T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

3 BOYUTLU YAZICIDA ÜRETİLMİŞ PARÇALARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Melek COŞKUN

Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARTAL**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU-2019

TEZ ONAYI

Melek COŞKUN tarafından hazırlanan "3 Boyutlu Yazıcılarda Üretilmiş Parçalara Uygulanan Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARTAL Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi M. Hüseyin ÇETİN Karabük Üniversitesi	.....

21./06./2019

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Hasbi YAPRAK .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.



İmza

Melek COŞKUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

3 BOYUTLU YAZICIDA ÜRETİLMİŞ PARÇALARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Melek COŞKUN
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARTAL

Bu tez çalışmasında üç boyutlu yazıcıda üretilen ASTM D638- Type 4 kodlu çekme numunesinin sıcaklık ve bekleme süresi değişkenleri uygulanarak yük dayanımının arttırılıp arttırılamayacağı 9 farklı deney yapılarak araştırılmıştır. Malzeme yapısında bir değişim olup olmadığı incelenmiş ve çıkan sonuçlara göre yorumlama yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar öncelikli olarak numunelerin 3D yazıcı ile üretilmesi ile başlamıştır. İlk üç numunede sıcaklık 100 °C'de sabit tutulmuş olup bekletilme süreleri sırasıyla 30, 60, 90 dakika olarak ayarlanmıştır daha sonrasında dördüncü, beşinci ve altıncı numuneler 150°C altında 30,60 ve 90 dakika bekletilmişlerdir. Son üç numune 200°C sıcaklıkta sırasıyla 30,60 ve 90 dakika bekletilmişlerdir.7,8 ve 9 numaralı deney numuneleri yüksek sıcaklığa dayanamamıştır bu yüzden çekme testi 6 numaralı numuneye kadar yapılabilmiştir. Isıl işlem görmüş numunelerin değişimlerini araştırmak için işleme uğramamış Type 4 numunesi ile kalan 6 numuneye çekme testi uygulanmıştır. Bu testle numunelerin; akma mukavemeti, çekme mukavemeti, maksimum gerilme ve elastikiyet modülü değerleri karşılaştırılmıştır.

Deney sonucunda ısıl işlem görmemiş numune ile ısıl işlem görmüş numuneler kıyaslandığında akma mukavemetinde olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir. 27,57 MPa'lık değer ile en yüksek artış 4 numaralı numunede sağlanmıştır. Deney çekme mukavemeti üzerinde olumsuz bir etkiye yol açmış olup, en yüksek değer 47,197 N/mm² ile deneme numunesinde gözlemlenmiştir. Elastikiyet modülü artışı 35,691 MPa ile en yüksek 5. numunededir ve bu da yapılan ısıl işlemin numunelere olumlu etkisi olduğunu göstermektedir. Yapılan deneyler sonucunda ısıl işlem etkisi, akma mukavemeti ve elastikiyet modülü değerlerinin artmasına, maksimum gerilmenin azalmasına yol açmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B yazıcı, çekme testi, ısıl işlem, ASTM D638- Type 4

2019, 60 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE INFLUENCE OF HEAT TREATING APPLIED TO THE PIECES PRODUCED BY 3 DIMENSIONAL PRINTER

Melek COŞKUN
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Science And Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr Fuat KARTAL

In this thesis, 9 different experiments were performed to determine whether the load strength of ASTM D638-Type 4 can be increased. Temperature and dwell time variables were applied, whether a change in structure was examined and the results were interpreted.

Experimental studies have started with the production of samples with 3D printers. In the first three samples, the temperature was kept constant at 100℃ and the waiting times were set at 30, 60, 90 minutes, then the fourth, fifth and sixth samples were kept under 150℃ for 30, 60 and 90 minutes. The last three samples were kept at 200℃ temperature for 30, 60 and 90 minutes, respectively. The test specimens 7,8 and 9 could not withstand the high temperature, so the tensile test could be performed up to the number 6 sample. In order to investigate the variations of the heat treated samples, the tensile test was applied to the remaining 6 samples with the untreated Type 4 sample. Samples with this test; yield strength, tensile strength, maximum tensile and elastic modulus values were compared.

As a result of the experiment positive results were observed in yield strength compared to non-heat treated sample. The highest increase with 27.57 MPa is provided in the sample number 4. The experiment had a negative effect on tensile strength and the highest value was observed in the experiment sample with 47,197 N / mm². The modulus of elasticity increased to 35.691 MPa in the 5th highest and this indicates that the heat treatment has a positive effect on the samples. As a result of the experiments, the effect of heat treatment resulted in an increase in yield strength and modulus of elasticity and a decrease in maximum stress.

Key Words: 3D Printer, tensile test, heat treatment, ASTM D638- Type 4

2019, 60 pages
Secience Code:91

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı üstlenerek araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesi sırasında, değerli bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen Sayın Hocam Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARTAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel ve analiz çalışmalarında destek sağlayan Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesine ve Merkezi Araştırma Laboratuvarına teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her zaman yanımda olan, benden desteğini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Melek COŞKUN
Kastamonu, Haziran 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ii
TAAHHÜTNAME iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ x
GRAFİKLER DİZİNİ xi
TABLOLAR DİZİNİ xii
1.GİRİŞ 1
2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR 2
2.1 3B Yazıcıların Tarihçesi 3
2.2 3 Boyutlu Yazıcıların Çalışma Prensibi 5
2.3 Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları 9
2.4 3 Boyutlu Yazıcıların Avantajları 13
2.5 3 Boyutlu Parçalara Uygulanan Son İşlemler 14
2.5.1 Aseton Buharı İle Kaplama 14
2.5.2. Zımparalama 15
2.5.3. Epoksi ve Vernikleme 16
3.LİTERATÜR TARAMASI 17
4.MATERYAL VE METOT 22
4.1 Numune Oluşturma Süreci 22
4.1.1 Çekme Numunesi 22
4.1.2 Filament Türü 23
4.1.3 Yazıcı Özellikleri 27
4.1.4 Fırınlama ve Sıcaklık Ölçümü 29
4.2. Çekme Testi 32
4.2.1. Elastikiyet Modülü 34
4.2.2. Gerilme ve Gerinim 34
4.2.3. Akma Mukavemeti 35
4.2.4. Çekme Mukavemeti 35
4.2.5. Çekme Testinde Kullanılan Denklemler 36
4.2.6. Çekme Testi Nasıl Yapılır 37
5.BULGULAR VE TARTIŞMALAR 40
5.1. Sıcaklığın Mukavemet Üzerindeki Etkisi 40
5.1.1 Deneysel Çalışmalar 40
5.2. Çekme Testi Sonuçları 44
5.3 Sonuçların Yorumlanması 50
5.3.1 Akma Dayanımındaki Değişim 50
5.3.2. Maksimum Gerilmedeki Değişim 52
5.3.3. Elastikiyet Modülündeki Değişim 53
6.SONUÇ 54
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ……..……60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3B	3 Boyutlu
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
PLA	Polilaktik Asit Termoplastik Polyester
FDM	Eriyik Yığma Modelleme (Fused Deposition Modeling)
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
SLA	Stereolithography
UV	Morötesi (Ultraviolet)
NCDS	Nano Kompozit Biriktirme Sistemi (Nano Composite Deposition System)
MVI	Erime Akış İndeksi (Melt Flow İndex)
UTS	Nihai Çekme Dayanımı (Ultimate Tensile Strength)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1. ASTM D638 Type 4 çekme numunesi standart ölçüleri…….. 22

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

		Sayfa
Fotoğraf 2.1.	Yüksek hassasiyetli 3B yazıcı……	2
Fotoğraf 2.2.	3B yazıcı ile üretilmiş organ ……..	4
Fotoğraf 2.3.	İlk 3B yazıcı ……..……	5
Fotoğraf 2.4.	3B yazıcının inşaat alanında kullanımı……..…...	9
Fotoğraf 2.5.	3B yazıcının pastacılık alanında kullanılması……	10
Fotoğraf 2.6.	3B yazıcının savunma sanayisinde kullanılması…….....	11
Fotoğraf 2.7.	3B yazıcıların güzellik sektöründe kullanılması……	12
Fotoğraf 2.8.	3B yazıcıların otomotiv sektöründe kullanılması…..……..……	13
Fotoğraf 2.9.	3B modelin aseton buharı ile kaplanması……..	15
Fotoğraf 2.10.	3B modele yapılan zımparalama işleminin öncesi ve sonrası……	16
Fotoğraf 2.11.	3B modele yapılan epoksi işleminin öncesi ve sonrası……..	16
Fotoğraf 4.1.	ASTM D638 Type 4 çekme testi numunesi……..	23
Fotoğraf 4.2.	Esun 1.75mm PLA plus filament……...	26
Fotoğraf 4.3.	Dream Maker Baby Bee yazıcı……..	28
Fotoğraf 4.4.	Deney numuneleri …….	29
Fotoğraf 4.5.	Luxell LX 3675 fırın……..	30
Fotoğraf 4.6.	Deney aşamasında kullanılan hassas derece……..	31
Fotoğraf 4.7.	Alüminyum tabanlı dijital ısıölçer…….....	32
Fotoğraf 4.8.	Gerilme çeşitleri…….....	35
Fotoğraf 4.9.	SHIMADZU marka Autograph AGS-X ……... model universal test cihazı…….	38
Fotoğraf 5.1.	Numunelerin fırınlanma işlemi……...	41
Fotoğraf 5.2.	200 ℃'de erimiş numuneler……	42
Fotoğraf 5.3.	Çekme testi cihazı…….	43

GRAFİKLER DİZİNİ

		Sayfa
Grafik 5.1.	Test sonuçlarının toplu halde karşılaştırılması……	45
Grafik 5.2.	1 Numaralı numunenin çekme testi grafiği ……	46
Grafik 5.3.	2 Numaralı numunenin çekme testi grafiği ……	47
Grafik 5.4.	3 Numaralı numunenin çekme testi grafiği ……	47
Grafik 5.5.	4 Numaralı numunenin çekme testi grafiği ……	48
Grafik 5.6.	5 Numaralı numunenin çekme testi grafiği ……	49
Grafik 5.7.	6 Numaralı numunenin çekme testi grafiği ……	49
Grafik 5.8.	Isıl işlem görmemiş numunenin çekme testi grafiği ……...	50
Grafik 5.9.	Numunelerin akma dayanımı değerleri ……..	51
Grafik 5.10.	Numunelerin kopma dayanımı değerleri ……	52
Grafik 5.11.	Numunelerin elastikiyet modülü değerleri …….	53

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. 3B yazdırma işlemlerinde kullanılan yöntemler…….	7
Tablo 2.2. 3B yazdırma tekniklerinin karşılaştırılması……	8
Tablo 4.1. PLA ve ABS – ısıl özellik tablosu……..	25
Tablo 4.2. PLA ve ABS – mekanik özellik tablosu…….	25
Tablo 4.3. Esun PLA Plus filament özellikleri …….....	26
Tablo 4.4. Grafik okumada kullanılacak önemli noktaların tanımı…….	36
Tablo 5.1. Deney sırasına göre Sıcaklık- Bekleme Süresi değerleri..……...	42
Tablo 5.2. Numunelerin genişlik, kalınlık ve uzunluk değerleri ……..…	44
Tablo 5.3. Numunelerin çekme testi sonuçları…….	45
Tablo 5.4. Numunelerin akma değerleri karşılaştırması …….	51
Tablo 5.5. Numunelerin çekme değerleri karşılaştırılması …….	52
Tablo 5.6. Numunelerin elastikiyet modülü değerleri karşılaştırması…….	53

1.GİRİŞ

3 Boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen malzemelerin, yüksek hassasiyet, düşük işçilik masrafı ve zamandan tasarruf gibi önemli özelliklerinden dolayı bireysel ve ticari alanlarda kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Örneğin gaz türbin motoru parçaları, pervane, ısı değiştiricileri, diş implantları, yüksek performanslı motor parçaları vb. gibi üretimi oldukça zor olan malzemelerin üretimi 3 boyutlu yazıcılar sayesinde oldukça kolaylaşmıştır. Model üretimi sırasında işçilik gerekmediğinden ve herhangi bir kalıba ihtiyaç duyulmadığından, günümüzde tercih oranı sürekli artan bir sektör haline gelmiştir. Profesyonel yazıcılar sayesinde istenilen her model rahatlıkla basılabileceği için tek bir çalışma alanına bağlı kalmayı gerektirmez.

Profesyonel yazıların yüksek yazdırma hassasiyetine sahip olması önemli bir özellik olmasına rağmen bu hassasiyet yüksek maliyetleri de doğurmaktadır. Her alıcı bu maliyeti karşılayamayacağı için düşük maliyetli yazıların çıktı kalitesini arttırmak amacıyla araştırmalar yapılmıştır ve bazı yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada çıktı alınan modelin, yazdırma işleminden sonra yüksek dereceli fırında sıcaklığın ve bekleme süresinin değiştirilerek mukavemetinin değişip değişmediği araştırılmıştır. Literatürde 3 boyutlu parçaların sıcaklık ile çekme dayanımının arttırılmasına yönelik çalışmalara yeterli sayıda rastlanamamıştır. Karşılaştırma yapılabilmek amacıyla ısıl işlem görmemiş deneme numunesi ile birlikte on farklı ASTM D638 Type 4 numunesine çeşitli deneyler yapılmış olup, elastikiyet modülü, kopma gerilmesi, akma gerilmesi ve maksimum gerilme değerleri ayrı ayrı ölçülüp, bu değerlerin grafiksel olarak karşılaştırılması ve sonuçların yorumlaması yapılmıştır.

2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR

3B yazıcı, üç boyutlu nesneler oluşturan bilgisayar destekli bir üretim (CAM) aygıtıdır. Geleneksel bir yazıcının yaptığı gibi 3 boyutlu yazıcı bir bilgisayardan dijital veriyi girdi olarak alır. Veriler; SolidWorks, ProEngineer, Catia, Rhino3D, Google Sketchup gibi yazılım programları sayesinde dijital ortama aktarılır. Bu programlar aracılığıyla 3 boyutlu parça çizimi 'STL' dosyası olarak kaydedilir. Bununla birlikte, çıktıyı kâğıda yazdırmak yerine, bir plaka üzerinde katmanlar halinde üst üste biriktirerek üç boyutlu bir model oluşturur.

3B yazıcılar, model tamamlanana kadar fiziksel nesneleri oluşturmak için 'Katmanlı Üretim' adı verilen bir işlem kullanır. Bu, bir makinenin mevcut bir kalıp kullanarak materyali yeniden şekillendirdiği imalattan farklıdır (Fotoğraf 2.1). 3D yazıcılar malzemeyi yığınlar halinde biriktirerek sıfırdan modeller oluşturduğundan, daha verimlidir ve kalıplı üretim yönteminden daha az atık üretir [1].



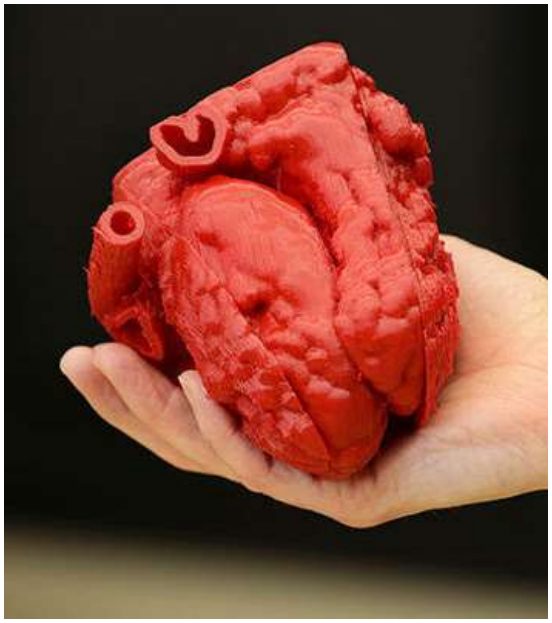
Fotoğraf 2.1. Yüksek hassasiyetli 3B yazıcı [2]

2.1. 3B Yazıcıların Tarihçesi

Nagoya Belediyesi Endüstriyel Araştırma Enstitüsünde araştırma yürüten Hideo Kodama tarafından 1981 yılında, fotopolimerleri kullanan işlevsel, hızlı oluşturma sistemi halka tanıtıldı. Her modelde katmanlar halinde bir kesit dilime karşılık gelen basılı bir model oluşturularak yapılmıştır. Üç yıl sonra, 1984 yılına gelindiğinde, Charles Hull, Stereolitografi'yi icat ederek 3D baskı tarihçesini yazmıştır. Stereolitografi (SLA), tasarımcıların dijital verileri kullanarak 3D modeller oluşturmasına olanak tanıyan daha sonra da somut bir nesne oluşturmak için kullanılan bir cihazdır.

