış deney çubuklarının çekme deneyi sonucu gösterdikleri direnç ve uzama sonuçları Tablo 4 ve Şekil 10' da 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 Tablo 4' te gösterilmektedir. D kategorisine ait numuneler %10, E kategorisine ait numuneler %30, F kategorisine ait numuneler %50 doluluk oranında yazdırılmıştır.

Tablo 4: 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



Şekil 10: a) Açık ve b) Kapalı sistemde yazılan Power ABS numuneleri çekme eğrileri

Açık ve kapalı sistemde yazdırılan numunelerin doluluk oranlarına göre shore sertlik ölçümleri Tablo 5’ te verilmiştir. Buna göre Açık sistem yazıcı ile yazdırılan numunelerin sertlik değerlerinin kapalı sistemle yazdırılan numunelerin sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5: 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%	92,33	81,33
50%	92,5	89,66

Sertlik değerleri doluluk oranına göre değerlendirildiğinde ise her iki sistemde de (açık ve kapalı) doluluk oranı arttıkça numunelerin shore sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcılarda doluluk 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 oranında üretilen numunelerin çekme direncinde ortalama %6 artış olduğu görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

[1] Delikanlı K, Sofu MM, Bekçi U. Üretim sektöründe hızlı direkt imalat sistemlerinin yeri ve önemi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi. 2006;(4):33-39.

[2] Wieneke BMT, Gerber HW. Rapid Prototyping Technology New Potentials For Off Shore And Abyssal Engineering. The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. 2003; 314.

[3] Çelik D. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi Ve Tersine Mühendislik Uygulamaları (Master's Thesis). [Three Dimensional Printer Design, Prototype And Reverse Engineering Applications] [Thesis in Turkish] Karabük. 2015

[4] Çavdar F, Filiz H, Dogan C. Bir Hızlı Prototipleme Makinesi Tasarımı. Timak Tasarım İmalat Analiz Kongresi. 2006; 317-325

[5] Sigma 3d Printer, Power ABS filament, <http://www.sigma3dprinter.com/ar-ge.html?product id=62>, Accessed 2 February 2016