Açık ve Kapalı Sistemlerde Doluluk Oranının Parça Mukavemetine Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hatice EVLEN, Gülçin EREL*, Elif YILMAZ

Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Karabük/TÜRKİYE,

(Geliş/Received : 04.06.2017 ; Kabul/Accepted : 31.07.2017)

ÖZ

3 Boyutlu yazıcılar bilgisayar üzerinde modellenmiş veya 3 boyutlu olarak taranmış modelleri geleneksel üretim yöntemlerine nazaran oldukça hızlı bir şekilde üretebilen cihazlardır. 3 boyutlu yazıcılarda parça yazdırma metotlarından biri olan Ergiyik Depolayarak Modelleme metodunda doluluk oranı, katman kalınlığı, ekstruder sıcaklığı, ortam koşulları gibi faktörler parça mukavemetini etkilemektedir. Günümüzde bu parametrelerin etkisini en aza indirgeyerek optimum koşullarda parça üretimini amaçlayan birçok çalışma yapılmaktadır. Bütün bu gerekçeler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen çalışmada ortam koşullarının ürünün mekanik özelliklerine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 400x400x360 mm, mak. 160x170x120 mm ürün yazdırabilen, ısıtılabilen tablaya sahip Kartezyen tip bir üç boyutlu yazıcı tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Prototiplenen yazıcıda üç farklı polimer malzeme (ABS, PLA ve Power ABS), üç farklı doluluk oranı (%10, %30 ve %50) ve iki farklı çalışma ortamı (etrafı açık ve etrafı kapalı sistem) kullanılarak toplamda 54 adet deney numunesi yazdırılmıştır. Elde edilen numuneler çekme deneyine ve shore sertlik testine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda, kapalı sistemde yazılan numunelerin açık sistemde yazılan numunelere nazaran sertlik değerinin daha düşük olduğu, çekme dirençlerinin ve % uzamalarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcılar, kompozit filament, doluluk oranı.

Investigation on the Effect of The Open and Closed Systems

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. Factors such as fill rate, layer thickness, extruder temperature, ambient conditions affect the part strength in the Fused Deposition Modeling method which is one of the methods of printing parts in 3D printers. Today, many studies aiming to produce parts under optimum conditions by reducing the effect of these parameters to the minimum are being made. All these reasons are intended to operate in ambient conditions considering performed to determine the effect on the mechanical properties of the product. For this purpose, dimensions of 400x400x360 mm, max. A Cartesian type three-dimensional printer with a tray that can print 160x170x120 mm product can be designed and a prototype has been produced. A total of 54 test samples were printed on the prototype printer using three different polymer materials (ABS, PLA and Power ABS), three different fill rates (10%, 30% and 50%) and two different operating environments (open and enclosed system). The obtained samples were subjected to tensile test and shore hardness test. As a result of the study, it was determined that the samples written in the closed system have lower hardness value and higher tensile strength and% elongation than the samples written in open system.

Keywords: 3-D printers, composite filament, the occupancy rate

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzün üretim dünyasında ürünün pazara sürüm süresinin kısaltılması firmaların rekabetçi kalabilmeleri için önemlidir. Bu sürecin kısalmasının yanında, pazara sunumdan sonra gerekecek sorun giderici tasarım gereksinimlerinin de minimize edilmesi hatta sıfırlanması bir diğer önemli, tamamlayıcı koşuldur. Her sektörde olduğu gibi üretim sektöründe artan teknolojik olanaklar ile ürün geliştirme sürecinin kısalmaya devam ettiği gözlenmektedir. Günümüz tasarım ve üretim dünyasında müşteri odaklı ürün geliştirme artık kaçınılmaz bir gerçektir [1].

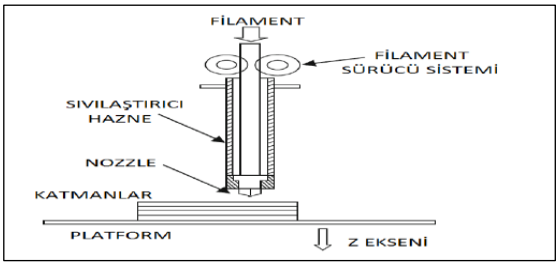
Bu noktada 1980'li yılların ortalarında başlayan hızlı prototipleme çalışmaları artık üretimin her aşamasında hızla yer almaya başlamıştır. Hızlı prototipleme yöntemleri ürünü pazara daha da hızlı sokmak üzere, ağır üretim teçhizatının devreye alınmasına kadar seri üretimde de başarı ile kullanılmaktadır [2].

Hızlı prototipleme sistemlerinde çok sayıda sınıflandırma mevcuttur. Çalışma kapsamında katı esaslı hızlı prototipleme sistemlerinde Ergiyik Biriktirme Yöntemi (FDM) (Fused Deposition Modeling) kullanan bir yazıcı tasarımına gidilmiştir.

**Sorumlu Yazar (Corresponding Author)*
e-posta : gulcin.erel@gmail.com

Son yıllarda FDM teknolojisi, çeşitli uygulamalar için en yaygın kullanılan prototipleme yöntemlerinden biri haline geldi. Bu yöntem, kompozitler de dahil olmak üzere yeni materyalleri tasarlama ve tanıtma olanağı sağlayan açılır platformda erimiş fiber materyal biriktirme üzerine kuruludur. FDM'de en sık kullanılan malzeme ABS (Akrilonitril bütadien stiren), ardından PC (Polikarbonat), PLA (Poli laktikasit) dır [3].

FDM teknolojisinde, tel şeklindeki plastik veya mum malzeme bir nozul içerisinden ekstruzyon edilir. Nozul içerisinde malzemeyi ergime noktasının üzerindeki bir sıcaklıkta tutacak bir ısıtıcı vardır. Bu ısıtıcı vasıtasıyla eriyen malzeme nozul içerisinden aktıktan sonra sertleşmekte ve altındaki katmana yapışmaktadır. Bu şekilde bütün katmanlar oluştuktan sonra işlem tamamlanmaktadır Şekil 1'de FDM tekniği gösterilmiştir [4].



Şekil 1. Şematik FDM Tekniği (Schematic FDM Technique)

Herhangi üç boyutlu bir nesnenin sanal olarak katmanlara bölünmesi ve her bir katmanın eritilen ham madde dökülerek, üst üste gelecek şekilde basılması mantığına dayanan FDM teknolojisinde verimli bir ürün baskısı alınabilmesi için doluluk oranı, kabuk sayısı, katman kalınlığı, exturuder sıcaklığı, baskı hızı gibi parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Doluluk oranı parça mukavemetini belirleyen en önemli parametredir. Doluluk oranı arttığında hacim sabit kalmak koşuluyla parça içerisindeki federlerin sayısı çoğaltılarak parçanın içerisindeki malzeme yoğunluğu arttırılır. Bu artış ile doğru orantılı olarak parça mukavemeti artmış olur.