Stereolitografi; UV (ultraviyole) lazer ışınının akrilik kaynaklı bir malzeme türü olan sıvı fotopolimer tankına çarptığında, ışığa maruz kalan kısmının lazer ışığı ile sertleştirilerek, 3 boyutlu model tasarımına dönüştürülmesi üzerine tasarlanmış bir sistemdir. Buluşunun birincil amacı, mühendislerin ve tasarımcıların seri üretime geçmeden önce fikirlerini test etmelerine yardımcı olmak için, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) çizimlerinden ilk örnekler oluşturmasını sağlayabilmekti.

1999 yılında ise Wake Forest Rejeneratif Tıp Enstitüsü'ndeki bilim adamları, bir insan mesanesinin sentetik iskeletlerini bastırdılar, daha sonra iskeleti insan hücreleriyle kapladılar (Fotoğraf 2.2). Yeni oluşturulan doku, hücre kaplama işleminin ardından hastalara yerleştirildi. Canlının bağışıklık sisteminin, kendilerine ait olan hücreleri reddetme şansı olmadığından vücut yeni organ ile adapte oldu. Dr. Adrian Bowyer 2005 yılında RepRap adlı bir proje başlattı. Bu proje ile temelde kendisini oluşturabilecek bir 3D yazıcı üretmek veya en azından kendi parçalarını basabilecek bir yazıcı üretebilmeyi amaçladı.

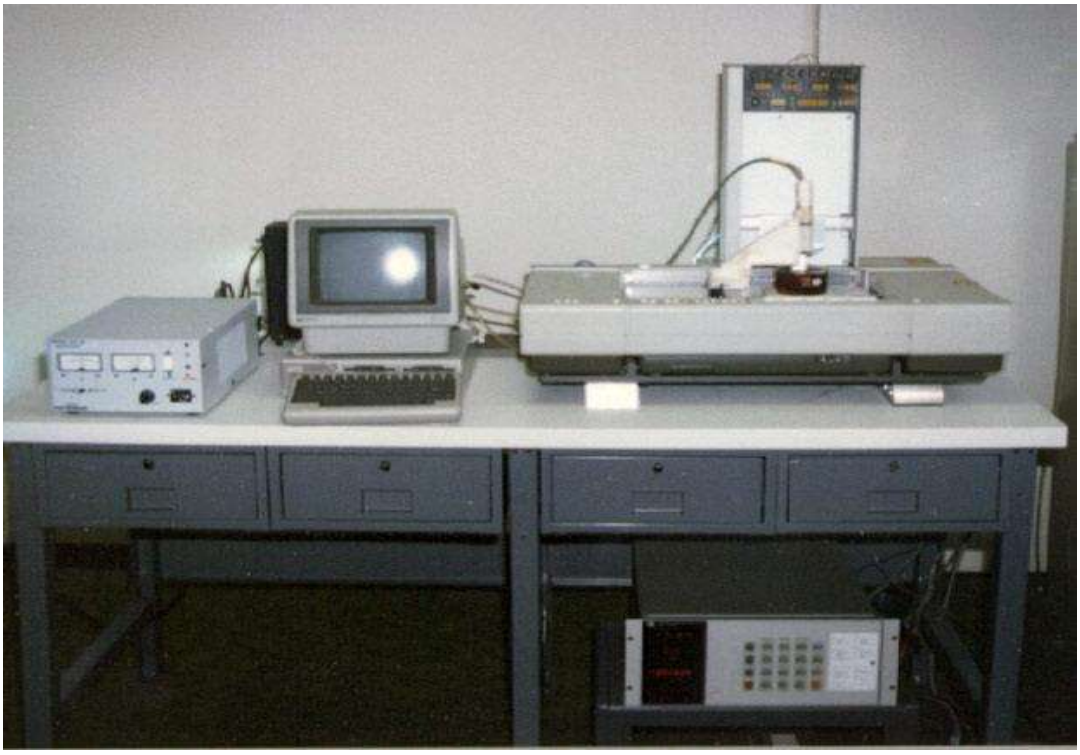


Fotoğraf 2.2. 3B yazıcı ile üretilmiş organ [3]

2008'de piyasaya sürülen Darwin, kendini kopyalayabilen bir yazıcı olma özelliğine sahiptir. Bu sayede, insanlar kendileri için hayal edebilecekleri her şeyi yaratma gücüne sahip olmuştur.

2000'lerin ortalarına gelindiğinde üretimde demokratikleşme arttı, bu sayede kişiler hayal güçleri doğrultusunda yaratıcılıklarını kullanma şansına eriştiler [4].

2011'den itibaren 3B yazıcıların maliyetleri düşmüş ve doğrulukları arttırılmıştır (Fotoğraf 2.3). Tasarımcılar ana malzeme olarak gümüş, altın, demir gibi 3B yazıcı endüstrisinin alanını geliştirecek yeni kaynaklar bulmuşlardır. Bu sayede 3B yazıcılar ile uçak, araba gibi büyük projeleri insanlara ihtiyaç duymadan hazır hale getirmek kolaylaşmıştır.



Fotoğraf 2.3. İlk 3B yazıcı [5]

2.2. 3 Boyutlu Yazıcıların Çalışma Prensibi

FDM (Fused Deposition Modelling) teknolojisi Türkçe karşılığıyla Eriyik Yığma Modelleme, güçlü bir katkı maddesi üretim yöntemidir. 20 yıldan fazla bir süre önce Scott Crump tarafından icat edilmiştir. FDM ile standart, mühendislik sınıfı ve yüksek performanslı termoplastikler kullanılarak tasarım modeller, fonksiyonel prototipler ve son kullanım parçaları oluşturur. Üretim aşamasında termoplastik kullanan tek profesyonel 3D baskı teknolojisidir, bu nedenle parçalar mekanik, ısıl ve kimyasal güç bakımından rakipsizdir. Bazı katmanlı imalat yöntemlerinin aksine FDM hiçbir özel tesise veya havalandırma tesisatına ihtiyaç duymaz ve hiçbir zararlı kimyasal bileşen içermez.

FDM Teknolojisinde çalışan 3B yazıcılar ABS, PLA, PMMA , HIPS vb. gibi termoplastik malzemeyi yarı sıvı hale getirir. Bu malzemeler bilgisayar kontrollü yollara göre katman katman oluşturularak yazdırılırlar. Malzeme filamentleri, 3B yazıcının malzeme haznesinden, X ve Y koordinatlarında hareket eden baskı kafasına beslenir. Z ekseninden aşağı hareket etmeden ve bir sonraki tabaka başlamadan önce

her tabakayı tamamlamak için malzeme biriktirilir. FDM, baskı işini yürütebilmek için iki çeşit malzeme kullanır. Bunlar, bitmiş parçayı oluşturan modelleme malzemesi ve iskele görevi gören destek malzemesidir. 3B parça imal edildikten sonra, kullanıcı destek malzemesini kırar ya da deterjan ve su içinde çözer. Bu işlemin ardından parça kullanıma hazır hale getirilmiş olur [6].

Bir FDM makinesiyle fiziksel bir parça oluşturmak, üç ana adımda gerçekleştirilir. Birinci adımda, modelin bilgisayar ortamında tasarlanması gerekir. Daha sonra, parçayı oluşturmak için nozulün izlemesi gereken yolun oluşturulması gerekir. Son adımda ise makine, parçayı izlediği yola uygun olarak katmanlar halinde yığarak oluşturur. FDM ile bir parça oluşturma sürecine başlamak için, parçanın bir 3B modelinin oluşturulması gerekir. Model oluşturulduktan sonra, bir stereolitografi (.STL) dosyasına dönüştürülür. Bu dosya türü modelin yüzeyini matematiksel integrasyon yoluyla bir dizi düğüm yaratır. Bu düğümler birleştirilerek, istenilen modele benzeyen yüzeyler oluşturulur. .STL dosyası oluşturulduktan sonra, FDM makinesi için derleme dosyası oluşturmak üzere farklı bir program tarafından işlenmesi gerekir. Bu programlara dilimleyici denir. Dilimleyiciler yüzey modelini alır ve bir dizi 2 boyutlu katmana böler. Bu katmanlar istiflendiğinde orijinal .STL modelini oluştururlar. Her bir katmanda, dilimleme programı, parçayı oluşturmak için erimiş malzemeden oluşan ipliği doğru bir şekilde yerleştirmek için nozülün izlemesi gereken yolu oluşturur. Katman içindeki bu desen katmanın yol geometrisini oluşturur. STL dosyalarını, yol geometrilerine dönüştürülme işleminin tamamına Dilimleme denir. .STL dosyaları oluşturmak için CAD programları arasında nispeten belirgin seçenekler bulunmaktadır. Ancak dilimleyiciler arasında çok daha fazla çeşitlilik vardır. Bazı yazıcılar yalnızca üretici tarafından sağlanan tescilli dilimleyicileri kullanır. Öte yandan, açık kaynak kodlu yazıcılar, bağımsız olarak temin edilebilen çeşitli dilimleyicilerden derleme dosyalarını kabul edebilmektedir. Her dilimleyici, kullanıcılara farklı işlem parametreleri kontrolü özelliklerini sağlar (örneğin, yol geometrisini kontrol eden değişkenler). Katman yüksekliği, baskı kalitesi, dolgu yoğunluğu veya yönlendirme gibi baskının en temel kontrolünü bu parametreler düzenler. Diğerleri, dolgu deseni, destek konumu, kabuk kalınlığı, baskı hızı ve daha fazlası gibi tüm parametreler üzerinde tam kontrol sağlar. Baskı dosyası oluşturulduktan sonra, yazıcıya gönderilir. Çoğu FDM yazıcı 160°C ile 250°C

arasında erime noktalı materyaller basmak üzere tasarlanmıştır. En yaygın olanları, yaklaşık 230°C'lik bir baskı sıcaklığına sahip plastik akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve yaklaşık 205°C'lik bir baskı sıcaklığına sahip polilaktik asittir (PLA) [7].

3 Boyutlu yazıcılar için birden fazla yazdırma yöntemi geliştirilmiştir. Bu işlemler genel olarak, toz maddesinin katılaştırılması ya da ana malzemenin eritilerek katılaştırılması üzerinedir. SLS, SLA, FDM ve 3B Baskı gibi yöntemler, model oluşturulmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlemlerin nasıl yapıldığı kısaca Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. *3B yazdırma işlemlerinde kullanılan yöntemler [8]*

İşlem	Tanımı
Stereolithography (SLA)	Sıvı fotopolimer, reçine tankın içinde tutulur. Düz bir yatak tek bir katmana eşdeğer bir derinliğe daldırılır. Lazerler reçineyi aktive edebilmek ve katılaşmasını sağlamak için kullanılır. Yatak indirilir ve bir sonraki katman inşa edilir.
Eriyik Yığma Modelleme (FDM)	Dar bir sıcak plastik nozuldan sıkılır ve mevcut yapı soğutularak katmanlar halinde oluşturulur.
Seçici Lazer Sinterleme (SLS)	Ardışık toz katmanlarını kısmen eritmek için bir lazer kullanılır. Bir tabaka, toz yatak alanında biriktirilir. Katılaşması gereken yere lazer ışını uygulanarak model oluşturulur.
3B Baskı (3B)	İnkjet yazıcı teknolojisine dayanmaktadır. Mürekkep püskürtücü, seçici olarak bir sıvı bağlayıcı bir toz yatağı üzerinde biriktirir. Bağlayıcı, tozu etkin bir şekilde yapıştırır.

3 boyutlu baskı yapımında kullanılan bu yöntemler her malzeme türünde uygun değildir. Bu teknikler farklı çalışma ortamları ve farklı uygulama yöntemleri gerektirebilirler. Elde edilen sonuçlarda boyutsal doğruluk oranları ve gerekli maliyetler değişkenlik gösterir. Tablo 2.2' de bu tekniklerin belli özelliklerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Tablo 2.2. *3B yazdırma tekniklerinin karşılaştırılması [9]*

Teknikler	Tipik polimerler	Çalışma prensibi	Avantajlar	Dezavantajlar
FDM	ABS, PLA, naylon, PC gibi termoplastikler	Ekstrüzyon ve biriktirme	Düşük maliyet, yüksek dayanım, malzeme çeşitliliği	Anizotrop, kolay nozul tıkanması
SLA	Fotoğrafla iyileştirilebilir reçine (epoxy veya akrilat bazlı reçine)	Lazer tarama ve UV tanıtımı	Yüksek doğruluk oranı	Kısıtlı malzeme seçeneği, yüksek maliyet
SLS	PCL ve poliamid tozu	Lazer tarama ve ısı tanıtımı	Yüksek dayanım, tozun kolay temizlenmesi	Yüksek maliyet, tozlu yüzeyler
3DP	Toz halinde temin edilebilecek herhangi bir malzeme, bağlayıcı gereklidir.	Bağlayıcı madde uygulaması	Düşük maliyet, malzeme çeşitliliği, tozun kolay temizlenmesi	Bağlayıcı jetinin tıkanması, bağlayıcı kontamitasyonu

2.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları

3B yazıcılar endüstriyel tasarım alanlarının neredeyse her alanında bulunmasına rağmen, en çok kullanıldıkları alan plastik üretimidir. Plastik, gerek maliyetinin uygun oluşu gerek de kolay uygulanabilirlik açısından oldukça kullanışlı bir üründür. 3 boyutlu modelin sanal ortamdan fiziksel boyuta geçmesine kolaylık sağlar.

3B yazıcılar sayesinde inşaat alanında da büyük gelişmeler yaşanmıştır. Beton malzemesi devasa yazıcılar ile kullanılmıştır, tasarımın krokisinin katmanlı yapılar şeklinde oluşturulmasıyla inşaat sektörüne farklı bir boyut kazandırmıştır (Fotoğraf 2.4). Bu sayede gerekli iş gücü azalmış, işçilik süresi kısalmış, yapı kalitesi artmış ve maliyet düşürülmüştür. Bu teknolojinin tanıtımının başında Çin'deki Winsun Dekorasyon Tasarım Mühendisliği Co yer almaktadır. 3 boyutlu yazıcılar sayesinde 6 katlı bir apartman ve Çin'in Şangay kentinde bir konak basmışlardır [10].



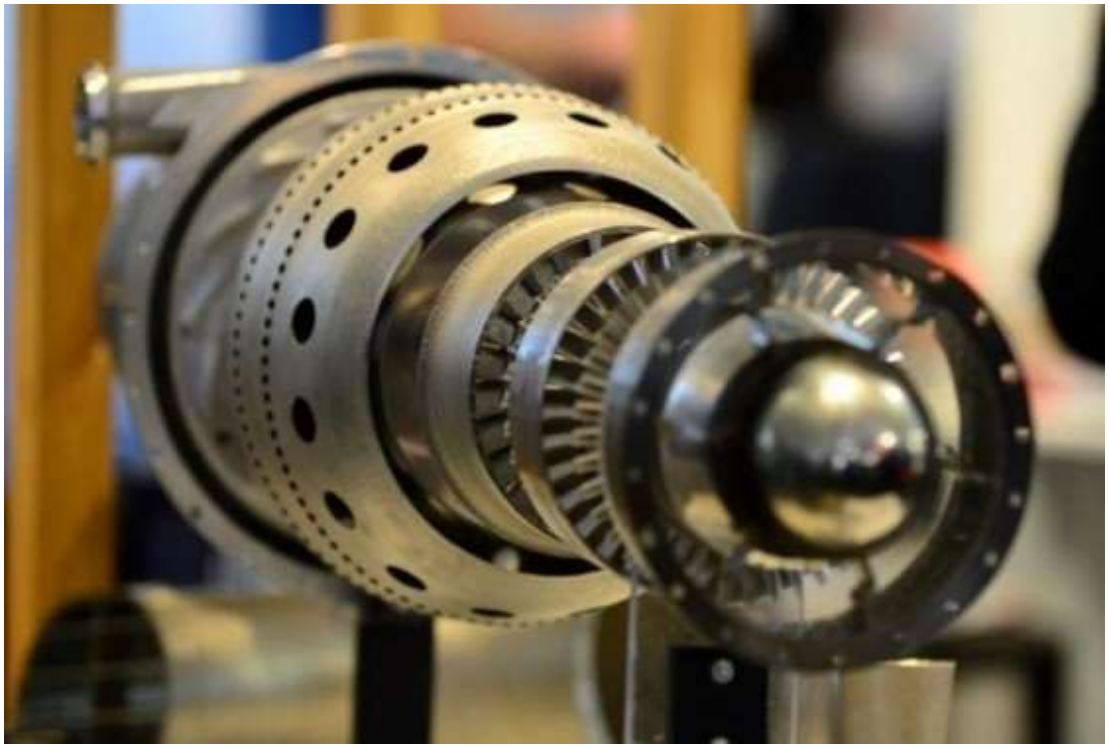
Fotoğraf 2.4. 3B yazıcının inşaat alanında kullanımı [11]

Yiyecek sektörü, 3B yazıcıların kullanıldığı diğer alanlardan biridir. Gerekli karışım hazırlandıktan sonra sıcaklığa duyarlı nozul uçlar sayesinde kurabiye, krema, spagetti vb gibi ürünler istenilen şekil ve modelde rahatlıkla üretilebilir (Fotoğraf 2.5).



