



**3D BASKILI KARBON FİBER TAKVİYELİ PLA  
NUMUNELERİNİN SÜRÜNME DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ**

**Abdullah YILDIZ**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**3D BASKILI KARBON FİBER TAKVİYELİ PLA NUMUNELERİNİN  
SÜRÜNME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Abdullah YILDIZ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**KARABÜK  
Ağustos 2022**

Abdullah YILDIZ tarafından hazırlanan “3D BASKILI KARBON FİBER TAKVİYELİ PLA NUMUNELERİNİN SÜRÜNME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/08/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Danışman: Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

.....

Üye: Doç. Dr. Yunus TÜREN (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Abdullah YILDIZ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### 3D BASKILI KARBON FİBER TAKVİYELİ PLA NUMUNELERİNİN SÜRÜNME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Abdullah YILDIZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Ağustos 2022, 47 sayfa

Bu çalışma, takviye malzemesi olarak %20 oranına kadar karbon fiberleri ve farklı dolun oranları ekleyerek Pla'nın mekanik özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin basılmasında FDM yöntemi kullanılmıştır, bu yöntem hammaddelerin (polimer ve takviye filamentleri şeklinde) yazıcıda tabaka tabaka birleşim sağlayarak üretim gerçekleştirmektedir. Karbon fiber yüzdesine göre kullanılan numuneler şunlardır: %0 CF, %15 CF ve %20 CF, Farklı dolun oranlarında (%70, %80, %90 ve %100) çalışma yapılmıştır. Çekme testleri numuneler üzerinde oda sıcaklığında ve 10 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Sürünme testi, 37 santigrat derece (insan vücudunun normal sıcaklığı) ve 20-80 Newton arasında değişen ağırlıklara göre yapılmıştır. Numuneler, SEM cihazı ile kırık bölgesi incelenmiştir. İncelenen %0 ve %15 CF takviyeli polimer kompozitlerin “üssel ilişkili sürünme” hızlarının uygulanan yüke bağımlılığı %20CF takviyeli kompozitlerden daha düşüktür. Bu durum %15 CF takviyeli kompozitin üssel ilişkili

sürünme denkleminde B katsayısının diğerlerinden daha düşük olmasına dayandırılabilir.

**Anahtar Kelimeler** : PLA polilaktik asit, sürünme, karbon elyafları, FDM, 3D baskı.

**Bilim Kodu** : 91524



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE CREEP BEHAVIOR OF 3D PRINTED CARBON FIBER REINFORCED PLA SPECIMENS.**

**Abdullah YILDIZ**

**Karabuk University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgy and Material Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**August 2022, 47 pages**

This study aims to improve the mechanical properties of Pla by adding carbon fibers as reinforcement material and adding different filling ratios. It uses the material as an aid in the healing of large fractures rather than metal plates and rods. The FDM method was used to print the materials used in this study, this method produced the raw materials (in the form of filaments) in the printer, the printing was produced in layers with the necessary samples stacked. The samples used according to the carbon fiber percentage were as follows: 0% CF , 15% CF and 20% CF, Different filling ratios (70% , 80% , 90% and 100%) were studied. Tensile tests were performed on the samples at room temperature and 10 mm/min. carried out at tensile speed.

The creep test was performed at 37 degrees Celsius (normal human body temperature) and weights ranging from 20-80 Newtons.

The specimens were examined after the test by crawling in the fracture area with the SEM device.

**Keywords** : PLA polylactic acid, creep, carbon fibers , FDM, 3D printing.

**Science Code** : 91524



## TEŞEKKÜR

canım babama...

nazik ve cömert anneme...

destekçim ve motivasyonum olan kardeşlerime ve dostlarıma sevgilerimle...

Tüm hocalarıma sevgi ve saygılarımla...

Tezinin yazmamın her aşamasında yanımda olan ve çalışmamın tamamlanmasına katkı sağlayan Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya çok teşekkür ederim...

Karabük Üniversitesi bütün Eğitim elemanlarına ve Görevlilerine Şükranlarıma sunuyorum...

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1. MALZEME SEÇİMİ.....	1
1.2. PLA VE PLA KARBON FİBER ÖZELLİKLERİ.....	2
BÖLÜM 2.....	4
LİTERATÜR VE ÖZET.....	4
BÖLÜM 3.....	7
3D BASKI İLE KENDİSİNE UYGULANAN MEKANİK <sub>s</sub> TESTLER.....	7
3.1. 3D BASKI.....	7
3.1.1. 3D Baskının Tarihi.....	7
3.1.2. 3D Baskının Önemine Giriş.....	8
3.1.3. 3D Baskısının En önemli Uygulamaları.....	8
3.1.4. 3D Baskıda Karbon Fiberlerin Kullanımı.....	10
3.2. MEKANİK TESTLER.....	11
3.2.1. Çekme Testi.....	11
3.2.2. Basma Testi.....	12
3.2.3. Sertlik Testi.....	14
3.2.4. Darbe Testi.....	15