Eriyik malzeme belirli bir sıcaklıktan direk oda sıcaklığına geçiş yapıyor olması ürünün mekanik özelliklerinde farklılıklar ortaya çıkartacağı kullanılan polimer malzemelerin fiziksel ve kimyasal davranışlarından yola çıkarak düşünülmüştür. Günümüzde var olan 3B yazacı ana gövde tasarımlarına bakıldığında genellikle etrafı açık sistemlerin olduğu görülmektedir. Bu fikir kapsamında acık ve kapalı sistem farklılıkları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Kapalı sistemde ise ortam şartlarından doğacak olumsuzlukları engellemek amaçlı 3B yazıcı iskelet sisteminin üzerine ahşap kaplanmış bir gövde yerleştirilerek çalışmalara devam edilmiştir.

Çelebi ve ark. "3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Polilaktikasit (PLA) Numunelerde Doluluk Oranlarının Mekanik Özelliklere Etkisi" adlı çalışmalarında %5, %50ve %100 doluluk oranlarında PLA polimeri kullanılarak çekme ve eğme numuneleri hazırlamış ve farklı doluluk oranlarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiş. Deney sonuçları göz önünde bulundurulduğunda aynı doluluk oranına sahip numunelerin çekme dayanımlarında %50'e varan farklılıkların tespit edildiği, bu farklılıkların sebebinin yazdırma işlemi esnasında oluşan mikro çatlaklar olduğu düşünülmüş. Eğilme sırasındaki çatlamanın başladığı Fmax kuvveti etkisinin oldukça küçük olduğu gözlenmiş. Üretim sırasında ortam sıcaklığının sabit tutulması, tabla ve nozul arasındaki sıcaklık farkını düşük olması, soğutma fanının hızının yüksek olmaması ürünün tabladan ayrılma sırasında hassas davranılması önerilmiş [5].

Çantı ve ark. ise yapmış olduğu çalışmada, ticari bir ABS polimeri ile %100 doluluk oranında, farklı yazdırma hızlarında (30-70 mm/s), 230°C, 240°C ve 250°C sıcaklıklarındaki reolojik özellikleri Ergime Akış İndeksi (EAİ) kullanılarak 3B yazdırılmış numunelerin Shore-D sertlik ve çekme testleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Numunelerin yazdırılmasındaki baskı hızıyla baskı sonuçları arasındaki ilgi incelendiğinde; artan baskı hızı ile baskı süresinin azaldığı, numune geometrilerinde hataların artmaya başladığı gözlenmiş. 50mm/s hızı ile yazdırılan numunelerin mukavemet değerleri en yüksek olduğu için ideal yazdırma hızı olarak değerlendirilmiş [6].

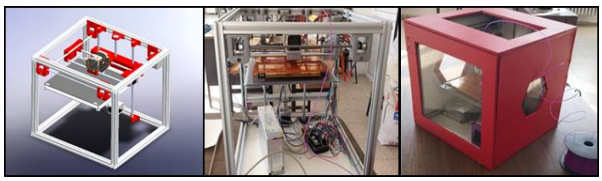
Bir başka çalışmada Özdemir ve ark. üç boyutlu yazıcıda doluluk oranının mekanik özellikler üzerine etkilerinin incelemişler. PET ve PLA malzemeleri kullanarak %10, 20, 30, 40 ve %50 doluluk oranlarında numune hazırlayarak tek eksenli çekme testleri, sertlik ve pürüzlülük değerleri ölçülmüş. Yapılan ölçümler neticesinde PET ve PLA malzemelerde sertlik değerinin malzemenin doluluk oranı ile doğru orantılı olduğu, doluluk oranı arttıkça malzemelerin sertliklerinin de arttığı görülmüştür [7].

Yapılan çalışmalara bakıldığında ortam şartlarının ürünün mekanik özelikleri üzerine etkisini ele alan verilerle karşılaşılmadı. Genellikle 3B yazıcıların yazdırma parametrelerinden olan doluluk oranı, destek türü ve çeşidi, dilimleme çeşidi gibi parametreler kullanılarak ürün verimliliği arttırılmaya çalışılmıştır [5,7-9].

2.MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

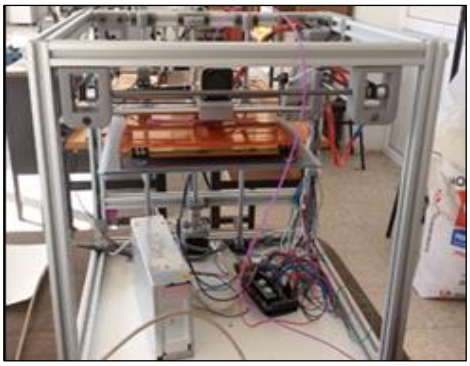
Bu çalışmada 3 Boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerle üretilmiş üç boyutlu yazıcı SolidWorks 2015 programında modellenmiştir. Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcı kartezyen tipi olup ısıtmalı tablaya sahiptir. İskelet sistemi (x, y, z eksenleri), elektronik sistem ve eriyik serme (ekstruder) sisteminden oluşmaktadır. Şekil 2'de tasarlanana model ve prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık ve kapalı haldeki görüntüleri bulunmaktadır.

Tasarlanan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık durumda ve etrafı kapalı durumda, PLA, ABS ve Power ABS filament kullanılarak deney numuneleri yazdırılmıştır. Yazdırılan bu numunelerin sertlikleri ölçülmüş ve numunelere çekme testi uygulanmıştır. Gerçekleştirilen bütün numune yazdırma işlemleri ve testler oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 2. Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık ve kapalı haldeki görüntüleri(Images of open and closed system of prototype 3d printer)

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 3).



Şekil 3. 3 boyutlu yazıcı (3d printer)

X ekseni üzerinde eriyik serme kafasını taşımaktadır. Bu eksen Y ekseni üzerine monte edilmiş olup x ekseni ile senkronize hareket etmesi sağlanmıştır. Bu eksende 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 [8].

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 [9].

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 [8].