Fotoğraf 2.5. 3B yazıcının pastacılık alanında kullanılması [12]

Ülkelerin en çok önem verdiği alanlardan birisi de Savunma Sanayisi olduğundan dolayı, bu alanda yapılan çalışmalar oldukça yoğundur. Bu nedenle uçak motorlarının neredeyse üretilmesi imkânsız olan parçaları 3B yazıcı sayesinde üretilmeye başlanmıştır (Fotoğraf 2.6).



Fotoğraf 2.6. 3B yazıcının savunma sanayisinde kullanılması [12]

3 boyutlu yazıcıların kullanıldığı bir diğer alan ise makyaj sektörüdür. Mink adı verilen bu cihaz sayesinde bilgisayara bağlanabilir, renk seçilebilir ve seçilen bu bilgiler 3B yazıcıya aktarılabilir. 3B yazıcı sinyalleri alır ve ardından makyaj malzemesini üretmek için malzemeleri ve pigmentleri karıştırır (Fotoğraf 2.7).

Basılan makyaj malzemesi tamamen kişiye özel yapılır. Bu ürünler, ruj veya göz farı olabilir. Gelecekte bu makine ile insanlar, beğendikleri kırmızı halı rengini internet resimlerinden seçtikten sonra günlük yaşamlarında ve özel günlerinde hangi renk giysileri giyeceklerini seçebilecekler. Bu makyaj malzemesi baskı cihazı hala geliştirme aşamasındadır [13].



Fotoğraf 2.7. 3B yazıcıların güzellik sektöründe kullanılması [14]

3 boyutlu baskı teknolojisi sadece küçük eşyalara değil, aynı zamanda araba gibi büyük nesnelere de uygulanabilir. Bazı tasarımcılar 3B baskı teknolojisini otomobil üretiminde uygulamayı düşünmüşler ve bu konuda başarılı olmuşlardır (Fotoğraf 2.8). Otomobil pazarında 3D basılı otomobillere müşterilerin ilgisi daha fazladır çünkü bu araçlarda güvenlik ve yakıt verimliliği yüksek, bakım maliyeti ise düşüktür. Ek olarak, tüketiciler, üretim aşamasından önce otomobillerinin nasıl görünmesini istedikleri hakkındaki fikirlerini sunabilir ve 3D baskı otomobillerinin benzersiz tasarımları piyasada daha fazla dikkat çekebilir [15].



Fotoğraf 2.8. 3B yazıcıların otomotiv sektöründe kullanılması [16]

2.4. 3 Boyutlu Yazıcıların Avantajları

Günümüzde kullanım alanları artmasına bağlı olarak 3 boyutlu yazıcıların avantajları da artmıştır. Bunlardan bazıları;

- Yazıcı haricinde ek aletlere ihtiyaç duyulmaz bu yüzden maliyet ve zamandan tasarruf sağlar.
- Seri üretim gerektirmez, az sayıda parça üretimi için uygundur.
- Tasarım hızlıca değiştirilebilir, kalıp gerektirmez.
- Prototip oluşturmak kolaydır.
- Üretim sonrasında oluşturulan atık oranı azdır.
- Tedarik edilmesi kolaydır ve çabuk tedarik edilebilir.
- Bireysel kullanım kolaylığından dolayı tasarım oluşturması ve üretimi kolaydır [17,18,19].
- Geometrik olarak üretimi diğer metotlarla oldukça zor olan parçaların üretimi kolay ve hızlıdır.

- Üretim kısmında herhangi bir müdahaleye ihtiyaç duyulmadığından gerekli işçilik maliyeti diğer üretim metotlarına göre çok düşüktür. Bu sayede malzeme için fazla miktarda ücret ödemek gerekmez.
- Kullanılan PLA malzemesinin ana maddesi mısır nişastası olduğu için kullanıcının sağlığına zarar vermez, üretimi sırasında zehirli gaz salınımı oluşturmaz ve atıklar çevreyi kirletmez [20].

2.5. 3 Boyutlu Parçalara Uygulanan Son İşlemler

3 Boyutlu yazıcılarda yüzey pürüzlülüğü istenmeyen bir durumdur. Bu durum parçanın hassasiyetini düşürür, sağlamlığını azaltır ve kozmetik olarak istenilen biçimde gözükmesine engel olur. Çıktı alınan her model türünde yüzey iyileştirilmesi için tek bir yöntem kullanılamamaktadır. Yüksek hassasiyete sahip olan 3 boyutlu yazıcıların maliyeti fazladır, her müşteri bu maliyeti karşılayamamaktadır. Bu yüzden yazdırma sonrası yüzeyin pürüzlerinden arındırılması ve parçanın sağlamlığının arttırılması için; aseton kaplama, epoksi kaplama, vernikleme ve zımparalama işlemleri vb. gibi yöntemler geliştirilmiştir.

2.5.1. Aseton Buharı İle Kaplama

Aseton buharıyla tepkimeye girmemeleri ya da deforme olmamaları sayesinde ABS , ASA , PMMA , HIPS ve Polikarbonat türü filamentlerle aseton kaplama işlemi yapılabilmektedir (Fotoğraf 2.9). Bu filamentlerle üretilmiş modellerin yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi için; Model yazıcıda bastırıldıktan sonra yazdırma yatağında, aseton döşenmiş alüminyum yüzey üzerinde, sıvıyla temas etmeden üstü kapalı bir şekilde sabit 90°C'de bekletilir. Gerekli süre zarfında model aseton ile kaplanmış olup yüzeyi suya karşı da dirençli hale getirilir [21].



Fotoğraf 2.9. 3B modelin aseton buharı ile kaplanması [22]

2.5.2. Zımparalama

Zımparalama işlemi fazla karışık olmayan modellerde uygulanması kolay ve uygun maliyetli bir işlemdir. ABS ve PLA türündeki filamentlerle çok iyi uyum sağlayabilir. Polikarbonat ve PMMA gibi daha sert malzemelerle uygulanabilirliği zordur.

Zımparalama, aseton buharlama yönteminin yetersiz kaldığı durumlarda uygulanmaktadır (Fotoğraf 2.10). Bu yöntem sayesinde pürüzler daha yüksek oranda yüzeyden uzaklaştırılabilir. PLA malzemesinin düşük erime sıcaklığından ötürü zımparalama işlemi alçak devirlerde yapılmalıdır, aksi takdirde sürtünmeden kaynaklı oluşan yüksek sıcaklılardan dolayı modelde erime söz konusu olabilir. Zımparalama işlemi bittikten sonra gerek duyulursa boyama, parlatma veya vernikleme işlemleri yapılabilir [23].



Fotoğraf 2.10. 3B modele yapılan zımparalama işleminin öncesi ve sonrası [24]

2.5.3. Epoksi ve Vernikleme

Aseton kaplamanın yeterli olmadığı durumlarda kullanılan bu yöntem, zımparalama işleminden daha basittir çünkü gerekli işçilik azdır, temiz bir yöntemdir ve fazla malzemeye ihtiyaç duyulmaz (Fotoğraf 2.11). Bu işlem öncelikle epoksi karışımın hazırlanmasıyla başlar. Model karışımın içine daldırılır ya da bir fırça yardımıyla karışım, modelin bütün yüzeylerine eşit bir şekilde sürülerek 1-2 saat bekletilir.



Fotoğraf 2.11. 3B modele yapılan epoksi işleminin öncesi ve sonrası [25]

3. LİTERATÜR TARAMASI

Wang ve diğ., nozülden ekstrüde edilmiş bir malzemenin, cam geçiş sıcaklığından oda sıcaklığına kadar soğuduğu için, iç gerilmelerin özellikle dengesiz biriktirme hızı nedeniyle değişeceğini belirtmiştir. Bu iç gerilmeler iç tabakaya ve iç tabaka deformasyonuna neden olacak ve bu da çatlama, tabakadan çıkarma ya da hatta parça imalatında başarısızlığa yol açacaktır. Böylece parçanın dayanımı ve boyutunu etkileyecektir. Araştırmacılar toplam katman sayısının, biriktirme kesit uzunluğunun ve oda sıcaklığının etkilerini çalışabilmek için matematiksel model önermişlerdir. Toplam katman sayısının arttırılması ile oluşan deformasyonun hızla azalacağı sonucuna varmışlardır. Ancak azalma eğilimi, belirli sayıda katmandan sonra yavaşlayacaktır. Daha yüksek biriktirme kesit uzunlukları büyük deformasyonlar üretecektir ve oda sıcaklığı artacaktır. Bu yüzden malzemenin cam geçiş sıcaklığında deformasyonu azalacak ve sıfır olacaktır. Bu sonuçlara dayanarak, parça üretimi için malzeme kullanımının daha düşük cam geçiş sıcaklığına ve doğrusal büzülme oranına sahip olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca, çekilmiş elyafın uzunluğunun da küçük olması gerekmektedir [26].

Ahn ve diğ., yaptıkları deneyler sayesinde hava boşluğu ve raster oryantasyonunun, FDM işlem parçalarının çekme dayanımını etkilediği; raster genişliği, model sıcaklığı ve rengin çok az etkisinin olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, farklı raster açıları ve hava boşluğunda işlenen FDM parçasının ölçülmüş çekme dayanımını, enjeksiyon kalıplı parçanın çekme dayanımı ile karşılaştırdılar. Her iki tipte yapılan üretim için ABSP400 malzemesi kullanılmıştır. Sıfır hava boşluğu ile FDM numunesinin çekme dayanımı, yükleme yönüne göre en fazla 0° ve en az 90° raster oryantasyonunda, %10 ile %73 oranında enjeksiyon kalıplı parçanın arasında bulunur. Ancak negatif hava boşluğu ile ilgili raster oryantasyonundaki mukavemette önemli bir artış vardır, yine de enjeksiyonla kalıplanmış kısımdan daha azdır. Alternatif katman raster açısı 45° ile -45° arasında değişen numune hariç tüm örneklerde enlemesine kesitte başarısız olmuştur. Numune üzerinde iki farklı oryantasyonda yapılan sıkıştırma testi, bu mukavemetin çekme mukavemetinden daha yüksek olduğunu ve enjeksiyonla kalıplanmış kısım için olanların %80 ile %90'ı arasında kaldığını ortaya koydu [27].

Es Said ve diğ., çalışmalarında Raster açısının, FDM1650 modelli makine kullanılarak FDM ABSP400 parçası üzerindeki gerilme, bükülme ve darbe özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Gözlemler, raster oryantasyonunun, polimer moleküllerinin akış doğrultusu boyunca hizalanmasıyla kuvveti etkilediğini göstermektedir. Ayrıca FDM işlemi nozül uçtan, yarı erimiş halde bulunan katı filament kullanılarak, 3B modeli oluşturmak ve belirli bir sıcaklıkta muhafaza etmek amacıyla bir oda içinde faz değişikliğini takip ederek katılaşır. Sonuç olarak, zayıf ara tabaka bağlanmasına ve yük taşıma alanını azaltan gözenekliliğe neden olan hacimsel daralma (büzülme) meydana gelir [28].

Lee ve diğ., yapı yönünün basınç özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için FDM, 3D yazıcı ve nano kompozit biriktirme (NCDS) yöntemleri kullanılarak yapılan silindirik parçalar üzerinde deneyler yapmıştır. Deneysel sonuçlar, eksenel FDM örneğinin basınç dayanımının, enine FDM örneğinin basınç dayanımına kıyasla % 11,6 daha yüksek olduğunu göstermektedir. 3B baskıda, diyagonal (çapraz) numune, eksenel numuneye kıyasla maksimum basınç dayanımına sahiptir. NCDS yöntemi ile, eksenel numune enine numuneden %23,6 daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Üç RP teknolojisinin arasından, yapım yönünden en çok etkilenen modeller NCDS tarafından oluşturulan parçalar olarak gözlenmiştir [29].

Khan ve diğ., çalışmalarında katman kalınlığı, raster açısı ve hava boşluğu değişkenlerinin FDM ABS prototipinin elastik performansını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmıştır [30].

Bellehumeur ve diğ., komşu filamentler arasındaki bağ kalitesi ve bu filamentlerin eğilme yükü altındaki başarısızlıklarını deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, hem zarf sıcaklığının hem de yapı kısmının konvektif koşullardaki değişikliklerinin, mezo yapı ve genel bağlanma mukavemeti kalitesi üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermiştir. Soğutma sıcaklığı profillerinin çevrimiçi olarak ölçülmesi ile alt tabakaların sıcaklık profilinin cam geçiş sıcaklığının üzerine çıktığını gözlemlemiştir. Ekstrüzyon başlığının, termosetin yerleştirme konumundan uzaklaştıkça hızlı bir düşüş gösterdiğini ortaya koymuştur. Mikrofotoğraf, daha yüksek sayıda katmana sahip numunenin yüzü için üst katmanlarla karşılaştırıldığında,

bitişik filamentlerin difüzyonunun düşük katmanlarda daha fazla olduğunu göstermektedir [31].

Agrawal ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, toleransların ve boşlukların stokastik modelleme kavramı, RP işlemine yayılmıştır. RP süreçleri için tek bir yaklaşım kullanarak FD sürecindeki mekanik hata incelenmiştir. Bağlantıların ve menteşelerin kütle ölçeğinde üretildiği yerdeki toleransların ve boşlukların giriş değerleri kullanılarak FD sürecinin nozul ucundaki mekanik hatayı analiz etmek için bir metodoloji geliştirilmiştir. Kapalı yüzey (Closed-form) ifadesi, çalışma yüzeyindeki bir noktanın koordinatlarındaki mekanik hatayı bulmak için türetilmiştir. Çalışma yüzeyindeki bir noktanın z koordinatı üzerindeki etki katsayılarının, x ve y koordinatlarınınkinden daha büyük olduğu görülmüştür. Nozul ucuyla birçok eğri grafiği incelenerek 3 sigma bant elde edilmiştir. Varyanslar ve toplamları, çalışma yüzeyindeki farklılıklarını göstermek için bir tabloda listelenmiştir. Genel hatanın çalışma yüzeyi boyunca kayda değer ölçüde değiştiği bulunmuştur. Hata, çalışma yüzeyinin sol ön ucunda ve sağ arka ucunda maksimum seviyededir. Bu yöntem, imalat maliyetini düşürmek, toleransların ve aralıkların en uygun tahsisi için genişletilebilir [32].

M. Iliescu ve ark., 3B Baskı'da sonlu elemanlar simülasyon yöntemini kullanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi olaylarıyla ilgili olarak simülasyon hazırlanmıştır. Bu simülasyon optimum lazer cihazının işlevsel karakteristiklerini elde etmek amacıyla cihazın elemanlarından birini çevreleyen bir yapı geliştirmek için kullanılmıştır [33].

B. M. Tymrak ve ark., çalışmalarını ABS ve PLA tarafından üretilen baskılı bileşenlerin çekme dayanımı ve elastik modülü sonuçlarının bulunması hakkında yapmışlardır. Sonuçlar ABS için ortalama 28.5 MPa ve PLA için ise 56.6 MPa çekme kuvvetine, ABS için ortalama 1807 MPA ve PLA için 3368 MPa elastikiyet modülü değerine sahip olduğunu göstermiştir [34].

F. Roger ve ark., dış geometriyi tanımlamak amacıyla topolojik optimizasyon yöntemi kullanarak hedeflenen kullanım özelliklerini elde etmek için heterojen iç dolgu ve çoklu malzemeler üzerinde çalışmıştır. Bu işlem için FDM 3 boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Bu termoplastik malzemeler, ham ABS ve karbon siyahı ile doldurulmuş iletken ABS'dir. Dolgu yoğunluğu dağılımı, imal edilen termoplastik parçanın gerilme derişim bölgelerindeki sertliği arttırmak için optimize edilebilir [35].

Tomislav Galeta ve ark., seçilen işleme faktörlerinin çekme dayanımı üzerindeki etkisini ve en yüksek dayanımı sağlayan faktör kombinasyonunun belirlenmesini araştırmıştır. ZP 130 tozunun test numuneleri, bir 3B yazıcıda tabaka kalınlığı, yapı oryantasyonu ve infiltrant değişkenleri ile hazırlanmıştır. Araştırmacılar, alternatif sızıntı maddeleriyle sızan örneklerin gücünün, gerçek sızıntı maddeleriyle elde edilen güç değeri ile eşdeğer olduğunu keşfetmişler ve böylece alternatif sızıntı maddelerinin kullanılabileceği araştırmacılar tarafından doğrulanmıştır [36].