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.5. Burulma Testi .....	17
3.2.6. Kesme Testi .....	18
BÖLÜM 4 .....	20
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	20
4.1. ÇALIŞMA İÇİN PLA VE (PLA İLE CF) NUMUNELERİNİN ÜRETİMİ .	20
4.2. MEKANİK DENEYLER .....	22
4.2.1. Çekme Deneyi .....	22
4.2.2. Sürünme Deneyi .....	23
4.2.3. Sürünme Cihazı İmalatı .....	23
4.3. SEM İNCELEMESİ .....	24
4.4.1. SEM DENEYİMİNİN ÖNEMİNE GİRİŞ .....	24
4.4.2. Çalışmada Kullanılan Sem Cihazı Türü .....	25
BÖLÜM 5 .....	26
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	26
5.1. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI .....	26
5.2. SÜRÜNME SONUÇLARI .....	28
5.3. SEM SONUÇLARI .....	34
BÖLÜM 6 .....	38
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	38
KAYNAKLAR .....	40
ÖZGEÇMİŞ .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Dünyanın ilk 3D baskılı köprüsü.....	7
Şekil 3.2. Mimaride 3D yazıcıların kullanımı .....	9
Şekil 3.3. Hasarlı büstün bilgisayar destekli tasarımı.....	10
Şekil 3.4. Stres ve gerinim bölümünü tanımlar .....	12
Şekil 3.5. Kırılgan malzemelerin basınç altındaki davranışı .....	13
Şekil 3.6. Darbe cihazı parçaları.....	16
Şekil 3.7. Darbe cihazının etkisinin numuneler üzerindeki etkisi. ....	16
Şekil 3.8. Charpy etki testi - sıcaklıkla etkinin enerji diyagramı.....	17
Şekil 3.9. Burulma testi uygulandıktan sonra malzemenin şeklindeki değişiklik. ...	18
Şekil 4.1. Parçanın üretim şekli. ....	21
Şekil 4.2. Zwick/Roell Z600 çekme -eğme-basma testleri cihazı. ....	22
Şekil 4.3. Cihazın teknik özellikleri ve cihaz tarafından yapılan testler .....	22
Şekil 4.4. Karabük Üniversitesi'nde tasarlanan sürünme cihazı.....	24
Şekil 4.5. Taramalı elektron mikroskobu (Sem).....	25
Şekil 5.1. %0CF numunelerinin, malzeme oranları %70-80-90-100'ü dolduran çekme diyagramı. ....	26
Şekil 5.2. %15 CF numunelerinin, malzeme oranları %70-80-90-100'ü dolduran çekme diyagramı. ....	27
Şekil 5.3. %20 CF numunelerinin, malzeme oranları %70-80-90-100'ü dolduran çekme diyagramı. ....	27
Şekil 5.4. Sürünme deneyi -%0 CF takviyeli pla numuneler dolum (70-100) için zaman içinde gerinim grafiği.....	29
Şekil 5.5. Sürünme deneyi - %15cf numuneler için zaman içinde gerinim grafiği..	30
Şekil 5.6. Sürünme deneyi - %20cf numuneler için zaman içinde gerinim grafiği. ....	30
Şekil 5.7. Sürünme deneyi - %0cf numuneler için zaman içinde hız grafiği. ....	31
Şekil 5.8. Sürünme deneyi %15cf numuneler için zaman içinde hız grafiği.....	31
Şekil 5.9. Sürünme deneyi - %20cf numuneler için zaman içinde hız grafiği. ....	32
Şekil 5.10. İncelenen polimerlerin “log $\epsilon^\circ$ -log $\sigma$ ” grafiği.....	33
Şekil 5.11. Sürünme testi uygulanan %0 CF takviyeli %70 ve %100 doluluk oranına sahip PLA numunelerin SEM görüntüsü.....	35

**Sayfa**

Şekil 5.12. Sürünme testi uygulanan %15CF takviyeli, %70 ve %100 doluluk oranına sahip PLA numunelerin SEM görüntüsü..... 36

Şekil 5.13. Sürünme testi uygulanan %20CF takviyeli, %70 ve %100 doluluk oranına sahip PLA numunelerin SEM görüntüsü..... 37



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. Komut türü ve değerleri. ....	21
Çizelge 5.1. Pla ve pla-CF numuneleri çekme deneyinin sonuçları. ....	28
Çizelge 5.2. Pla ve pla-CF numuneleri sürünme deneyinin sonuçları. ....	29
Çizelge 5.3. İncelenen polimer kompozitlerin uygulanan gerilme ile sürünme hızlarının değişimi. ....	32