Prototip ve imalatı yapılan Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

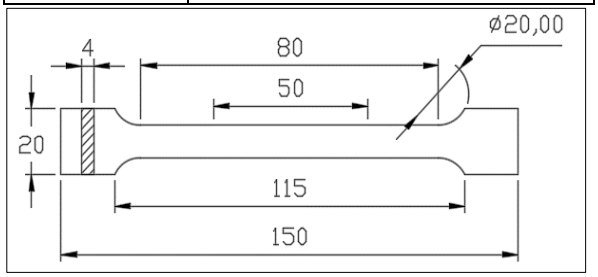
Çizelge 1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri (Technical specifications of the Cartesian type three-dimensional printer)

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 mm PLA/ABS/KOMPOZİT

Deney numuneleri, yapılan 3 Boyutlu Yazıcıda üretilmiştir. Şekil 4'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 (Şekil 5). Çizelge 2'de gösterildiği gibi açık sistemde ABS, PLA, Power ABS olmak 3 farklı malzemeden %10, %30, %50 olmak üzere 3 farklı doluluk oranında 27 numune yazdırıldı ardından sistemin etrafı tamamıyla kapatılarak aynı oranlarda 27 numune daha yazıldı.

Çizelge 2. Numune Özellikleri (Specimen properties)

Doluluk Oranı	**ABS**	**PLA**	**POWER ABS**
%10	3 adet	3 adet	3 adet
%30	3 adet	3 adet	3 adet
%50	3 adet	3 adet	3 adet
	9 adet ABS	9 adet PLA	9 adet Power ABS
TOPLAM	27 adet açık ve 27 adet kapalı numune		



Şekil 4. Çekme Deneyi Standart Ölçüleri (Standard Measures of Tensile Test Sample)

Çekme Testi Numunesinin Geometrik Özellikleri (Geometric Properties of Tensile Test Specimen);

Çeneler Arası Mesafe: 115 mm

Toplam Uzunluk: 150 mm

Dar Paralel Kenarlı Kısmın Uzunluğu: 80 mm

Yarıçap: 20 mm

Uçlardaki Genişlik: 20 mm

Dar kısım Genişliği: 10 mm

Ölçme Uzunluğu 50 mm

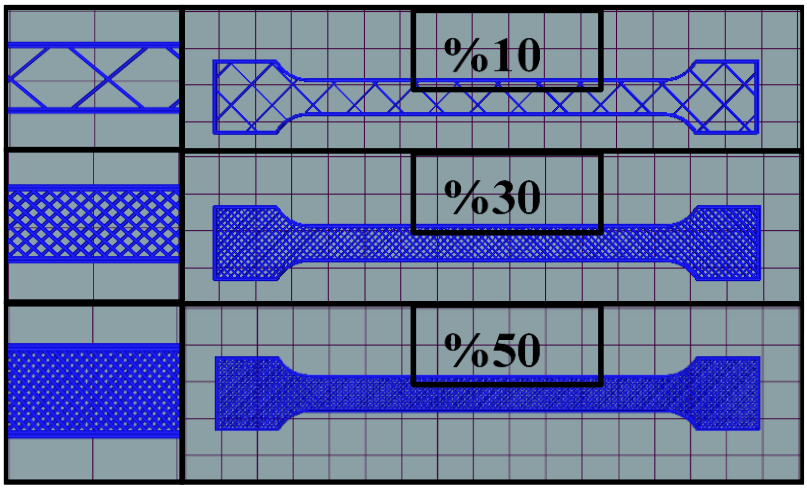
Et kalınlığı: 4 mm

Çizelge 3. Yazdırma Özellikleri (properties of 3d printed)

	PLA	**ABS**	**POWER ABS**
Tabla sıcaklığı	60◦C	110◦C	70◦C
Ekstruder sıcaklığı	220 ◦C	240◦C	230◦C
Doluluk oranı	%10, %30, %50	%10, %30, %50	%10, %30, %50
Katman kalınlığı	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm
Destek	Yok	Yok	Yok
Kullanılan filament (1 adet)	%10 için:553mm %30 için: 703mm %50 için: 853 mm	%10 için:553mm %30 için: 703mm %50 için: 853 mm	%10 için:553 mm %30 için: 703mm %50 için: 853 mm

Bu çalışmada ABS, PLA ve Power ABS içeren filamentlerin kullanılmasının sebebi katı eriyik biriktirme teknolojisi ile modeli oluşturan üç boyutlu yazıcılarda en yaygın olarak kullanımı tercih edilen filament türleri olmasıdır.

ABS plastik (Akrilonitril Butadin Stiren), sert bir termoplastik polimerdir. Bir petrol ürünü olan ABS aseton ile çözülebilmektedir. ABS malzemesi kullanarak yazdırılan ürünler, 20 ile 80°C arasında kullanıma uygundur. ABS malzemesinin 80°C üzerindeki bir sıcaklığa çıkılması durumunda yumuşama ve şekil bozulması yaşanabilir. ABS malzemesi yoğun güneş ışınlarına maruz bırakılırsa zarar görebilir. ABS yüksek



Şekil 5. %10, %30, %50 Doluluk Oranlarında Curaengine İle Dilimlenmiş Numunelerin Şematik Görünümü (Schematic View Of Samples Sliced With Curaengine At 10%, 30%, 50% Coverage)

dayanım ve darbe direnci nedeniyle üç boyutlu yazıcılarda sıkça tercih edilen bir malzeme türüdür [10], [8]. ABS malzemesinin mekanik ve termal özellikleri özellikleri çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. ABS'nin Mekanik Ve Termal Özellikleri (Mechanical And Thermal Properties Of ABS) **[11].**

(ABS) Özellikler	**BİRİM**	**DEĞER**	**METHOD**
Yoğunluk (23 °C)	g/cm3	0,25-0,36	ASTM D1895
Erime Akış Hızı(220° C, 10.0 Kg)	g/10 min	0,49 -36	ISO 1133
Rockwell Sertliği		95-117	ISO 2039-2
İzod Darbe Dayanımı ,23 °C (Çentikli)	Kj/m2	9.0-35,7	ISO 180
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	35.9-63,5	ISO 527-2
Kopmada Gerilme Dayanımı	MPa	29-42	ISO 527-2
Erime Noktası	°C	218	
Bükülme Mod.(Flex Modulus)23 °C	MPa	1860-2860	ISO 178
Camsı Geçiş Sıcaklığı	°C	104	ISO 11357-2 2

Poli laktik Asit sık kullanılan üç boyutlu yazıcı malzemelerinden biridir. Bu malzemenin tercih edilmesinin başlıca sebebi düşük sıcaklıklarda eriyebilmesinden dolayı kullanımı kolaydır. Nozul erime sıcaklığı 180 °C'dir. Isıtıcı tabla kullanılmasına gerek yoktur. Polilaktik asit, ABS malzemesinden farklı olarak petrolden değil nişasta içeren ürünlerden elde edilmektedir [8].PLA malzemesinin mekanik ve termal özellikleri çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Pla'nın Mekanik Ve Termal Özellikleri (Mechanical And Thermal Properties Of Pla) **[12].**