Hadi Miyanaji ve ark., çalışmalarında diş porselenleri malzemelerine odaklanmışlardır. Araştırma, Ex One bağlayıcı madde püskürtme sistemi ile üretilen diş porselen materyalleri için uygun işlem parametrelerini elde etmek amacıyla yapılmıştır. Bu etkiler aynı zamanda cam seramik malzemelerin imalatı için baskı ana hatlarının oluşturulmasını sağlar [37].

K.G. Jaya Christiyan [2016] ve ark., ABS + sulu magnezyum silikat kompozitini, mekanik özelliklerini test etmek için kullanmıştır. Çekme ve eğilme testlerini yapmak için ASTM D638 ve ASTM D760 standartları takip edilerek test numuneleri üretilmiştir. Farklı katman kalınlıklarına ve baskı hızına sahip örnekler hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlara dayanarak, düşük baskı hızının ve düşük tabaka kalınlığının diğer tüm işlem parametreleri örnekleriyle karşılaştırıldığında maksimum gerilme ve eğilme dayanımı sağladığı ileri sürülmüştür [38].

Ivan Gajdos ve arkadaşları, FDM prototiplerinin yapısının, dağıtım sıcaklığı ve taban plakasındaki düzen değiştirilerek nasıl etkilendiğini araştırmıştır. Dağıtma sıcaklıklarının FDM prototiplerinin yapısı üzerindeki etkisini tanımlamak için, örneklerin basımında farklı başlık ve örtü sıcaklıkları kullanılmıştır. ABS numuneleri,

tabaka yapısında, boyutlarında ve numunede doldurulmamış hacim kısmındaki modifikasyonu belirlemek için bilgisayarlı tomografi ile analiz edilmiştir. Elde edilen analizler, taranmış örneklerin bütün hacmindeki malzeme dağılımının homojen olmadığını göstermektedir. Doldurulmamış alanın hacmiyle temsil edilen yapı homojenliğinin, imal edilmiş parçanın konturundan da etkilendiği bulunmuştur. Bu yaklaşım gelecekte kalite değerlendirmesinde standart bir yöntem olarak kullanılabilir [39].

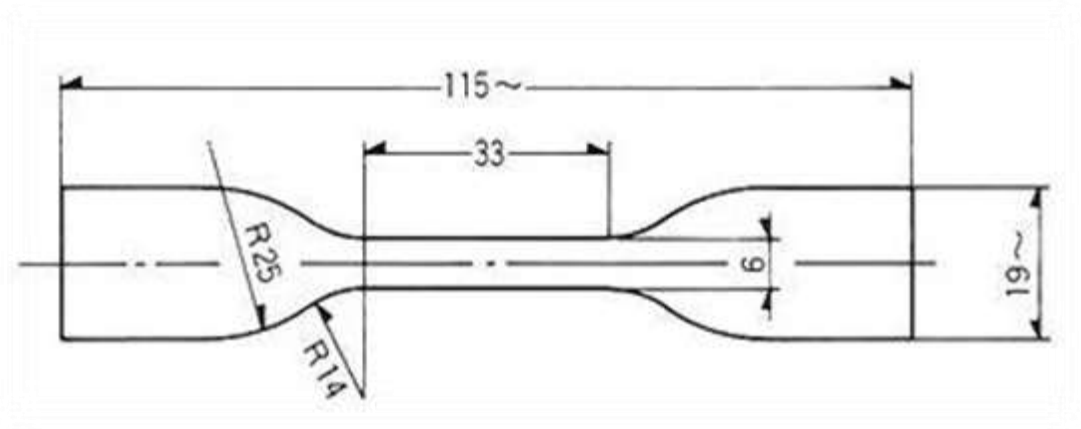
4. MATERYAL VE METOT

4.1. Numune Oluşturma Süreci

3 boyutlu modellerin çekme dayanımı, akma dayanımı vb. özelliklerinin doğru şekilde ölçebilmesi için bir takım işlemler gerekmektedir. İşlemler en başından itibaren titizlikle hazırlanmalıdır. Bu adımların başında test yapılacak numunenin 3B yazıcıda basılması gerekir.

4.1.1. Çekme Numunesi

Sıcaklık uygulamasının numune üzerindeki etkilerinin araştırılabilmesi için, test numuneleri aynı cins ve boyuttaki malzemeden yapılmıştır. Bundan dolayı, yapılan testler için Şekil 4.1'de gösterilmiş olan Amerikan Standartlarına uygun ASTM D638 Type 4 numunesi seçilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında saklanmış herhangi bir darbe, düşme ya da kırılma gibi durumlarla karşılaşmamıştır. Deney hassas termometreler ile kontrol edilmiş, sıcaklık değerlerinde sapma olmamıştır.



Şekil 4.1. ASTM D638 Type 4 çekme numunesi standart ölçüleri

Fotoğraf 4.1'de de görüldüğü gibi numunelerin şekli, daha büyük boyutlu uçlara sahip olduğundan dolayı kemiğe benzemektedir bu yüzden numuneler köpek kemiği olarak adlandırılır. Deneyler sırasında ısıl işlem görmemiş deneme numunesi ile birlikte on adet numuneye çekme testi uygulanmıştır.



Fotoğraf 4.1. ASTM D638 Type 4 çekme testi numunesi

4.1.2. Filament Türü

Çekme testi sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilecek bir diğer etken de numunenin yazdırılmasında kullanılacak filamet türüdür. ABS, PLA, PLA Plus, ABS Plus gibi birçok filament çeşidi vardır.

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) filamentinin kendine has bazı özellikleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Petrol bazlı güçlü bir termoplastiktir.
- Yüksek mukavemet özelliğine sahiptir.
- Ham maddesi petrol olduğundan dolayı doğada parçalanamaz fakat kolayca geri dönüştürülebilirler.
- FDM teknolojisi ile yazdırma işlemi yapılan her türlü 3B yazıcıda kullanılabilir.
- Darbelere karşı dayanıklıdır ama esneklik özelliği düşüktür.
- Yüzey kalitesinin arttırılabilmesi amacıyla asetonlama gibi işlemlere olumlu yanıt verirler.
- Yüksek baskı kalitesi için yazıcı ayarlarının çok iyi yapılması gerekir.

- Ana maddesi plastik olduğundan dolayı basma işlemi sırasında ortama salınan koku sağlığa zarar verebilir bu yüzden kapalı yazıcı tercih edilmelidir.
- ABS Plus, ABS'ye göre 4 kat fazla esneme özelliği gösterebilen ve daha fazla dayanıma sahip olan filament türüdür.

PLA (Polylactic Acid), filamentinin özellikleri ise şunlardır:

- Mısır nişastası gibi organik malzemelerden yapıldığı için insan sağlığına zararlı değildir bu yüzden kullanım alanı oldukça geniştir. Büyük tesislerde gübre olarak kullanılabilirler.
- FDM teknolojili yazıcılarda basımı ABS'ye göre daha kolaydır.
- Darbe dayanımı yüksektir.
- Aseton çözümlemesine yatkın değillerdir.
- PLA filamentler, katmanlar oluşturulurken hemen donma yapmaz bu yüzden yeni katmanlar eklenirken malzeme büzülmez ve yataktan akma yapmaz.
- PLA Plus, PLA gibi organik biyopolimerdir. ABS gibi yüksek dayanıma sahiptir ve PLA'ya kıyasla kopma uzama değeri dört kat fazladır.
- Yazıcı yatağından kaldırması ABS'ye göre daha kolaydır.
- Basım için gerekli sıcaklık ABS kadar yüksek değildir [40].

Bu filamentlerin ısıl ve mekanik özelliklerinin kıyaslaması Tablo 4.1 ve 4.2'de detaylı bir biçimde gösterilmiştir.

Tablo 4.1. *PLA ve ABS – ısıl özellik tablosu*

Isıl Özellikler	PLA	PLA Plus	ABS	ABS Plus
Erime Akış İndeksi (MVI)	10.3cm^3/10dk	3.4cm^3/10dk	9.7cm^3/10dk	15.9cm^3/10dk
Kırılganlık Sıcaklığı	60-65ºC	60-65ºC	105ºC	108ºC
Gevşeme Sıcaklığı	70-80ºC	70-80ºC	110-125ºC	110-125ºC
Erime Sıcaklığı	160-190ºC	160-190ºC	110-240ºC	210-240ºC
Basım Sıcaklığı	190-220ºC	205-225ºC	230-250ºC	220-260ºC
Yatak Sıcaklığı	50-70ºC	60-80ºC	80-120ºC	80-120ºC

- Erime akış indeksi (melt flow index - MVI), Erimiş polimerlerin ne kadar kolay akış yapabildiğinin göstergesidir. Belirli çap ve uzunluktaki uçtan, on dakika içinde geçen malzeme miktarının hesaplanması ile ölçülür.
- Kırılganlık sıcaklığı (glass transition temperature): Camsı kırılganlık noktasındaki sıcaklığı ve sertliğin derecesini gösterir. Modelin sıvı akışkanlar ile kullanıldığı zamanlarda önemlidir.
- Gevşeme sıcaklığı (slumping temperature): Bu değerin üzerine çıkıldığı zaman modelde bozulmalar başlar.
- Erime sıcaklığı (melting temperature): Parçanın erimeye başladığı sıcaklıktır.
- Basım sıcaklığı (printing temperature): Malzemenin yazdırılabilmesi için en ideal değerdir.
- Yatak sıcaklığı (printed temperature): Basım alanının diğer adıyla yatağın sıcaklık değeridir.

Tablo 4.1'e bakılınca ABS ve ABS Plus ile üretilmiş modelleri kırılganlık sıcaklığı ve erimeye karşı dirençleri PLA ile üretilmiş modellere göre oldukça yüksektir [41].

Tablo 4.2. *PLA ve ABS – mekanik özellik tablosu* [42]

Mekanik Özellikler	PLA	PLA Plus	ABS	ABS Plus
Çekme Dayanımı (MPa)	65	60	41	39.4
Kopma Uzaması (%)	%7.5	29%	%8.2	30%
Eğilme Direnci (Mpa)	97	87	63	68
Bükme Modülü (MPa)	3600	3672	2200	2443

Tablo 4.2'de ise PLA ve PLA Plus ile üretilmiş modellerin çekme dayanımı diğer filament modellerine göre daha yüksektir. Aynı zamanda bükülme kuvvetine karşı daha yüksek direnç gösterirler.

Yukarıdaki özelliklere bakılarak insan sağlığına zararsız olmasından dolayı tez süresi boyunca Fotoğraf 4.2'de gösterilen Esun markasına ait olan 3D PLA Plus modelli filament kullanılmıştır.



Fotoğraf 4.2. Esun 1.75mm PLA plus filament

Esun PLA filamentinin yarıçap doğruluk toleransı ± 0.05 mm olarak tespit edilmiştir dolayısıyla çekme ve esneme yapmaz, karmaşık modellerin basımında da tercih edilebilir. Tablo 4.3'te, yazdırma işleminde kullanılan filamentin özellikleri verilmiştir [43].

Tablo 4.3. *Esun PLA Plus filament özellikleri*

Erime Sıcaklığı	190-220 °C
Tabla Sıcaklığı	Maksimum 75 °C
Filament Çapı	1.75mm ±0.05mm
Ağırlık	1 kg
Renk	Turuncu

4.1.3. Yazıcı Özellikleri

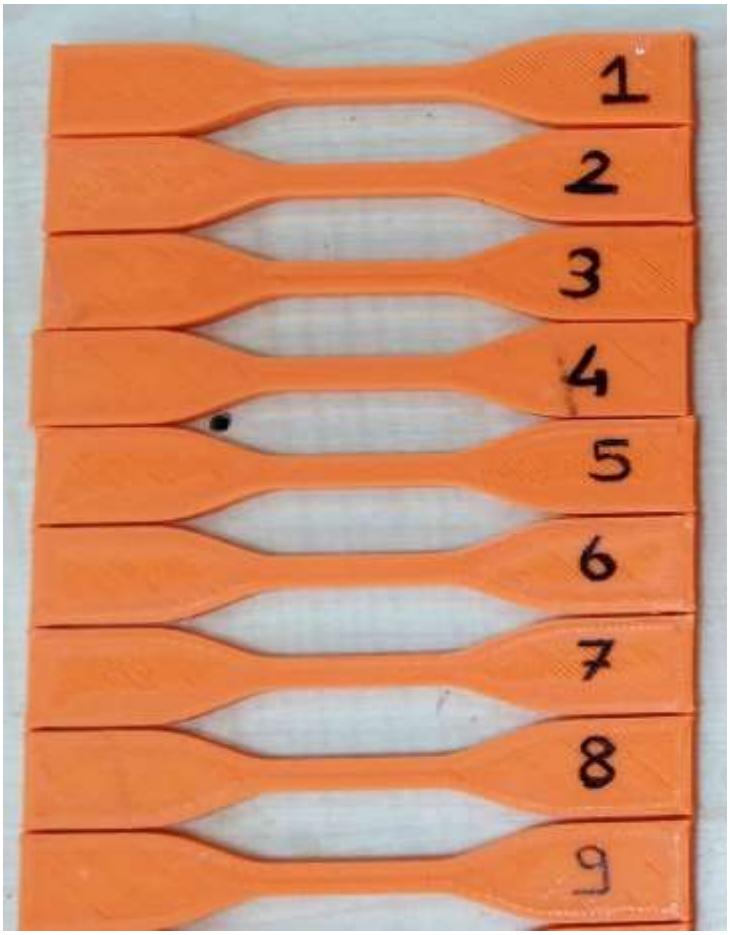
3 Boyutlu yazıcılarda yazdırma doğruluğu çıktı kalitesini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Bu yüzden deney sırasında kullanılan yazıcının hassasiyeti büyük önem taşımaktadır. Tez çalışmasında elde edilen verilerin doğruluğunun önemi büyük olduğundan dolayı yüksek hassasiyete sahip, açık kaynak kodlu Dream Maker Baby Bee markalı yazıcı tercih edilmiştir (Fotoğraf 4.3). Bu yazıcı:

- X ve y eksenleri tek şeritte hareket ettiğinden dolayı yazdırma sırasındaki eksen geçişleri birbiriyle senkronize halindedir ve geçişler süreklidir.
- Geleneksel yazıcılar nema 17 step motorlarına sahiptir. Bu motorlarda sürekli eksen kayması gibi sorunlar yaşandığından dolayı kesintisiz yazdırma işlemi gerçekleşememekte, baskı kalitesini düşürmekte aynı zamanda sürekli işçilik gerektirmektedir. Dream Maker Baby Bee modelli yazıcıda nema 23 step motoru kullanıldığından dolayı eksen kayması sorunuyla karşılaşma riski oldukça düşürülmüştür. Bu sayede yazdırma işlemi sırasında oluşan gürültü kirliliği ve motor ısınması sorunu en aza indirilmiştir.
- Z ekseninde, nozul kuvvetine bağlı dalgalanmalar olabilir bu da modelin doğruluğunu azaltır. Böyle hatalarla karşılaşmamak için tercih edilen yazıcının z ekseni, 1 kg ağırlığa kadar rahatça boşluksuz yazdırma yapabilir.
- Tablaya uygulanan ısı izolasyonu sayesinde tabla, 120°C'ye kadar homojen bir şekilde ısıtılabilir.
- 20X20X20 cm yazdırma alanına sahiptir.
- Ek olarak Wifi ve flash bellek kullanımına olanak verdiğinden dolayı bilgisayara bağlılık gerektirmez.
- Dijital göstergeler sayesinde parçanın ne kadarlık bir kısmının yazdırıldığından haberdar olmak mümkündür [44].



Fotoğraf 4.3. Dream Maker Baby Bee yazıcı

Fotoğraf 4.3’ te gösterilen yazıcı kullanılarak dokuz adet numune yazdırılmış ve fırınlama işlemi öncesinde nemden ve fiziksel hasarlardan etkilenmemesi için özel bir alanda saklamaya alınmıştır.



Fotoğraf 4.4. Deney numuneleri

Fotoğraf 4.4'te yazdırma işleminden sonra, yapılacak deney sırasına göre numaralandırılmış çekme numuneleri gösterilmiştir.

4.1.4. Fırınlama ve Sıcaklık Ölçümü

Numuneler, yazdırıldıktan sonra sıcaklık ve bekletilme süresinin etkilerinin araştırılması amacıyla bu aşamada fırınlanma işlemi görmüşlerdir. Bu işlemin düzgün yapılabilmesi amacıyla Fotoğraf 4.5'te gösterilen Luxell LX3675 markalı fırın kullanılmıştır ve özellikleri şu şekildedir:

- Turbo fanlar sayesinde ısı her köşeye eşit olarak dağılır. Böylece numunenin her bölgesi eşit ısıtılmış olup, deney sonucunun doğruluğu arttırılır.
- İç aydınlatma özelliği sayesinde numunenin anlık değişimini gözlemlenebilir.

- Zaman ayarlama özelliği kullanılarak bekletilme süresinde dakiklik sağlanmış, eksik ya da fazla bekletilme yapılmamıştır [45].



Fotoğraf 4.5. Luxell LX 3675 fırın

Deney süresi boyunca numuneler, sıcaklık değerinin okunmasında herhangi bir sapma ya da hata olmaması amacıyla iki farklı derece tarafından ölçülmüştür. Fotoğraf 4.6'da gösterilen derece 300℃'ye kadar hassas ölçüm yapabilmektedir. Deneyde ölçülecek maksimum sıcaklık 200℃ olduğundan ölçümler sırasında herhangi bir sorun yaşanmamış, derecenin hassasiyeti kullanımdan önce test edilmiş ve doğrulanmıştır. Fırının kapak kısmında, derecenin çapında bir delik açılmıştır ve dışarıyla herhangi bir ısı alışverişi olmaması açısından deliğin olduğu kısım izole edilmiştir. Gösterge üzerinden ısı değişimi anlık izlenerek numunelerin doğru sıcaklıkta bekletilmesi sağlanmıştır.



Fotoğraf 4.6. Deney aşamasında kullanılan hassas derece

Deney doğruluğunu arttırmak amacıyla kullanılan bir diğer ısıölçer, laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Numuneler Fotoğraf 4.7'de gösterilen, iç kısmında ısıölçer bulunan alüminyum blok üzerinde fırınlanarak test edilmişlerdir. Alüminyum, serbest iletkenlik elektronlarına sahip bir element olduğundan dolayı iyi bir ısı iletkenidir. Böylece numunelerin sıcaklık değerini doğrudan ölçebilmektedir.



Fotoğraf 4.7. Alüminyum tabanlı dijital ısıölçer

4.2. Çekme Testi

Germe testi olarak da bilinen çekme testi, en temel ve yaygın mekanik test türlerinden biridir. Çekme testinde, malzemeye çekme kuvveti uygulanır ve numunenin bu kuvvete verdiği cevap ölçülür. Bunu yaparak, çekme testleri bir malzemenin ne kadar güçlü olduğunu ve ne kadar uzayabileceğini belirler. Çekme testleri tipik olarak elektromekanik veya üniversal test aletleri üzerinde gerçekleştirilir, uygulanması basittir ve tamamen standartlaştırılmıştır [46]. Asma köprü kablolarından emniyet kablolarına kadar, yaşamımız günlük hayatta kullandığımız malzemelerin tümünün kalitesine bağlıdır. Bu nedenle doğru ve güvenilir çekme testleri yapmak mutlak bir gerekliliktir. Yüksek standartlara uymamanın sonuçları hem para hem de can kaybına sebep olabilir. Uygun olmayan malzemelerin kullanımı, mülkün imhasına ve ciddi can kayıplarına neden olabilir. Standartların altında malzemelerin kullanılmasıyla ortaya çıkan felaketlerin maliyetleri, genellikle düzenli çekme testi gerçekleştirmenin maliyetlerinden çok daha fazladır [47].

Mühendislik malzemelerinden, gücün değerini ölçmek için çeşitli mekanik testlerde yararlanabilir. Deney numuneleri test sürecinde imha edilir. Gerilme (Çekme) kuvveti belki de kullanılan en yaygın deney türüdür. Sertlik, genellikle malzemenin sert bir bilye veya nokta tarafından delinmesine karşı oluşturduğu direnç olarak tanımlanır [48,49].

Çekme kuvveti testi yapımında kullanılan çeşitli deneysel cihazlar mevcuttur. Bu deneyler hem basit elle çalışan hem de bilgisayar kontrollü cihazlarla yapılabilmektedir. Büyük bilgisayar kontrol cihazlarına üniversal test makineleri denir.

Çekme testinden, bir madde hakkında çok şey öğrenilebilir. Malzemeyi çekilirken ölçerek, çekme özelliklerinin tam bir profilini elde edebiliriz. Bir grafik üzerine çizildiğinde, bu veriler malzemenin uygulanan kuvvetlere nasıl tepki gösterdiğini gösteren bir gerilme/gerinim eğrisi ile gösterilir. Kırılma veya kopma noktası içerisinde çok önemli bilgiler barındırır ve elastikiyet modülü, akma dayanımı ve gerilme gibi diğer önemli özellikler de bu test sayesinde öğrenilebilmektedir.

Bir malzeme hakkında belirleyebileceğimiz en önemli özelliklerden biri, nihai çekme dayanımıdır (UTS). Nihai çekme dayanımı bir numunenin test sırasında elde ettiği maksimum gerilme kuvvetidir. UTS, malzemenin kırılgan, yumuşak veya her ikisinin özelliklerini sergilemesine bağlı olarak, numunenin kopma mukavemetine eşit olabilir veya olmayabilir. Malzeme laboratuvar ortamında test edildiğinde yumuşak olabilir, ancak çalışma ortamına sokulduğunda ve aşırı soğuk ya da sıcaklara maruz kaldığında kırılganlık davranışına geçebilir. Çoğu malzeme için testin ilk kısmında, uygulanan kuvvet veya yük ile numune tarafından gösterilen uzama arasında doğrusal bir ilişki sergilenir. Bu doğrusal uzama bölgesinde gerilme ve gerinim oranının sabit olduğu görülmektedir. Bu yasa "Hooke Yasası" olarak tanımlanmaktadır. E, gerilimin (σ) gerinim (ε) ile orantılı olduğu ve "Esneklik Modülü" veya "Young Modülü" olarak adlandırıldığı bu bölgedeki çizginin eğimidir.

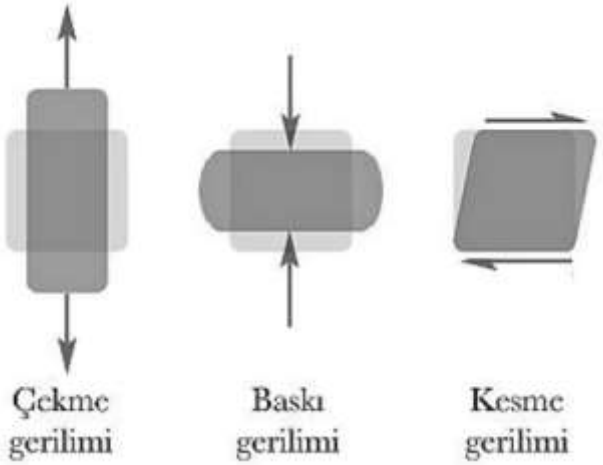
4.2.1. Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülü, malzemeye eğrinin ilk doğrusal bölgesinde uygulanan sertliğin bir ölçüsüdür. Bu lineer bölgede, gerilme yükü numuneden çıkarıldıktan sonra malzeme, yük uygulanmadan önceki haliyle aynı duruma geri dönecektir. Eğrinin artık doğrusal olmadığı ve düz çizgi ilişkisinden saptığı noktada Hooke Yasası artık geçerli değildir ve numunede bazı kalıcı deformasyonlar meydana gelir. Bu noktaya "esnek veya orantılı limit" denir. Gerilim testinde bu noktadan itibaren, malzeme, yük veya gerilmedeki herhangi bir artışa plastik olarak tepki verir. Yük kaldırılırsa orijinal, gerilmemiş durumuna geri dönmeyecektir.

4.2.2. Gerilme ve Gerinim

Katı mekaniği konularında kullanılan ve İngilizce karşılığı Stress olan gerilme ya da gerilim birim alana etkiyen kuvvet miktarıdır. Fotoğraf 4.8'de gösteriliği gibi 3 farklı gerilim türü bulunmaktadır.

- Çekme gerilimi: Malzemenin kuvvet yönünde uzatılarak yüzey alanına dik bir şekilde çekme kuvveti uygulanarak oluşturulan bir gerilme türüdür.
- Baskı gerilimi: Çekme geriliminin zıttı olarak parçaya yüzey alanına dik bir şekilde sıkıştırma kuvveti uygulayarak oluşturulur.
- Kesme gerilimi: Malzemenin birbirinin eşi olan iki yüzeyine, birbirlerine ters yönde olacak şekilde kuvvet uygulamasıyla oluşturulur [50].



Fotoğraf 4.8. Gerilme çeşitleri

Gerinim (strain) yük bindirilmiş bir malzemenin, yükün uygulanmasından önceki ve sonraki halinin değişimindeki yüzdesel oranının tarifidir. Biçimsel değişimden ziyade şekildeki niceliksel değişimi ifade eder [51].

4.2.3. Akma Mukavemeti

Akma mukavemeti diğer bir adıyla akma gerilmesi elastik deformasyon bölgesinden plastik deformasyon bölgesine geçişteki gerilme değeri olarak tanımlanır. Belirgin bir şekilde akma formuna geçmemiş malzemenin içyapısında oluşan akma gerilmesinin öğrenilebilmesi için kullanılan bir ölçüttür. Gerilim ve gerinim eğrisinin, elastik bölgesine denk gelen kısmına paralel olacak şekilde %0,2'lik bir gerinim noktasından doğru oluşturulur. Oluşturulan doğrunun, eğriyi kestiği nokta akma mukavemetinin değerinin ölçülmesini sağlar [52].

4.2.4. Çekme Mukavemeti

Malzemenin çekme kuvvetine karşı uyguladığı dirence çekme dayanımı denir. Koptuğu andaki gösterdiği direncin rakamsal büyüklüğü çekme mukavemetinin maksimum değerini verir. Elastikiyet modülü ve birim uzama miktarının çarpımı bu çekme mukavemetini verir. Toplam uzama miktarının malzemenin toplam boyuna bölünmesiyle birim uzama bulunur. Tablo 4.4'te grafik okuma işleminde bilinmesi gereken ifadelerden bahsedilmiştir [53].

Tablo 4.4. *Grafik okumada kullanılacak önemli noktaların tanımı* [54]

Çekme Gerilmesi	Numunenin ilk enine kesitine uygulanan kuvvet
Gerinim	İlk uzunluk referans alınarak, göstergedeki değişim
Çekme Modülü	Gerilme-Gerinim diyagramındaki eğrinin başlangıçtaki uzunluk-boy gradyanına referansla mastar uzunluğundaki değişiklik
Akma Noktası	Gradyanın sıfır olduğu, eğrinin çizilme noktasındaki gerilme ve gerinme
Kırılma Noktası	Kopma anında numunenin gerilme ve gerinme değeri
Poisson Oranı	Yanal gerilme ile eksenel gerilim oranının ters işaretli değeri

4.2.5. Çekme Testinde Kullanılan Denklemler

Çekme testine başlamadan önce, testin arkasında yatan temel teorinin anlaşılması gereklidir. Bu yüzden bazı temel ifadelerin açıklanması gerekmektedir. Öncelikle mühendislik gerilmesi (σ) şu şekilde ifade edilir;

$$S = \frac{F}{A_0} \tag{4.1}$$

F, eksenel gerilme kuvvetidir ve A_0, deforme olmamış numunenin ilk enine kesit alanıdır. Mühendislik gerinimi (ε);

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{4.2}$$

L_0 başlangıçtaki değişmemiş uzunluktur ve ΔL uzunluktaki değişim miktarıdır. Gerilimin gerinime oranı elastikiyet modülünü bulmamızı sağlar. Birimi N/mm^2'dir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{4.3}$$

4.2.6. Çekme Testi Nasıl Yapılır

Çekme testinin sağlam, güvenilir ve kolay yapılabilmesi için temel donanımlar gerekmektedir. Bunlar;

- Universal test makinesi çerçevesi
- Yük hücresi
- Denetleyici ve/veya gösterge
- Numuneyi kavramak için uygun kulplar (fikstürler)

Universal test makinesi çerçevesi, numunenin istenilen oranda ve hızda çekilebilmesi için gerekli yapıyı ve sertliği sağlar. Numuneyi test etmek için gereken kuvvet miktarına dayanabilecek bir çerçeve seçmek önemlidir [55].

Fotoğraf 4.9'da çekme deneyinin yapıldığı, çekme cihazı gösterilmiştir. Bu cihaz, Kastamonu Metalurji ve Malzeme Mühendisliği test laboratuvarında bulunmakta olan Shimadzu marka, universal mikrosertlik ölçen bir test cihazıdır. Metal, kompozit, taş, beton, tuğla, harç ve ahşap gibi malzemelerin çekme, basma ve eğme kuvvetine karşı dayanım değerlerini tespit eder. 100 kN'a kadar dayanma kapasitesi vardır. Bu cihaz sayesinde test edilen numunelerin standart sapma, maksimum/ minimum kuvvet, belli bir uzamadaki yük ve gerilme değerleri istatiksel olarak ölçülebilmektedir.



Fotoğraf 4.9. SHIMADZU marka Autograph AGS-X model universal test cihazı

Yük hücreleri, numuneye uygulanan kuvvetin miktarını ölçer. Çerçeveler gibi, yük hücreleri de çeşitli kapasitelere sahiptir. İstenilen kopma mukavemetinin altındaki bir kapasiteye sahip yük hücresi seçmek, numuneden önce yük hücresinin kırılmasına neden olur. Tersine, çok yüksek kapasiteye sahip bir yük hücresi, yük hücrelerinin çözünürlüğü tipik olarak %1'e düştüğü için istenen kesinlikte olmayan test sonuçlarına yol açacaktır. Örneğin, 1000 lb'lik bir yük hücresi, 1 lb kuvveti altında parçalanan bir numune için çok yüksek bir kapasiteye sahip olacaktır.

Denetleyiciler diğer ismiyle kontrolörler, adından da anlaşılacağı gibi, test çerçevesinin test sırasında test hızı ve yer değiştirme dâhil olmak üzere nasıl davranacağını kontrol eder. Bazı durumlarda, gerekli olan bir gösterge olabilir. Göstergeler test verilerini toplar ve görüntüler ancak makineyi kontrol etmez.

Fikstürlerin diğer adıyla kulpların gerilim testi için birden fazla kullanılan biçimleri vardır. Malzemeleri düzgün bir şekilde tutabilmek için tasarımlarına uygun farklı araçlar gerekir. Örneğin, metalden yapılmış bir numuneye, çekme kuvveti uygulanırken mekanik davranışlarından dolayı esnek bir lastik parçasından farklı kulplar gerekir. Uygulama için doğru kulpları seçmek, doğru sonuçların elde edilmesinde çok önemlidir [56].

5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

5.1. Sıcaklığın Mukavemet Üzerindeki Etkisi

Bu test yöntemi ile önceden işleme tabi tutulmamış plastik numunelerin çekme özellikleri ön işleme, sıcaklık, nem ve test makinesi hızı koşulları altında test edilir. Aynı testler işlem görmüş numunelere de yapılarak, sonuçlar karşılaştırılır [57]. Numuneler sıcaklık etkisi nedeniyle, moleküler yapıda geçirdikleri değişiklikler sonrasında güçlenir veya yapılarında bozulmalar yaşanır. Bu yüzden sıcaklık her filament türüne göre uygun şekilde ayarlanmalı ve oluşacak hasar önlenmelidir. Isı arttırıldıkça bağlarda gitgide esnemeler oluşur. Maksimum seviyeye ulaşıldıktan sonra parça erimeye başlar ve ana modelde farklılıklar oluşur.

5.1.1. Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında ısıl işlem uygulamasının, üretilen malzemenin çekme dayanımına olumlu ya da olumsuz etkileri incelenmiştir. Ayrıca numunelerin elastikiyet modülü, akma dayanımı, kopma dayanımı değerlerindeki değişimler karşılaştırılarak en uygun çalışma aralığı belirlenmiştir. FDM 3B yazıcı kullanılarak, aynı modellerde dokuz adet çekme numunesi üretilmiştir. Testin başarılı olması için farklı sıcaklık ve bekleme sürelerinde malzemelere fırınlama işlemi uygulanmıştır. Sıcaklığın ve bekleme süresinin numunelerin özelliğini yüksek derecede etkilediği ortaya çıkmıştır.

Fırınlama işlemine öncelikle fırının ısısının hassas dereceler ile ölçülerek istenilen değere getirilmesi ile başlanmıştır. İstenilen sıcaklık değerine ulaşıldığı zaman numuneler fırınlanmış, herhangi bir yüzey teması oluşmaması için yağlı kâğıt üzerinde fırına verilmiştir. Fotoğraf 5.1'de görüldüğü gibi numuneler üçerli şekilde fırınlanmıştır.



Fotoğraf 5.1. Numunelerin fırınlanma işlemi

Numunelere sırasıyla Tablo 5.1'de de gösterildiği gibi farklı sıcaklık ve sürelerde fırınlanma işlemi uygulanmıştır. İlk 30 dakikadan sonra birinci numune, 60. dakikada ikinci numune ve 90. dakikada ise üçüncü numune fırından alınıp, izolasyonu sağlanmış bir kaba koyulmuştur. Ardından, fırının sıcaklık ayarı 200°C'de sabitlendikten sonra 4,5 ve 6. Numuneler için de aynı bekletme süresi uygulanarak işlemler devam ettirilmiştir.