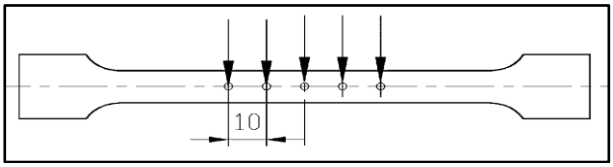
POLİ LAKTİK ASİT(PLA) Özellikler	**BİRİM**	**DEĞER**	**METHODU**
Yoğunluk (23 °C)	g/cm3	1,24	ISO 1183
Erime Akış Hızı(190° C, 2.16 Kg)	g/10 min	4,12	ISO 1133
Rockwell Sertliği	R-Scale		
İzod Darbe Dayanımı ,23 °C (Çentikli)	Kj/m2	3-6	ISO 179
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	70	ISO 527
Kopmada Gerilme Dayanımı	MPa	55-65	ISO 527
Erime Noktası	°C	180	
Deformasyon Scaklığı 0,45MPa	°C	>100	ISO 75
Bükülme Mod.(Flex Modulus)23 °C	MPa	4000-5000	ISO 175
Camsı Geçiş Sicaklığı	°C	50-80	ISO 11357-2 2

Power ABS; ABS- PLA ve diğer baskı malzemelerinde, baskı sırasında yaşanan kalkma, yüksek yoğunlukta çatlama, zemine yapışmama, köşelerde kıvırılma gibi kronik problemlere karşın çözüm olarak geliştirilmiş kompozit bir filamenttir. Nozul erime sıcaklığı 235°C'dir. Tavsiye Edilen Kullanım ise yazdırma tablasının 80°C ye kadar ısıtılarak baskı işlemine başlanmasıdır [13].Sigma 3D firmasından temin edilen veriler doğrultusunda Power ABS mekanik ve termal özellikleri özellikleri çizelge 6' da verilmiştir.

Çizelge 6. Power ABS Mekanik Ve Termal Özellikleri Özellikleri (Mechanical And Thermal Properties Of Power ABS)

POWER ABS Özellikler	**BİRİM**	**DEĞER**	**METHOD**
Yoğunluk (23 °C)	g/cm3	1,04	ASTM D1895
Erime Akış Hızı(220° C, 10.0 Kg)	g/10 min	23	ASTM D1238
Rockwell Sertliği	R-scale	110	ASTM D 785
İzod Darbe Dayanımı ,23 °C (Çentikli)	Kg.cm/cm	23	ASTM D 256
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	51	ASTM D 638
% uzama	%	30	ASTM D 638
Erime Noktası	°C	235	
Bükülme Mod.(Flex Modulus)23 °C	MPa	2750	ASTM D 790
Vicat Yumuşama Sıcaklığı 5kg. 50 °C/h	°C	94	ASTM D 1525

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen deney numuneleri çekme deneyi ve shore sertlik ölçümleri yapıldı.
Her bir çekme numunesinin enine kesitinden belirlenen rastgele bir çizgi boyunca beşer adet sertlik değeri alınarak ortalama değerler çizelgelerde verilmiştir. Numune üzerindeki sertlik ölçme noktaları Şekil 6'da gösterilmektedir.

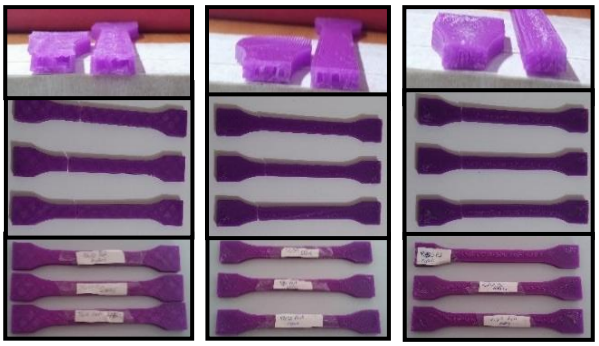


Şekil 6. Sertlik ölçme noktaları (Hardness measuring points)

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 (RESULTS AND DISCUSSION)

54 numuneye uygulanan çekme deneyi sonucu deney çubuklarında meydana gelen kopmalar ve yüzey Gerilmeleri Aşağıda Verilmiştir.

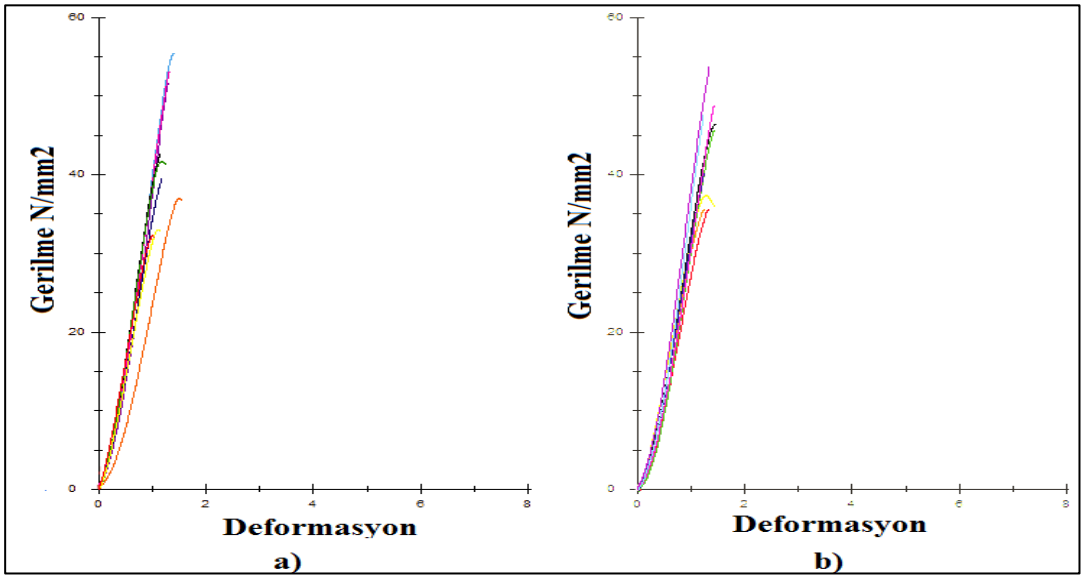


Şekil 7. PLA Plastik %10, %30, %50 Doluluk Oranlarındaki Numuneler (10%, 30%, 50% Occupancy Ratio İn The PLA Plastic Sample)

Çizelge 7. Açık Ve Kapalı Sistemde Yazdırılan PLA Numunelerinin Sertlik Ölçümü Sonucu Elde Edilen Verileri (Data Obtained After Hardness Measurement Of PLA Specimen Printed In Open And Closed System)

	PLA	
	Açık Sistem	**Kapalı Sistem**
	Ortalama Shore A	**Ortalama Shore A**
10%	80	73,5
30%	86,33	86,33
50%	83	89,5

PLA plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında ki numunelerin ortalama sertlik değeri açık sistemde 80 Shore A, kapalı sistemde 73,5 Shore A değerindedir. %30 doluluk oranında ortalama sertlik değeri açık sistemde 86,33 Shore A, kapalı sistemde 86,33 Shore A değerindedir. %50 doluluk oranındaki numuneler için sertlik sonuçları ise açık sistemde 83 Shore A, kapalı sistemde 89,5 Shore A değerindedir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça sertlik değerinde artış gözlenmiştir.