Tablo 5.1. *Deney sırasına göre Sıcaklık- Bekleme Süresi değerleri*

Deney Numarası	Sıcaklık (℃)	Bekleme Süresi (dk)
1	100	30
2	100	60
3	100	90
4	150	30
5	150	60
6	150	90
7	200	30
8	200	60
9	200	90

Yapılan işlemler sırasında kullanılan filament türüne bağlı olarak numuneler, yüksek sıcaklıklara dayanamadığından dolayı 200℃'de bekletilen 7,8 ve 9. Numuneler 30 dakika içinde erimişlerdir (Fotoğraf 5.2). Bu nedenle PLA Plus modelli filament kullanılarak üretilmiş parçanın mukavemetinin arttırılması amacıyla yapılan deneylerde, 200℃ sıcaklık değerinin kullanıma uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Çekme testi; 7,8 ve 9. Numunelerin erimesinden dolayı sadece ısıl işlem görmüş ilk altı numuneye ve işlem görmemiş deneme numunesine uygulanabilmiştir.



Fotoğraf 5.2. 200 ℃'de erimiş numuneler

Çalışmanın amacı ısıl işlemin numune dayanımına olumlu ya da olumsuz etkisinin araştırılmasıdır. Bu yüzden işlem görmüş 6 numune ile birlikte, herhangi bir işleme uğramamış deneme numunesi de çekme testine alınmıştır. ASTM D638 Type 4 numuneleri fırınlanma işleminden sonra, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan çekme testi cihazı ile 1mm/dk deformasyon hızında çekme kuvveti uygulanarak malzeme yapısında oluşan değişiklikler analiz edilmiştir. Üretilen numunelere x ekseni yönünde karşılıklı çekme kuvveti uygulanmıştır. (Fotoğraf 5.3)



Fotoğraf 5.3. Çekme testi cihazı

Çekme testinin yapılabilmesi için öncelikle her bir numunenin t (et kalınlığı), w (genişlik), l (uzunluk) değerlerinin tek tek ölçülüp bilgisayar ortamına aktarılmış olması gerekmektedir. Tablo 5.2'de numunelerin çekme deneyinden önceki t, w, l değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2. *Numunelerin genişlik, kalınlık ve uzunluk değerleri*

	w: Genişlik (mm)	**t: Et Kalınlığı (mm)**	**l:Boy Uzunluğu (mm)**
1	6.52	4.63	63.70
2	6.40	4.46	62.50
3	6.45	4.41	64.35
4	6.48	4.42	63.86
5	6.46	4.35	63.15
6	6.47	4.46	63.55
Isıl İşlem Görmemiş Deneme Numunesi	6.37	4.27	65.04

Kullanılan test ölçüm cihazı, numuneler kopana kadar uygulanan çekme kuvvetini, yüzde cinsinden uzamayı, gerilme ve gerinme değerlerini detaylı bir şekilde excel dosyasına dönüştürmüştür. Alınan excel verileri gerilme ve gerinim grafiğine aktarılıp bu grafik üzerinden akma mukavemeti, çekme mukavemeti, maksimum gerilme, elastikiyet modülü değerleri hesaplanmıştır.

5.2. Çekme Testi Sonuçları

Numunelerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti, elastikiyet modülü gibi değerlerinin bulunabilmesi için çekme testi verilerinin gerilim – gerinim grafiğine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin yapılması için şu adımlar uygulanmıştır.

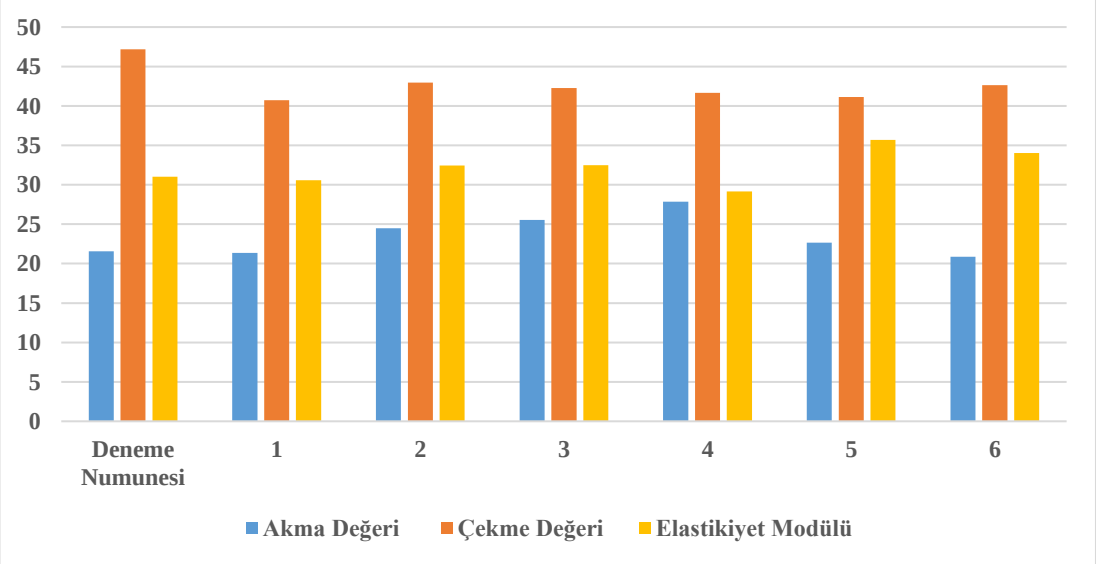
- Her numune için çekme testinden elde edilen gerilme ve gerinme değerleri excel dosyasında grafiksel hale getirilmiştir.
- Gerilme bulgularından, başlangıç ve bitiş arasındaki en yüksek değer tespit edilerek maksimum gerilme bulunup bu değer grafik üzerine eklenmiştir.
- Başlangıçtan tepe noktasına kadar ilerleyen doğru üzerinden bir nokta belirlenip, o noktanın gerilme değeri bulunmuştur. Bulunan gerilme değeri ile

ilk gerilme değerleri yeni bir tabloda birleştirilerek kesişim noktalarından doğrunun denklemi elde edilmiştir. Doğru denkleminde bulunan x değerinin başındaki katsayı ile elastikiyet modülü bulunmuştur. Kesişim noktasının koordinatlarındaki y değerinden akma dayanımı bulunmuştur.

- Akma dayanımı, maksimum gerilme ve elastikiyet modülü değerleri için ayrı bir grafik hazırlanmıştır. Numunelerden alınan veriler bu grafiğe dâhil edilip sonuçların yorumlanması için hazır hale getirilmiştir (Grafik 5.1). Tablo 5.3'te numunelerin çekme testi sonuçları MPa cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.3. *Numunelerin çekme testi sonuçları*

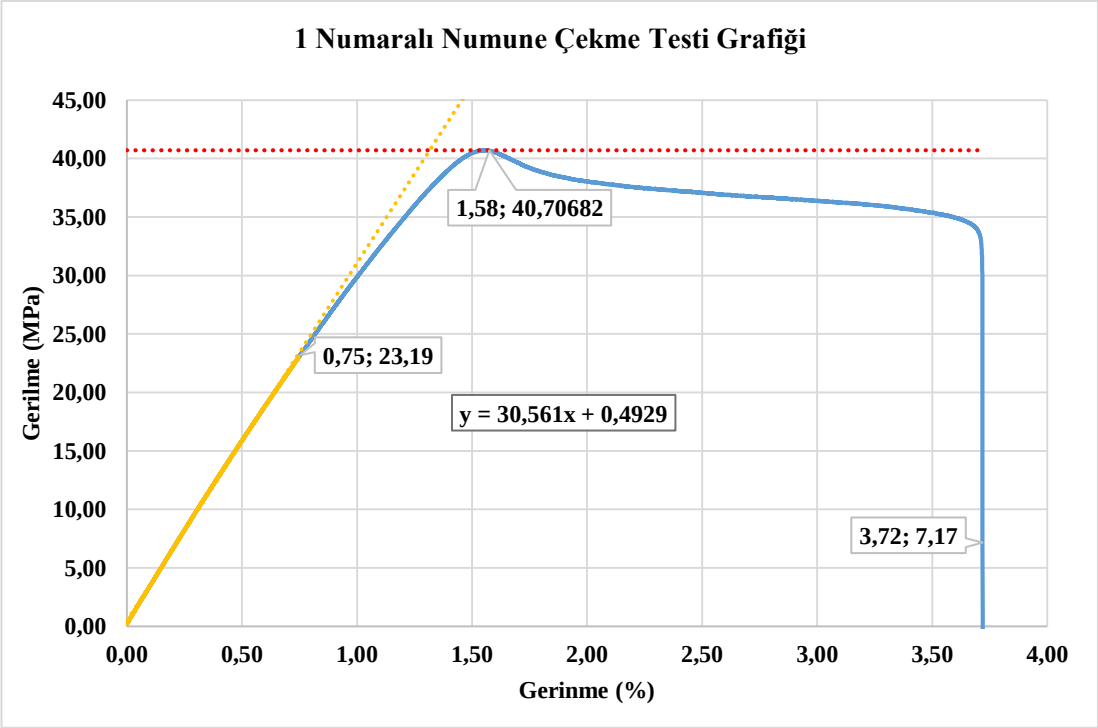
	Akma Değeri	**Çekme Değeri**	**Elastikiyet Modülü**
Deneme Numunesi	25,74	47,197	30,542
1	23,19	40,706	30,561
2	24,56	42,961	32,44
3	25,75	42,274	32,465
4	27,57	41,66	29,15
5	22,36	41,124	35,691
6	22,14	42,638	34,007



Grafik 5.1. Test sonuçlarının toplu halde karşılaştırılması

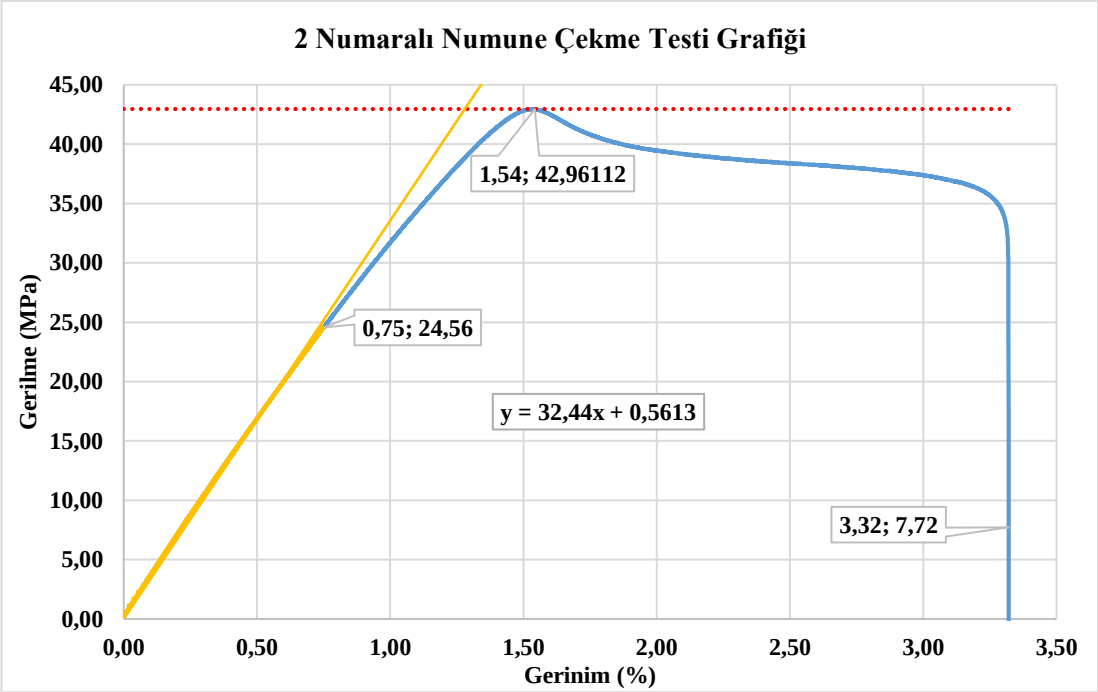
1 numaralı numunenin çekme testi grafiğinde 40,706 MPa gerilme değerine karşı gelen kırmızı çizgi maksimum gerilmeyi göstermektedir. Bu değer kopma anında

malzemenin direncinin büyüklüğünü gösterir. Sarı çizgi elastik bozulmanın plastiğe döndüğü noktadan itibaren oluşturulan doğruyu göstermektedir. Akma mukavemeti ve elastikiyet modülü bu doğru sayesinde bulunur. 23,19 MPa akma mukavemetini, 30,561 MPa elastikiyet modülü değerini göstermektedir. Maksimum kopma değeri 3,72 MPa olarak bulunmuştur. (Grafik 5.2).



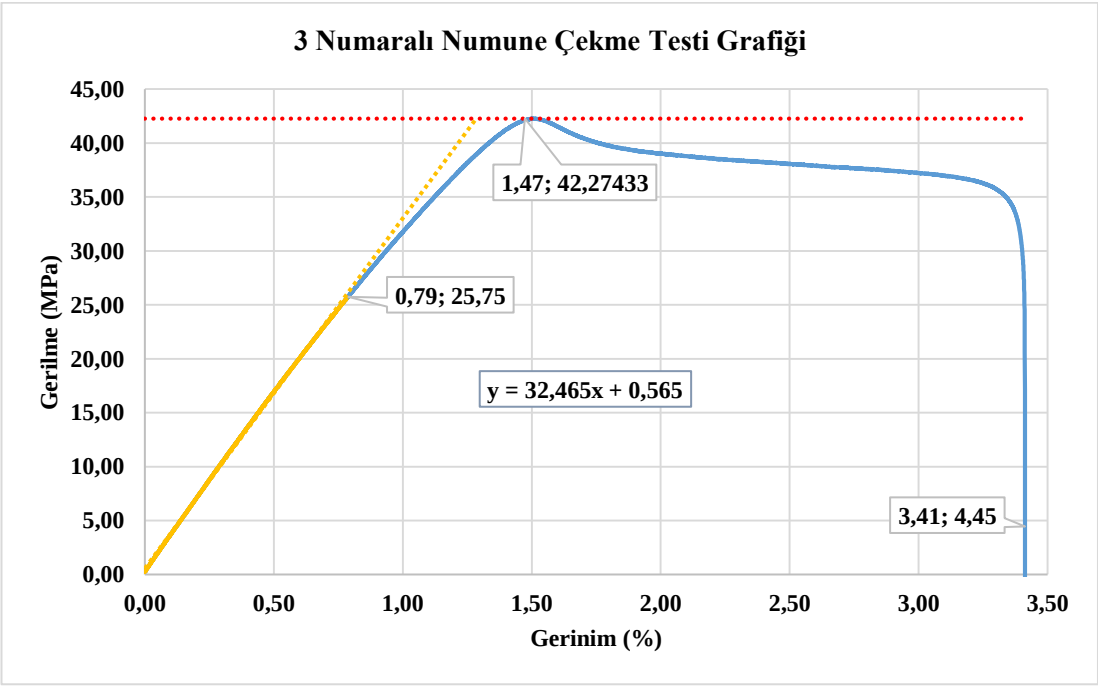
Grafik 5.2. 1 Numaralı numunenin çekme testi grafiği

2 numaralı numunenin çekme testi grafiğinde akma değeri 24,56 MPa ve elastikiyet modülü 32,44 MPa olarak ölçülmüştür. Maksimum gerilme 42,961 MPa ve kopma değeri 3,32MPa'dır. 1 numaralı numuneye göre maksimum kopma noktası değerinde artış yaşanmıştır. Numunenin elastik bölgeden plastik bölgeye geçmesi uzun sürmüştür böylece malzeme kalıcı bozulma evresine daha uzun süre sonra geçmiştir.