Şekil 8. a) Açık ve b) Kapalı Sistemde Yazılan PLA Numuneleri Çekme Eğrileri (a) Open System and b) Closed System;Tensile Test Curve Of 3d Printed Pla Specimen)

Çizelge 8. Açık ve kapalı sistemde, PLA ile basılmış deney numunelerinin çekme sonuçları (Tensile Test Result of Printed Specimen with PLA In Open and Closed System)

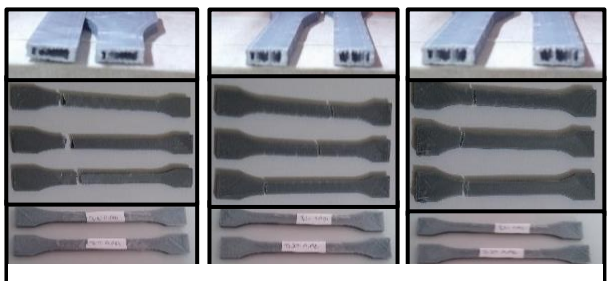
Açık Sistem			Kapalı Sistem		
Numune Adı	**ORT. Çekme Gerilmesi**	**OrT. Uzama**	**Numune Adı**	**Ort. Çekme Gerilmesi**	**Ort. Uzama**
%10	36,02	1,19	%10	38,21	1,25
%30	43,20	1,16	%30	46,02	1,34
%50	55,17	1,32	%50	51,92	1,31

Açık ve kapalı sistemde, PLA plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonucu gösterdikleri gerilme ve uzama sonuçları çizelge 8'de, çekme deney grafikleri şekil 8'de gösterilmektedir. %10, %30, %50 doluk oranlarının her birine ait 3 numune bulunmaktadır. Çizelgede bu değerlerin ortalamaları yer almaktadır.

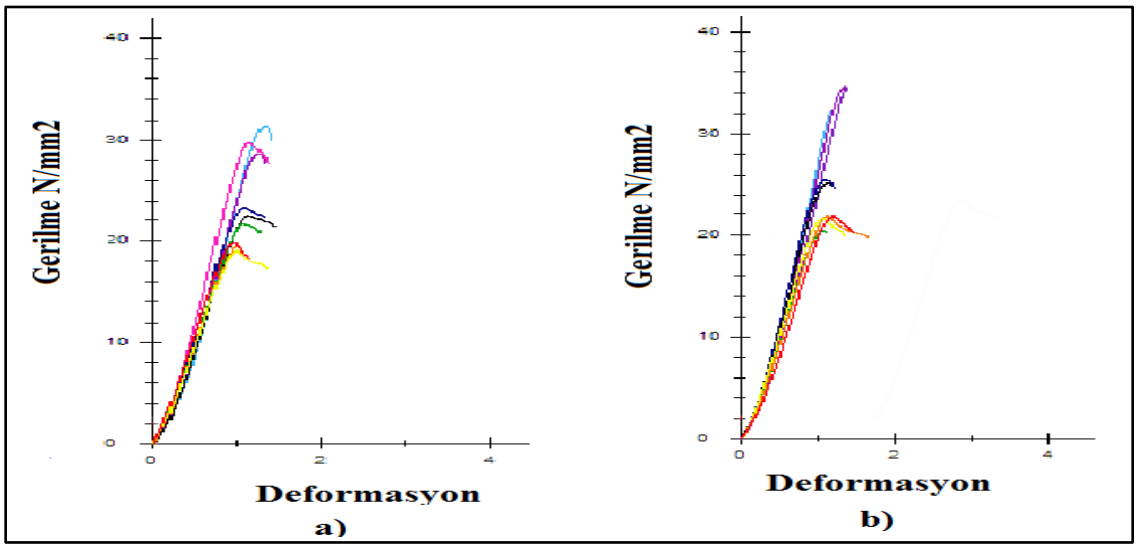
PLA plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin çekme testi sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında çekme gerilmeleri, açık sistemde 36,02 N/mm2, kapalı sistemde 38 ,21 N/mm2'dir. Uzama miktarı ise açık sistemde %1,19, kapalı sistemde %1,25 oranındadır. %30 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 43,20 N/mm2, kapalı sistemde 46,02 N/mm2. Uzama miktarları açık sistemde %1,16, kapalı sistemde %1,34 oranındadır. %50 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 55,17 N/mm2, kapalı sistemde 51,92 N/mm2'dir.Uzama miktarı açık sistemde %1,32, kapalı sistemde %1,31 oranındadır. Çekme testi sonuçlarına göre PLA plastik malzemesinin açık sistemden kapalı sisteme geçişte çekme gerilmelerinde ve uzama miktarlarında artış gözlenmiştir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme gerilmesi ve uzama miktarında artış gözlenmiştir.

PLA, çevre dostu bir termoplastiktir, çekme gerilmesi 55-65 MPa arasındadır ve 1-350 arası uzama sahiptir. Yoğunlaşma polimeri olduğundan dolayı, erime sırasında çok küçük bir miktarda dahi nem ihtiva etmesi, polimer zincirlerinin bozulmasına ve moleküler ağırlığın kaybıyla birlikte mekanik özelliklerde bozulmaya sebebiyet vermektedir. PLA nem alma özelliğinden kaynaklı çekmesi yüksek olmasına rağmen kırılgan bir özellik gösterir [14].

PLA ortamdaki nemi çok hızlı bir şekilde kapar ve PLA ile ilgili yaşanan problemlerin bir çoğunluğu da bu sebepten gerekli olan ön kurutma işleminin yeterli gerçekleştirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu sebepten dolayı PLA'nın işlenmesinden önce uygun bir şekilde kurutulması gerekmektedir. Yoğunlaşma polimeri olduğundan dolayı, erime sırasında çok küçük bir miktarda dahi nem ihtiva etmesi, polimer zincirlerinin bozulmasına ve moleküler ağırlığın kaybıyla birlikte mekanik özelliklerde bozulmaya sebebiyet vermektedir [15].