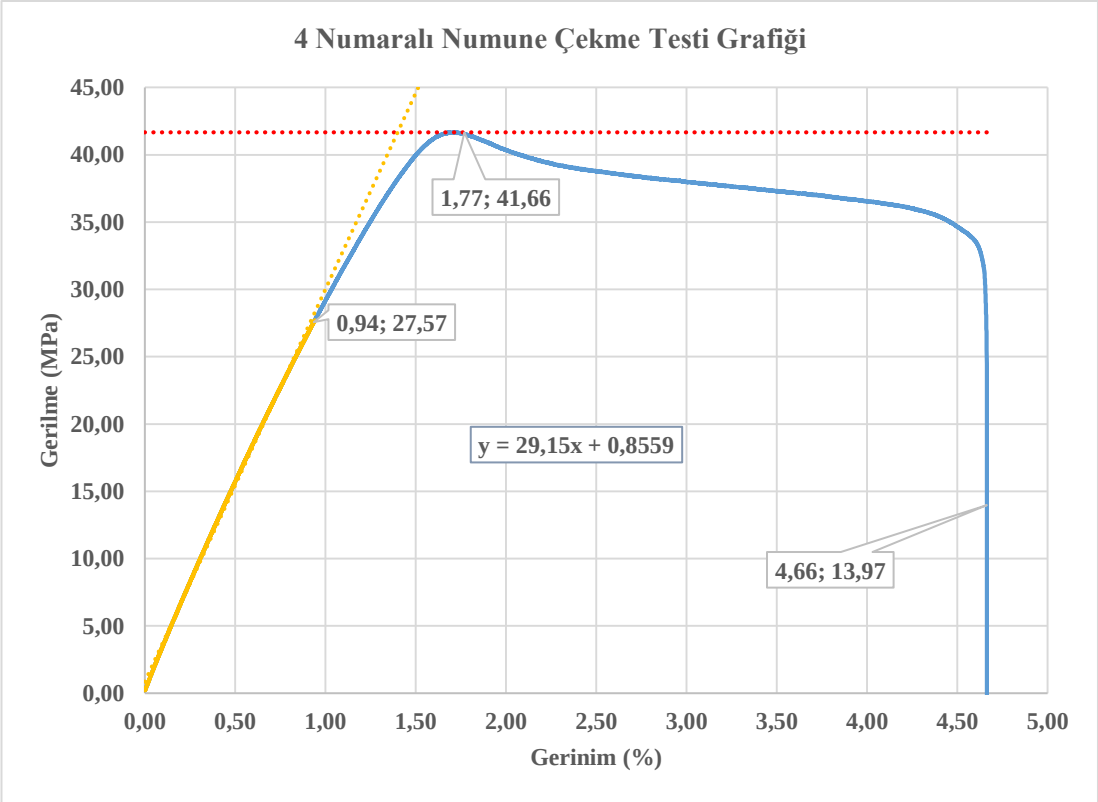
Grafik 5.3. 2 Numaralı numunenin çekme testi grafiği

3 numaralı numunenin çekme testi grafiğinde maksimum kopma 3,41 MPa ve gerilme değerleri 42, 274 MPa olarak ölçülmüştür. Bekleme süresinin etkisi ilk iki numuneye kıyasla net bir değişikliğe yol açmamıştır. Elastikiyet modülü 32,465 MPa ve akma değerleri 25,75 MPa olarak bulunmuştur.



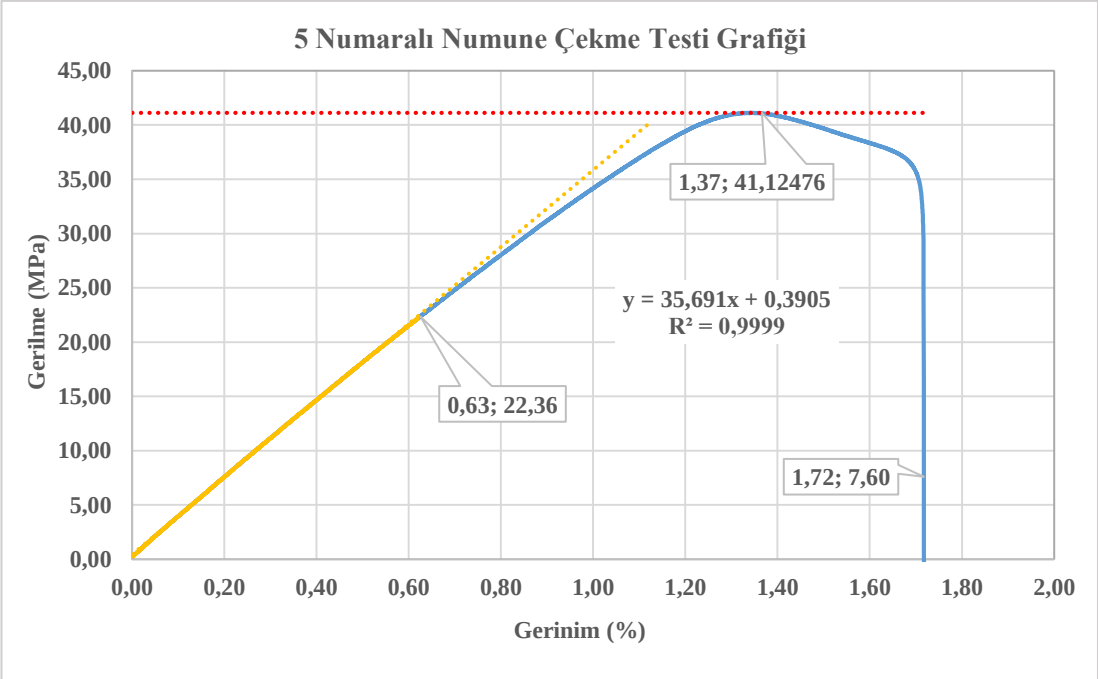
Grafik 5.4. 3 Numaralı numunenin çekme testi grafiği

4 numaralı numunenin çekme testi grafiğinden elde edilen verilere göre akma değeri 27,57 MPa, elastikiyet modülü 29,15 MPa, maksimum gerilme 41,66 MPa ve kopma değeri 4,66 MPa olarak ölçülmüştür. Maksimum akma ve kopma değeri 4. numuneye aittir. Plastik bölgeye geçme aşaması en uzun süren ve fiziksel kopma işleminin en geç yaşandığı numune olarak bulunmuştur.



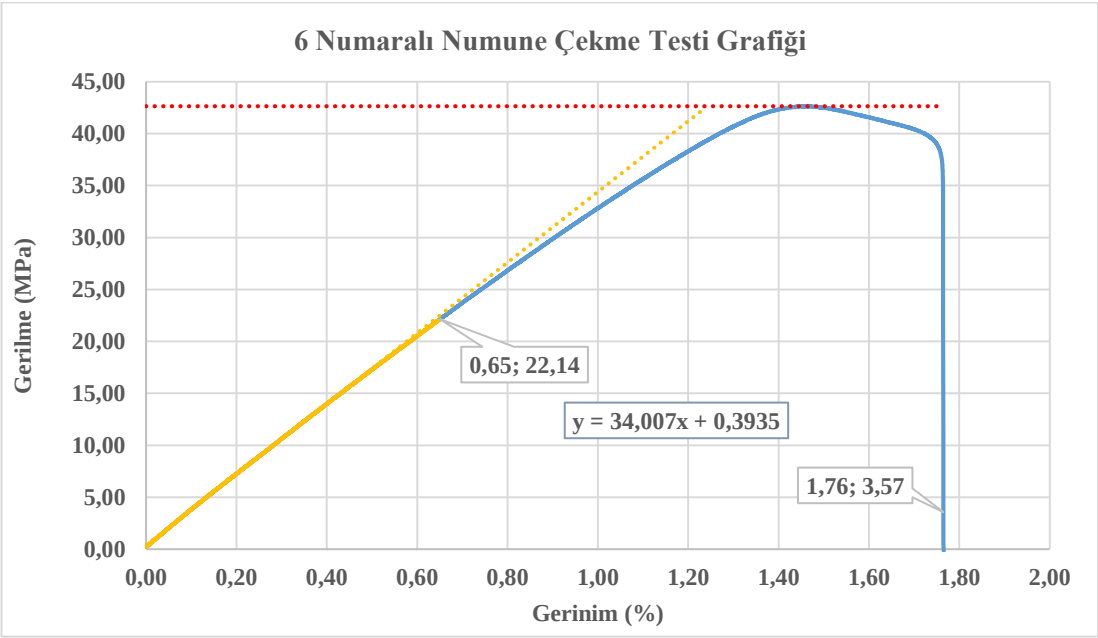
Grafik 5.5. 4 Numaralı numunenin çekme testi grafiği

5 numaralı numunelerden alınan verilere göre akma değeri 22,36 MPa, elastikiyet modülü 35,691 MPa, maksimum gerilme 41,124 MPa ve kopma değeri 1,72 MPa olarak bulunmuştur. 4 numaralı numune haricinde düzenli bir artış gösteren elastikiyet modülünün en yüksek olduğu değer 5. numunedir.



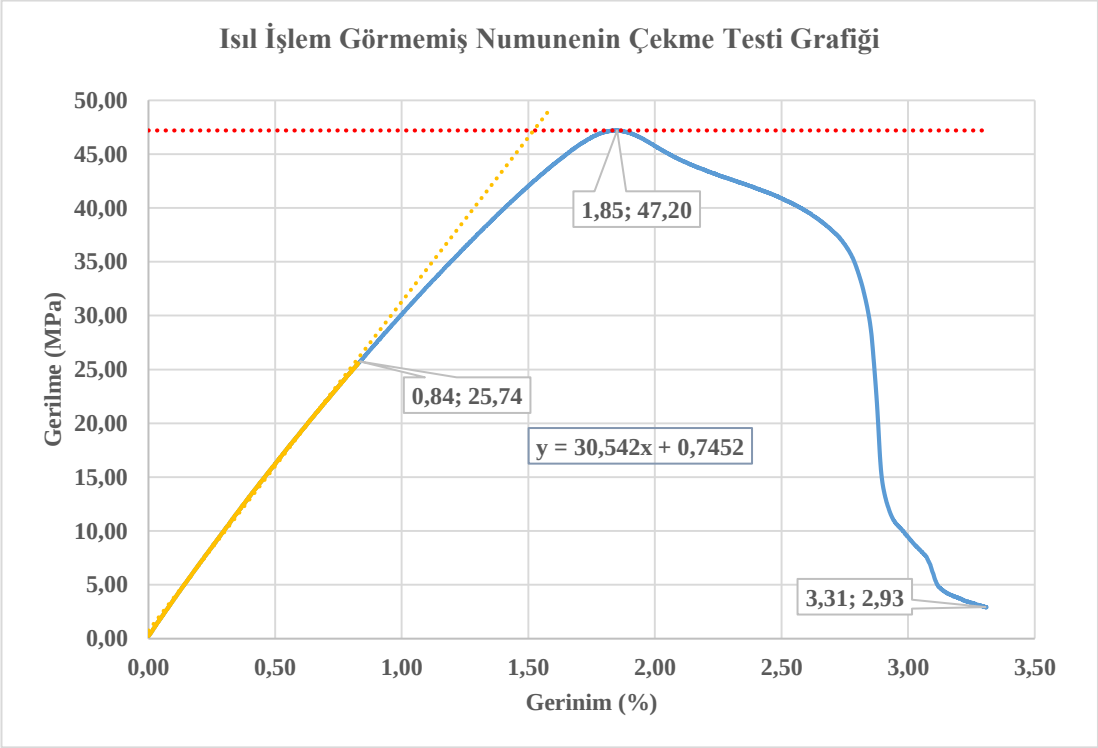
Grafik 5.6. 5 Numaralı numunenin çekme testi grafiği

6 numaralı numunenin veri sonuçlarına göre akma değeri 22,14 MPa, kopma değeri 1,76 MPa, maksimum gerilme değeri 42,638 MPa ve elastikiyet modülü 34,007 MPa olarak ölçülmüştür.



Grafik 5.7. 6 Numaralı numunenin çekme testi grafiği

Isıl işlem görmemiş deneme numunesinin çekme testi sonuçlarına göre akma değeri 25,74 MPa, kopma değeri 3,31 MPa, elastikiyet modülü 30,542 MPa ve maksimum gerilme değeri 47,20 MPa olarak ölçülmüştür.



Grafik 5.8. Isıl işlem görmemiş numunenin çekme testi grafiği

5.3. Sonuçların Yorumlanması

Bu kısımda çekme testinden alınan veriler, ısıl işlem görmemiş deneme numunesi ile kıyaslanmış olup alınan sonuçlara göre malzemenin çekme testi sonuçlarından elde edilen akma mukavemeti, kopma mukavemeti, maksimum gerilme ve elastikiyet modülü değerlerindeki artış ve azalış incelenmiştir.

5.3.1. Akma Dayanımındaki Değişim

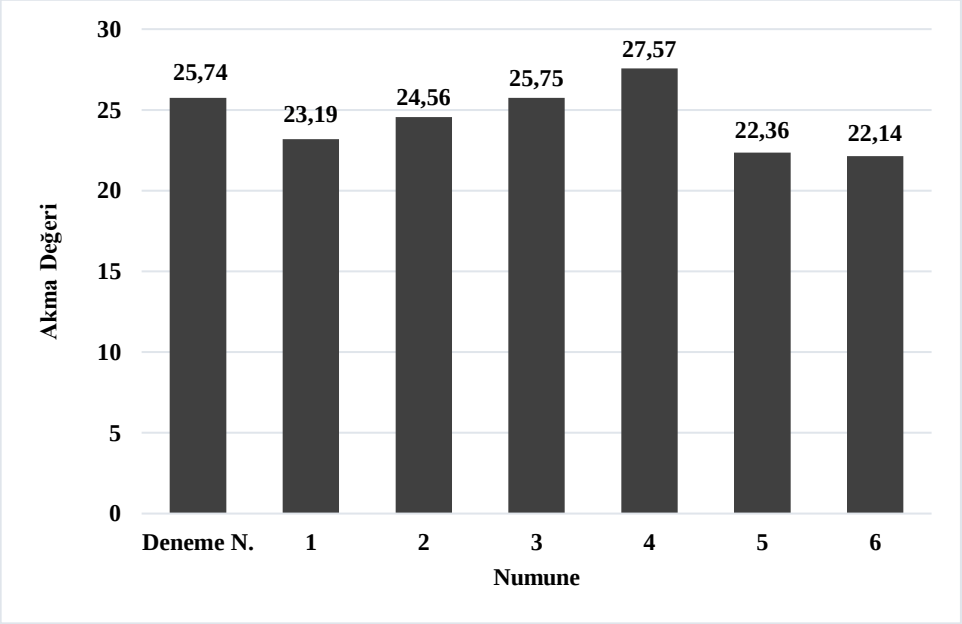
Kalıcı deformasyonun oluşmaya başladığı bu bölgede, malzemenin uzun süre yük altında kaldıktan sonra tekrar eski haline gelebilmesi için akma değerinin olabildiğince yüksek olması gerekmektedir. Tablo 5.4'te de görüldüğü gibi en yüksek akma değeri 150℃'de 30 dk. bekletilen 4 numaralı numuneye aittir. Isıl işlem görmemiş deneme

numunesi ile kıyaslandığı zaman akma dayanımındaki artış, malzemenin eski formuna dönebilme özelliğini %7,1 oranında arttırmıştır.

Tablonun geneline bakıldığı zaman, dördüncü numuneye kadar uygulanan test işlemi numunelerin akma dayanımlarına olumlu etki etmiştir, sıcaklığın 150℃'de sabit kalıp bekleme süresinin arttırılması ise akma değerinde düşüşe yol açmıştır. (Grafik 5.9)

Tablo 5.4. *Numunelerin akma değerleri karşılaştırması*

	Akma Değeri
Deneme N.	25,74
1	23,19
2	24,56
3	25,75
4	27,57
5	22,36
6	22,14
Max.	27,57
Min.	22,14
Ortalama	24,261



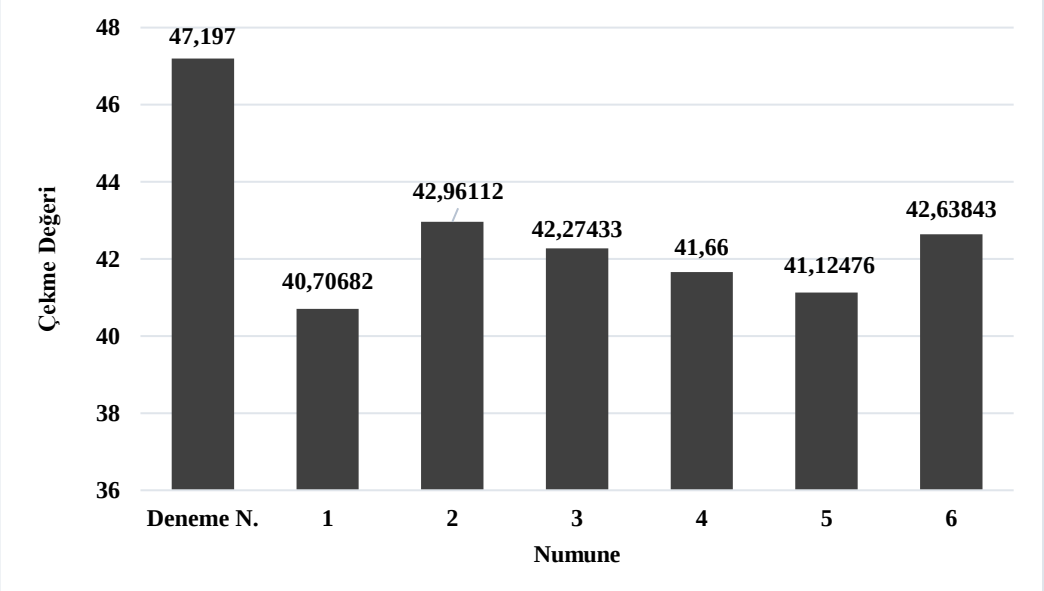
Grafik 5.9. Numunelerin akma dayanımı değerleri

5.3.2. Maksimum Gerilmedeki Değişim

Maksimum gerilme kuvveti grafik 5.9'da görüldüğü gibi ısıl işlem görmüş bütün numunelerde azalma eğilimi göstermiştir. Doğrusal bir artış veya azalış söz konusu olmadığından dolayı sıcaklık ve bekletme süresi değişkenlerinden hangisinin olumsuz etki oluşturduğu bilinememektedir. Tablo 5.5'te görüldüğü üzere bütün numunelerin ortalama gerilim değeri 41,894 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer ısıl işlem görmemiş deneme numunesine kıyasla oldukça düşüktür.