Şekil 9.ABS Plastik %10, %30, %50 Doluluk Oranlarındaki Numuneleri (10%, 30%, 50% Occupancy Ratio İn The ABS Plastic Specimen)



Şekil 10. a)açık ve b) kapalı sistemde yazılan ABS numuneleri çekme eğrileri (a) Open System and b) Closed System;Tensile Test Curve Of 3d Printed ABS Specimen)

Çizelge 9. Açık ve kapalı sistemde yazdırılan ABS numunelerinin sertlik ölçümü sonucu elde edilen verileri (Data Obtained After Hardness Measurement Of ABS Specimen Printed On Open And Closed System)

	ABS	
	Açık Sistem	**Kapalı Sistem**
	Ortalama Shore A	**Ortalama Shore A**
10%	83	73,5
30%	93	77,33
50%	85,83	77,16

ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında ki numunelerin ortalama sertlik değeri açık sistemde 83 Shore A, kapalı sistemde 73,5 Shore A değerindedir. %30 doluluk oranında ortalama sertlik değeri açık sistemde 93 Shore A, kapalı sistemde 77,33 Shore A değerindedir. %50 doluluk oranındaki numuneler için sertlik sonuçları ise açık sistemde 85,83 Shore A, kapalı sistemde 77,16 Shore A değerindedir. Sonuçlar doğrultusunda ABS numuneleri için Açık sistemden kapalı sisteme geçildiğinde sertlik değerinde bir azalma görülmektedir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme sertlik değerinde artış gözlenmiştir.

ABS'in sertlik değerindeki azalmayı amorf bir termoplastik olması ile açıklanabileceği düşünülmektedir. Termoplastik malzemelerin sıcaklığı arttıkça yoğunluğu azalır, spesifik hacmi büyür yani molekül segmentleri birbirine uzaklaşmaya başlar. Belli bir sıcaklığa ulaştığında molekül segmentleri hareket etmeye başlar. İşte bu sıcaklığa Camsı Geçiş Sıcaklığı (Tg) denir. Genelde Tg sıcaklığının altında termoplastik yapılar sert bir yapıya sahiptir. Bu nedenle kırılgan özellik taşırlar. Tg özellikle amorf malzemeler için önem taşır. Amorf malzemeler Tg sıcaklığının altında kullanılırlar. Sıcaklık daha da arttırıldığında malzeme iyice yumuşar ve akmaya başlar. ABS malzemesinin Tg sıcaklığı 100 ◦C'dir. Oda sıcaklığında Tg altındadır [16]. Baskı sırasında ABS malzemesi için 240 ◦C ergitme sıcaklığı kullanılmıştır. Bu sıcaklıkta ABS, Tg sıcaklığını Çoktan aşmış ve kolay sekil alabilir durumdadır. Kapalı sistemde nozuldan çıkan ergimiş ABS direk oda sıcaklığına çıkmamaktadır. Etrafı kapalı olduğu için elektronik sitemlerin ve nozuldan kaynaklanan ortam sıcaklığı oda sıcaklığının üzerindedir. Bu sebeple kapalı sistemde yazdırılan numunelerin sertlik değerlerinin daha düşük çıktığı düşünülmektedir.

ABS polimerin açık havada uzun süre kalması sonucunda fiziksel özelliklerinde azalma gözlemlenir. Bunun önüne geçmek için malzeme özel bir koruyucu filmle kaplanarak çevre koşullarına karşı direnci arttırılabilmektedir. Asit ve bazlara karşı kimyasal direnci genellikle iyidir. Ancak ketonlar, esterler ve aseton polimeri genelde çözme yönünde etkiler. Malzemenin yoğunluğu katkısız polimer için (1,02–1,07) g/cm3 arasındadır. ABS'nin elektriksel yalıtım özellikleri gayet iyidir ve bazı uygulamalarda yalıtım amaçlı da kullanılabilmektedir. ABS malzemeler higroskopik (nem çekici) malzemeler olduğundan dolayı kullanımından önce yaklaşık 2 saat boyunca 70–80 °C'de kurutulmalıdır [17].

Açık ve kapalı sistemde, ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonucu gösterdikleri gerilme ve uzama sonuçları çizelge 10 'de, çekme eğrileri şekil 10'da gösterilmektedir. %10, %30, %50 doluk oranlarının her birine ait 3 numune bulunmaktadır. Çizelgede bu değerlerin ortalamaları yer almaktadır.

ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin çekme testi sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında çekme gerilmeleri, açık sistemde 21,31 N/mm2, kapalı

sistemde 23,66 N/mm2'dir. Uzama miktarı ise açık sistemde %0,98, kapalı sistemde %1,11 oranındadır.

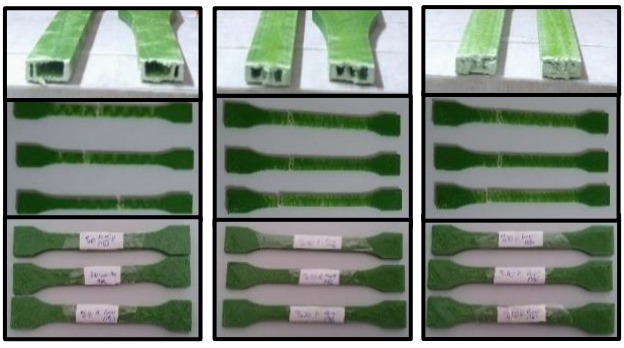
%30 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 24,38 N/mm2, kapalı sistemde 25,51 N/mm2. Uzama miktarları açık sistemde %1,1 kapalı sistemde %1,08 oranındadır. %50 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 31,80 N/mm2, kapalı sistemde 35,61 N/mm2'dir.Uzama miktarı açık sistemde %1,23, kapalı sistemde %1,28 oranındadır. Çekme testi sonuçlarına göre ABS plastik malzemesinin açık sistemden kapalı sisteme geçişte çekme gerilmelerinde ve uzama miktarlarında artış gözlenmiştir.

Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme gerilmesi ve uzama miktarında artış gözlenmiştir.

Çizelge 10. Açık ve kapalı sistemde, ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme sonuçları(Tensile Test Result of Printed Specimen with PLA In Open and Closed System)

Açık Sistem			**Kapalı Sistem**		
Numune Adı	**Ort. Çekme Gerilmesi**	**Ort. Uzama**	**Numune Adı**	**Ort. Çekme Geril-mesi**	**Ort. Uzama**
10%	21,31	0,98	**10%**	23,66	1,11
30%	24,38	1,1	**30%**	25,51	1,08
50%	31,80	1,23	**50%**	35,61	1,28

Yapılan araştırma neticesinde Ekstrüze edilmiş ABS'nin çekme dayanımı, 175-560 kgf/cm2 değerleri arasında değişebileceği ve uzama katsayısının düşük olduğu bilgisi edinilmiştir. Bu bilgi doğrultusunda bulunan sonuçların bu aralıkta olduğu görülmektedir [18].



Şekil 11. Power ABS plastik kompozit malzeme %10, %30, %50 doluluk oranlarındaki numuneler Numuneleri (10%, 30%, 50% Occupancy Ratio İn The Power ABS Plastic Specimen)

Çizelge 11. Açık ve kapalı sistemde yazdırılan Power ABS numunelerinin sertlik ölçümü sonucu elde edilen verileri (Data Obtained After Hardness Measurement Of Power ABS Specimen Printed In Open And Closed System)

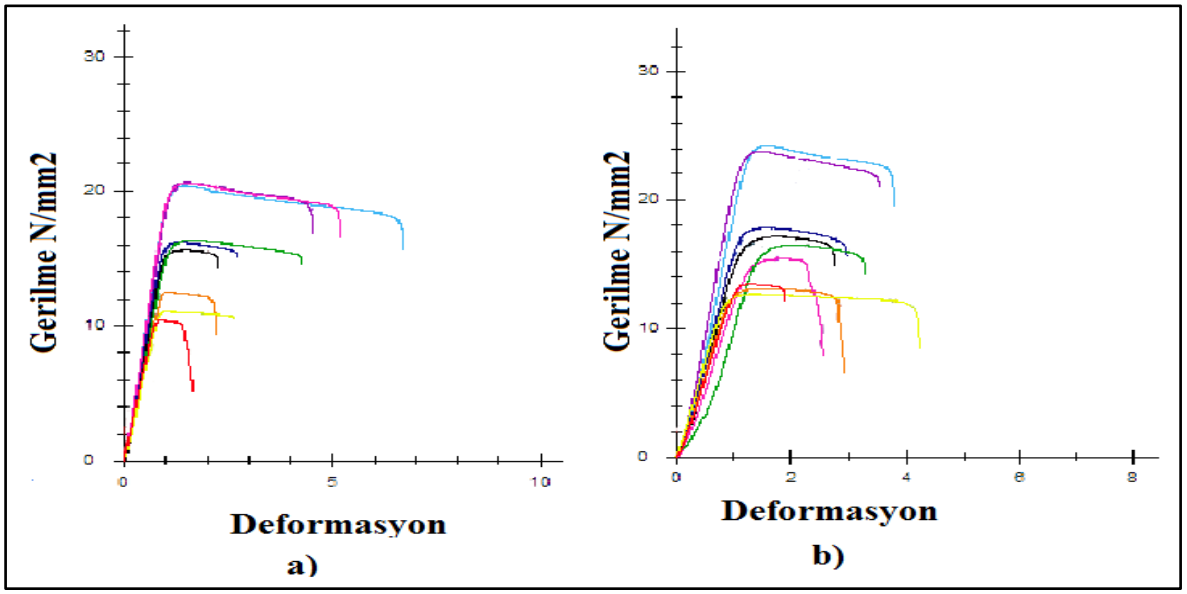
	Power ABS	
	Açık Sistem	**Kapalı Sistem**
	Ortalama Shore A	**Ortalama Shore A**
10%	89,66	74
30%	92,5	81,33
50%	92,33	89,66

Power ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında ki numunelerin ortalama sertlik değeri açık sistemde 89 Shore A, kapalı sistemde 74 Shore A değerindedir. %30 doluluk oranında ortalama sertlik değeri açık sistemde 92,5 Shore A, kapalı sistemde 81,33 Shore A değerindedir. %50 doluluk oranındaki numuneler için sertlik sonuçları ise açık sistemde 92,33 Shore A, kapalı sistemde 89,66 Shore A değerindedir. Sonuçlar doğrultusunda Power ABS numuneleri için Açık sistemden kapalı sisteme geçildiğinde sertlik değerinde bir azalma görülmektedir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme sertlik değerinde artış gözlenmiştir.

Açık ve kapalı sistemde, Power ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonucu gösterdikleri gerilme ve uzama sonuçları çizelge 12'de, çekme grafikleri şekil 12'de gösterilmektedir. %10, %30, %50 doluk oranlarının her birine ait 3 numune bulunmaktadır. Çizelgede bu değerlerin ortalamaları yer almaktadır.

Çizelge 12. Açık ve kapalı sistemde, Power ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonuçları (Tensile Test Result of Printed Specimen with PLA In Open and Closed System)

Açık Sistem			Kapalı Sistem		
Numune Adı	**Ort. Çekme Gerilmesi**	**Ort. Uzama**	**Numune Adı**	**Ort. Çekme Gerilmesi**	**Ort. Uzama**
10%	13,40	0,97	10%	14,95	1,38
30%	17,90	1,45	30%	18,95	1,80
50%	22,37	1,47	50%	22,96	1,57



Şekil 12. a)açık ve b) kapalı sistemde yazılan Power ABS numuneleri çekme eğrileri (a) Open System and b) Closed System;Tensile Test Curve Of 3d Printed Power ABS Specimen)

Power ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin çekme testi sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında çekme gerilmeleri, açık sistemde 13,40 N/mm2, kapalı sistemde 14,97 N/mm2'dir. Uzama miktarı ise açık sistemde %0,97, kapalı sistemde %1,38 oranındadır. %30 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 17,9 N/mm2, kapalı sistemde 18,95 N/mm2. Uzama miktarları açık sistemde %1,45 kapalı sistemde %1,80 oranındadır. %50 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 22,37 N/mm2, kapalı sistemde 22,96 N/mm2'dir.Uzama miktarı açık sistemde %1,47, kapalı sistemde %1,57 oranındadır. Çekme testi sonuçlarına göre Power ABS plastik malzemesinin açık sistemden kapalı sisteme geçişte çekme gerilmelerinde ve uzama miktarlarında artış gözlenmiştir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme gerilmesi ve uzama miktarında artış gözlenmiştir. Power ABS malzemesi endüstriyel bir plastiktir. ABS malzemesinin özelliklerinin geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Molekül yapısı hakkında bilgiye ulaşılmamıştır. Power ABS'i 3d yazıcıda tecrübe etmiş ve esnekliğinin ABS' göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Çalışmanın devamında elde edilen sonuçların belirsizlik analizi Türk Akreditasyon kurumunun 09.07.2015 tarihinde yayınladığı belirsizlik ilkelerine göre %99 güven aralığında (k=3) uzama miktarı üzerinden yapılmıştır.