Tablo 5.5 *Numunelerin çekme değerleri karşılaştırılması*

	Çekme Değeri
Deneme N.	47,197
1	40,70682
2	42,96112
3	42,27433
4	41,66
5	41,12476
6	42,63843
Max.	47,197
Min.	40,70682
Ortalama	41,894



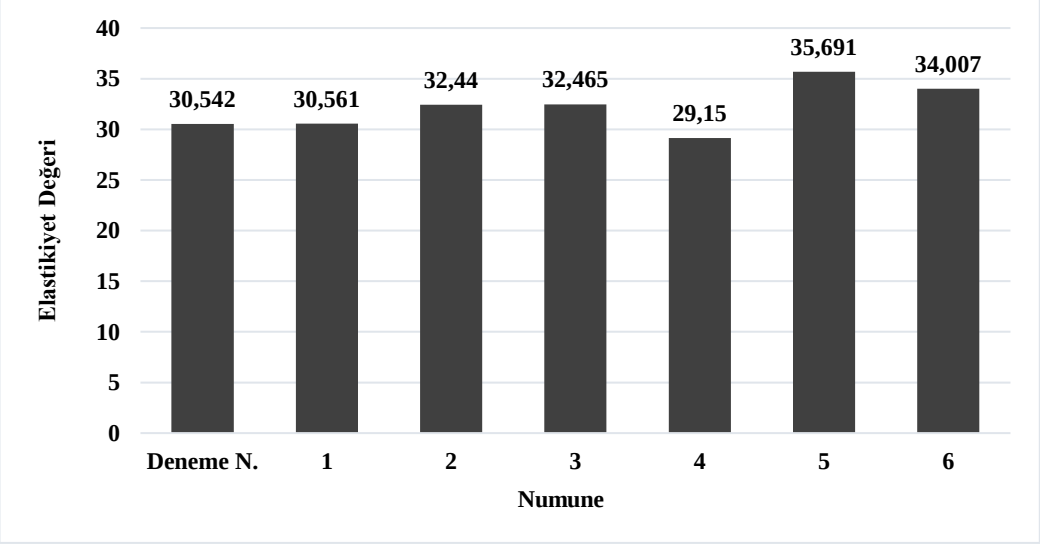
Grafik 5.10. Numunelerin kopma dayanımı değerleri

5.3.3. Elastikiyet Modülündeki Değişim

Elastikiyet modülü, 150°C'de 60 dakika bekletilen 5 numaralı numunede 35,691 MPa'lık değer ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Isıl işlem görmemiş deneme numunesi ile kıyaslandığı zaman malzemenin elastisite değerinde %15,06'lık bir artış yaşanmıştır. Tablo 5.6'daki veriler genel olarak incelendiğinde, ortalama 32,385 MPa'lık elastisite değeri ile numunelerin elastikiyet modüllerinde çok büyük artış ya da azalış gözlemlenmemiştir (Grafik 5.11).

Tablo 5.6. *Numunelerin elastikiyet modülü değerleri karşılaştırması*

	Elastikiyet Modülü
Deneme N.	30,542
1	30,561
2	32,44
3	32,465
4	29,15
5	35,691
6	34,007
Max.	35,691
Min.	29,15
Ortalama	32,385



Grafik 5.11. Numunelerin elastikiyet modülü değerleri

6. SONUÇ

1980'li yılların başından itibaren gelişmekte olan ve her gün popüleritesi artan 3 boyutlu yazıcılar sayesinde herhangi bir modelin üretilmesi ve verilerinin incelenmesi oldukça kolaylaşmıştır. FDM teknolojisinin kullanım alını diğer üretim metotlarına kıyasla oldukça fazladır. 3B yazıcı teknolojisi ileriki zamanlarda teknolojide yaşanan gelişmeler sayesinde bireysel kullanıma daha fazla uygun olacaktır.

3 Boyutlu yazıcıların maliyetinin günlük yaşamda yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için fazla olmasının haricinde, yüksek doğruluk ve sağlamlık isteyen modellerin imalatı için çok daha fazla maliyeti vardır. Sıcaklık ve bekletme süresinin etkileri maliyeti azaltmak ve yüksek dayanım elde edebilmek için yapılan bir çalışmadır. Bu çalışma ile 100℃ ile 200℃ değerleri arasında 30, 60 ve 90 dakika bekletilen numunelerin ısıl işlem sonrasında yapılan çekme testi sonuçları ile ısıl işlem görmemiş test numunesinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sıcaklık etkisi ile numunelerin moleküllerinin birbirine yaklaşması bu sayede numunelerde güçlü bir bağ oluşturularak dayanımın arttırılması sağlanmaya çalışılmış ve numunelerin çekme testinden yüksek sonuçlar alması beklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, grafiklerdeki veriler ortalama akma değeri ve ısıl işlem görmemiş numune değerleri kıyaslandığında, genel olarak akma mukavemetinde %5,75'lik bir düşüş yaşanmıştır. Aynı durum elastikiyet modülü için hesaplandığında %6,06'lık bir iyileşme söz konusudur. Sıcaklık etkisinin yol açtığı en büyük değişim %11,24 azalma değeri ile çekme mukavemetinde ölçülmüştür. Isıl işlem görmemiş deneme numunesi ile kıyaslanan diğer altı numunenin sonuçlarına bakılarak sıcaklık ve bekletme süresi değişkenlerinin numunlerin akma dayanımı, elastikiyet modülü, maksimum gerilme ve maksimum kopma değerlerini arttırması beklenirken genel olarak azalttığı görülmüştür. Yapılan işlemler sonucunda sıcaklık ve bekletme süresi etkisinin malzemelerin çekme dayanımı azalttığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] URL-1. 04.04.2019 tarihinde https://techterms.com/definition/3d_printer adresinden alınmıştır.

[2] URL-2. 04.04.2019 tarihinde http://www.magyar-kronika.hu/cikk/2016-08/tudomany/mkadmin/nyomtassunk-hazat adresinden alınmıştır.

[3] URL-3. 04.04.2019 tarihinde https://cellink.com/engineers-work-make-3d-printed-human-heart-reality/ adresinden alınmıştır.

[4] URL-4. 05.04.2019 tarihinde (https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3dprinting/) adresinden alınmıştır.

[5] URL-5. 05.04.2019 tarihinde https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck hull adresinden alınmıştır.

[6] URL-6. 06.04.2019 tarihinde https://tech-labs.com/fdm-technology adresinden alınmıştır.

[7] Williams, C., Simpson, T., & Hripko, M. (2015). Advancing the Additive Manufac Manufacturing Workforce: Summary and Recommendations From a NSF Workshop. Volume 3: 17Th International Conference On Advanced Vehicle Technologies; 12Th International Conference On Design Education; 8Th Frontiers In Biomedical Devices. http://dx.doi.org/10.1115/detc2015-47274

[8] Wohlers, T. (2004). Rapid Prototyping, Tooling and Manufacturing: State of the industry. Wohlers Associates. Colorado, USA.

[9] Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J. and Hui, D. (2018). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective.

[10] Brittney, 2015. [Brittney, S. (2015). a Shanghai-based WinSun 3D Prints 6-Story Apartment Building and an Incredible Home, 1–11.]

[11] URL-11. 10.04.2019 tarihinde http://www.3ders.org/articles/20160926-our-top-26-3d-printed-houses-construction-projects.html adresinden alınmıştır.

[12] URL-12. 11.04.2019 tarihinde https://fibilo.com/3d-yazicilarin-kullanim-alanları adresinden alınmıştır.

[13] URL-13. 12.04.2019 tarihinde https://www.insider-trends.com/top-40-on-demand3d-printed-products-in-retail/ adresinden alınmıştır.

[14] URL-14. 12.04.2019 tarihinde https://www.google.com/search?q =mink+make up+printer&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwinrr68of3hAhUS 3qQK HU9BAQ4Q_AUIDygC&cshid=1556814383143104&biw=1229&bih= 578#i mgrc=AqMzugprpYmf-M: adresinden alınmıştır.

[15] URL-15. 15.04.2019 tarihinde https://newatlas.com/mink-3d-makeup-printer/31 950/ adresinden alınmıştır.

[16] URL-16. 15.04.2019 tarihinde https://all3dp.com/2/coolest-3d-printed- cars adresinden alınmıştır.

[17] URL-17. 18.04.2019 tarihinde www.sciencedirect.com/science/article/pii/ B978 0128035818041655 adresinden alınmıştır.

[18] URL-18. 18.04.2019 tarihinde http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ 0019483216000109 adresinden alınmıştır.

[19] URL-19. 18.04.2019 tarihinde http://www.sciencedirect.com /science/artic le/pii/ S1359836816321230 adresinden alınmıştır.

[20] URL-20. 20.04.2019 tarihinde https://fibilo.com/3d-yazicilarin-avanta lari/ adresinden alınmıştır.

[21] URL-21. 20.04.2019 tarihinde https://rigid.ink/blogs/news/acetone-vapor-smoot hing adresinden alınmıştır.

[22] URL-22. 21.04.2019 tarihinde (https://www.3bfab.com/kullanim-alanlari/3d-ba ski-sonrasi-kalip-islemleri) adresinden alınmıştır.

[23] URL-23. 22.04.2019 tarihinde https://rigid.ink/blogs/news/how-to-finish-your- 3dprints adresinden alınmıştır.

[24] URL-24. 24.04.2019 tarihinde https://rigid.ink/blogs/news/how-to-finish-you r-3d-prints adresinden alınmıştır.

[25] URL-25. 24.04.2019 tarihinde https://www.minifabrikam.com/blog/3d-basklard akatman-izini-ortmenin-yolu-xtc-3d adresinden alınmıştır.

[26] Wang Tian Ming, Xi Jun Tong, Jin Ye (2007), A model research for prototype Warp deformation in the FDM process, International journal of advance manufacturing technology, 33(11-12):1087-1096

[27] Ahn Sung Hoon, Montero Michael, Odell Dan, Roundy Shad, Wright Paul K. 2002). Anisotropic material properties of fused deposition modelling ABS, Rapid prototyping journal, 8 (4): 248-257

[28] Es. Said Os, Foyos J, Noorani R, Mandelson M, Marloth R, Pregger BA (2000). Effect of layer orientation on mechanical properties of rapid prototyped samples Materials and manufacturing process,15 (1):107-122.

[29] Lee C.S., Kim S.G., Kim H.J., Ahn S.H (2007), Measurement of anisotropic comp ressive strength of rapid prototyping parts, Journal of materials processing tech nology, 187-188: 637-630.

[30] Khan Z.A., Lee B.H., Abdullah J(2005) Optimization of rapid prototyping parame ters for production of flexible ABS object, Journal of materials processing technology 169 :54–61

[31] Bellehumeur C.T., Gu P., Sun Q., Rizvi G.M. (2008). Effect of processing condi tions on the bonding quality of FDM polymer filaments, Rapid prototyping journal, 14 (2): 72-80

[32] Sanat Agrawal; S. G. Dhande (2007). Analysis of mechanical error in fused deposition process using a stochastic approach, International journal of production research.Vol.45, No.17,1 September 2007, 3991-4012.

[33] M. Iliescu, E. Nuţu and B. Comanescu, " Applied Finite Element Method Simulation in 3D Printing", International Journal of Mathematics and Computers in simulation, Issue 4, Volume 2, (2008) 305-312

[34] B. M. Tymrak , M. Kreiger and J. M Pearce, "Mechanical Properties of Components Fabricated with Open- Source 3-D Printers Under Realistic Environmental Conditions", Materials & Design, 58, (2014), 242-246

[35] F. ROGER and P. KRAWCZAK, "3D-printing of thermoplastic structures by FDM using heterogeneous infill and multi-materials : An integrated design-advanced manufacturing approach for factories of the future" , 22ème Congress Françsis de Mechanic, Vol-24, (2015), 1-7

[36] Tomislav Galeta, Ivica Kladari}, Mirko Karaka, "Influence of processing factors on the tensile strength of 3D Printed models", Materials and technology 47 (2013) 6, 781–788

[37] Hadi Miyanaji, Shanshan Zhang, Austin Lassell, Amir Ali Zandinejad, and Li Yang, "Optimal Process Parameters for 3D Printing of Porcelain Structures", Procedia Manufacturing ,Volume 5, (2016), 870– 887

[38] K.G. Jaya Christiyan, U. Chandrasekhar and K. Venkateswarlu, , "A study on the influence of process parameters on the Mechanical Properties of 3D printed ABS composite", Materials Science and Engineering 114 (2016), 1-8

[39] Ivan Gajdos, and Jan Slota, " Influence of printing conditions on s tructure in FDM prototypes" , Tehnicki vjesnik 20, 2(2013), 231-236

[40] URL-40. 27.04.2019 tarihinde https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-ban kasi/39-3d-yazici-filament ozellikleri adresinden alınmıştır.

[41] URL-41. 27.04.2019 tarihinde https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-ban kasi67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmasi adresinden alınmıştır.

[42] URL-42. 28.04.2019 tarihinde https://www.artiboyut.com/index.php/ tr/bilgibankasi/339-3d-yazici- filament-ozellikleri adresinden alınmıştır.

[43] URL-43. 28.04.2019 tarihinde https://www.robotistan.com/esun-175-mm-turuncuplaPlusfilament?lag=tr&h404dac94&gclid=CjwKCAjw_ MnmBRAoEiwAPRRRWW9gZNZWDjTu4mqdOaNh0IYoc9mUu mv6jF8ZvVQktkBzTSkRuz0UfvxoCW4UQAvD_BwE adresinden alınmıştır.

[44] URL-44. 30.04.2019 tarihinde https://www.uzaras3d.com/yeni-dream-maker.html adresinden alınmıştır.

[45] URL-45. 30.04.2019 tarihinde https://www.happy.com.tr/luxell-lx-3675-usta-borekci-beyaz-firin-yeni-model adresinden alınmıştır.

[46] URL-46. 04.05.2019 tarihinde https://www.instron.com.tr/tr-tr/our-company/library/test-types/tensile-test?region=Turkey&lang=tr-TR adresinden alınmıştır.

[47] URL-47. 04.05.2019 tarihinde https://www.admet.com/testing-applications/test-types/tension-testing/ adresinden alınmıştır.

[48] K. Morgan, "B598-09: Standard practice for determining offset yield strength in tension for copper alloys," ASTM International, pp. 3–5, 2016.

[49] K. Morgan, "E8-16a: Standard test methods for tension testing of metallic materials," ASTM International, pp. 1–8, 2016.

[50] URL-50. 08.05.2019 tarihinde https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerinmekanik-davranisi/gerilim-ve-gerinim/ adresinden alınmıştır.

[51] URL-51. 09.05.2019 tarihinde https://www.instron.com.tr/tr-tr/ourcompany/library/test-types/tensiletest?region=Turkey&lang=tr-TR adresinden alınmıştır.

[52] URL-52. 09.05.2019 tarihinde https://www.metalreyonu.com.tr/blog/akmamukavemeti-nedir- adresinden alınmıştır.

[53] URL-53. 10.05.2019 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87cekmegerilmesi adresinden alınmıştır.

[54] URL-54. 11.05.2019 tarihinde Zwick Roell Materials Testing Systems https://www.zwick.com adresinden alınmıştır

[55] URL-55.11.05.2019 tarihinde http://www.guven-kutay.ch/mukavemet/052mukavemet-degerleri.pdf adresinden alınmıştır.

[56] URL-56. 11.05.2019 tarihinde https://www.admet.com/testing-applications/test-types/tension-testing/ adresinden alınmıştır.

[57] URL-57. 11.05.2019 tarihinde http://www.trl.com/astm_d638_tensile_testing_of_plastics/ adresinden alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Melek COŞKUN
Doğum Yeri ve Yılı : Ankara- 1994
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : melekcoskunn.mm@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Prof. Dr. Saime İnal Savi Anadolu Lisesi,2012
Lisans : Selçuk Üniversitesi / Makine Mühendisliği, 2016
Yüksek Lisans : Kastamonu Üniversitesi, 2016-

Mesleki Deneyim

İş Yeri : İnnograf Yapı Maketleri 2016-2017