Aşağıdaki işlemler her bir numunenin uzama değeri için ayrı ayrı hesaplanıp daha sonra grupların genel belirsizliği hesaplanmıştır. Çizelge 13 'te bu belirsizlik değerleri yüzde olarak verilmiştir. Belirsizlik analizi için kullanılan denklemler aşağıda yer almaktadır.

$$S = \frac{Ls-Lo}{Lo\times 100} \quad (1)$$

$$Ws = \left[\left(\frac{dS}{dLo}\times Wo\right)^2 + \left(\frac{dS}{dLs}\times W1\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{Ws}{S} = \frac{\left[\left(\frac{Ls}{Lo^2\times 100}\times Wo\right)^2 + \left(\frac{1}{Lo\times 100}\times W1\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}{\frac{Ls-Lo}{Lo\times 100}} \quad (3)$$

S: Numune Uzama mik.

Ls= Test Sonrası Numune Uzunluğu

Lo: Numune Gerçek Uzunluk

Wo, W1: Bağımsız Değişken Hata Oranı

Ws: Belirsizlik

Türk Akreditasyon kurumu 09.07.2015 tarihinde yayınladığı belirsizlik ilkelerine göre %99 güven aralığında PLA polimerinden %10-30-50 doluluk oranında açık sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %3,92'dir; kapalı sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %1.22'dir. ABS polimerinde %10-30-50 doluluk oranında açık sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %0,58'dir; kapalı sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %0,75'tir. Power ABS polimerinde %10-30-50 doluluk oranında açık sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %0,76'dır; kapalı sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %1,37'dir. Numunelerin bireysel ve grup belirsizlik oranları çizelge 13'te gösterilmektedir.

Çizelge 13. TURKAK %99 Güven Aralığında Numunelerin Uzama Miktarındaki Belirsizlik Oranları (Uncertainty Ratios İn Extension Of Spicemens İn TURKAK 99% Confidence Interval)

		PLA		**ABS**		**POWER ABS**	
		AÇIK S.	**KAPALI S.**	**AÇIK S.**	**KAPALI S.**	**AÇIK S.**	**KAPALI S.**
%UZAMADAKİ BİREYSEL BELİRSİZLİK	10%	%0.003	%0.002	%0,001	%0,0015	%0,0012	%0,0019
	30%	%0,002	%0,0007	%0,001	%0,0014	%0,0022	%0,0034
	50%	%0,012	%0,003	%0,0009	%0,0013	%0,0002	%0,0022
TURKAK %99 İÇİN GRUP BELİRSİZLİĞİ		**%3,92**	**%1,22**	**%0,58**	**%0,75**	**%0,76**	**%1,37**

4. SONUÇ(CONCLUSION)

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, 3 farklı doluluk oranında üretilen numunelerin çekme gerilmesinde ortalama %6 artış olduğu görülmüştür.

Farklı doluluk oranlarında açık ve kapalı sistemde yazdırılan numuneler genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek çekme gerilmesi ve en düşük sertlik değerleri PLA malzemede elde edilirken, en düşük çekme gerilmesi ile en yüksek sertlik ve en yüksek yüzde uzama değeri Power ABS malzemede elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ile 3B yazıcı tarafından yazdırılan ABS, PLA, Power ABS malzemelerinin gerilme dirençleri ile bu malzemelerin katalog verilerindeki gerilme dirençleri arasında fark vardır. Bunun sebebi yazdırılan numunelerin farklı doluluk oranlarına (%10, %30,%50)sahip olması ve iç yapısın boşluklu olmasıdır. Bunun yanısıra katalogdaki veriler enjeksiyon kalıplama ile üretilen %100 dolu olan bir yapıya sahiptirler. Bu sebepten dolayı elde edilen test sonuçlarının katalog değerlerinden düşük olması beklenen bir sonuçtur.

Belirsizlik analizi doğrultusunda Yapılan çalışmada elde edilen verilerin %99 güven aralığında olduğu belirlenmiş ve test sonuçlarının doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] K. Delikanlı, M. M. Sofu ve U. Bekci, "Üretim Sektöründe Hızlı Direkt İmalat Sistemlerinin Yeri Ve Önemi", ***Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4:*** 33-39, (2005).

[2] M. w. Burghilde, Toutaoui ve W. G. Hans, "Rapid prototyping technology-new potentials for off shore and abyssal engeneering", ***The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference,*** Hawaii, (2003).

[3] P. Dudek, "FDM 3D Printing Technology in Manufacturing Composite Elements," ***Archives of Metallurgy and Materials****, 4:* 1415-1418, (2013).

[4] H. Baş ve F. Yapıcı, "Ergonomik Tasarım ve Üretimde Hızlı Prototipleme teknolojisi", ***Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi****,* no. 21.Ulusal Ergonomi Dergisi Özel Sayısı, 199-204, (2015).

[5] A. Çelebi, S. Demirdal ve M. Akbulut, "3 Boyutlu Yazici İle Üretilen Polylaktikasit (PLA) Numunelerde Doluluk Oranlarinin Mekanik Özelliklere Etkisi", ***2. 3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu,*** İstanbul, (2017).

[6] E. Çantlı, M. Aydın, F. Yıldırım , M. Günay ve B. Kaya, "Investigation of the FDM process performance at different printing parameters", ***2. 3B Baskı Teknolojileri Uluslar arası Sempozyumu***, İstanbul, (2017).

[7] M. A. Özdemir, H. Evlen ve A. Çalışkan , "Doluluk oranının PLA ve PET Malzemelerin Mekanik Özellikleri ,üzerine Etkisi", ***3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu,*** İstanbul, (2016).

[8] D. Çelik ," *Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi Ve Tersine Mühendislik Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi*, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** (2015).

[9] F. Çavdar , H. Filiz ve C. Doğan , "Bir Hızlı Prototipleme MakiNesi Tasarımı", ***Timak-Tasarım İmalat Analiz Kongresi***, Balikesir, (2006).

[10] B. N. Tuner, R. Strong ve S. A. Gold , "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. process design and modeling", ***Rapid Prototyping Journal,*** 3*:* 192-204, (2014).

[11] https://plastics.ulprospector.com/generics/1/c/t/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-properties-processing.

[12] https://plastics.ulprospector.com/generics/34/c/t/polylactic-acid-pla-properties-processing.

[13] http://www.sigma3dprinter.com/ar-ge.html?productid=62.

[14] S. Akkurt, "Abs Plastiklerinin Çekme Kopma Mukavemeti Üzerine Tavlama Sıcaklığının Etkisi", ***Erciyes Üniversitesi Bilim Dergisi***,3: 516-525, (1987).

[15] http://www.biyoplastik.net/2014/01/polilaktik-asit-pla-islenirken-dikkat.html

[16] O. Ekşi, *Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi,* ***Yüksek Lisans Tezi***, Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

[17] http://teknikbil.blogspot.com.tr/2013/11/akrilonitril-butadien-stiren-abs.html.

[18] C. Can, *Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme Ve Analizleri,* ***Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** (2008).