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

PLA	: Polilaktik Asit
MPA	: Stres Ölçüm Birimi
K	: Kutupsal Saniye Alanı Momenti
T	: Duvar Kalınlığı
U	: kesit çevresi
T	: Kesme Mukavemeti
$\sigma_n$	: Normal Stres
$\Phi_p$	: Tepe İç Sürtünme Açısı
JRC	: Ortak Pürüzlülük Katsayısı
JCS	: Ortak Basınç Dayanımı
E	: Elastik Modülü
$\sigma$	: Gerilim
$\varepsilon$	: Gerinim
dl	:Yükseklikte Değişiklik
L0	: Asal Uzunluk
Ls	: Son Uzunluk
S	: Mühendislik Stresi
F	: Yük
A	: Numunenin Kesit Alanı
HK	: Knoop Sertlik Testi
Hv	: Vickers Sertlik Testi
HR	: Rockwell Sertlik Testi
3D	: 3 Boyutlu
$\varepsilon^\circ$	: Sürünme Hızı

## **KISALTMALAR**

SEM : Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu

EDX : Spektroskopi Yöntemleri

CF : Karbon Elyafi

FRP : Elyaf Takviyeli Polimerlere



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünyada son yıllarda artan pazar ihtiyacını karşılamak amacıyla yenilenebilir malzemeleri kullanmak için farklı çalışmalar ortaya çıkmıştır. Kabul edilebilir maliyetleri, üretim ve geri dönüşüm kolaylığı ve çevrenin korunmasına önemli ölçüde katkı sağlaması nedeniyle polimerik malzemeler gelecek için güvenilir bir kaynak olmuştur. Zaman geçtikçe polimerik malzemeler (biyolojik mühendislik- binalar- endüstriler- vb.) alanlara girmiştir. Polimerik malzemeler arasında yer alan Pla üzerine yapılan son çalışmalarla Pla'ya ikinci bir madde eklenmesiyle malzemenin mekanik özelliklerini geliştirdiği bulunmuştur. Malzemenin mekanik özelliklerindeki bu gelişme, onu diğer malzemelerle rekabet edebilir hale getirmiştir [73,74,75].

#### 1.1. MALZEME SEÇİMİ

Günümüzde çelik ve geleneksel plastiklerin yerine termoplastik malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Termoplastikler iyi mekanik özelliklere ve geri dönüştürülebilir kapasiteye sahiptir [1]. Pla polilaktik asit ya da polilaktittir, En yaygın adlandırması Pla'dır, Çok kullanılan bir biyopolimerdir. Pla ambalaj ve tekstilde kullanılmakta ve son dönemde biyomühendislik malzemeleri ile bağlantısı ortaya çıkmıştır. Pla, diş hekimliğinde, dokumühendisliğinde, estetik tıpta, ortopedide, kalp cerrahisinde, ağız ve çene cerrahisinde ve daha birçok alanda kullanımı vardır [2]. Son dönemde ucuz olmaları, geri dönüştürülebilmeleri, hafif ve kaliteli olmaları nedeniyle polimerik malzemelere olan talep artmasına rağmen halen sınırlı miktarda kullanılmaktadır. Polimerik ürünler, güvenilir malzeme verileridir [45]. 2010 yılında PLA polimeri dünyadaki en önemli ikinci biyoplastik olarak kabul edilmiştir. Özellikle implantlar insan vücudunda büyük önem taşıyordu. Pla Çevre dostu olması, endüstriyel tesislerde kullanılması ve laktik asidin polimerik formu olması nedeniyle mısır ve şeker kamışında bulunan şekerlerin mikroorganizmalar tarafından

fermantasyonu sonucu oluşan doğal üründür [3]. Wolff yasasına göre kırık kemik vakalarında kemik mekanik strese tepki olarak yeniden şekillenir, başka bir deyişle, kemik kendisine uygulanan kuvvetlere göre daha iyi modifiye edilir [4]. Mineralin sertliği insan vücudunun normal kemiklerinden çok daha yüksek olduğundan, bu da basınçların kemikteki kırık bölgesine eşit olarak aktarılmadığı anlamına gelir. Bu nedenle kemik iyileşmesi gecikir ve çoğu durumda zorlanmış kemik söylendiği gibi geri dönmez ve kırık bölgesinde doku iyileşmesini önler. Kemik, doksanlı yılların başlarında karbon takviyeli kemik plakaları, metal kullanırken yaygın olan stresi azalttığı için çelik veya titanyum gibi metallere kıyasla daha iyi biyo uyumluluğa sahiptir [5]. Bu kapsamda Pla, daha az ulaşım ihtiyacı ve daha az sera gazı ve karbondioksit emisyonu gerektirdiği için talep açısından en büyük endüstriyel üründür [6].

## **1.2. PLA VE PLA KARBON FİBER ÖZELLİKLERİ**

Kürleme sıcaklığı, tavlama süresi, oluşan izomerler ve termal geçmişin PLA'nın üzerindeki doğrudan etkisi gibi çeşitli özelliklere bağlıdır. Polimerlerin çeşitli özellikleri kristalleşmeden etkilenir, bunlara aşağıdakiler dahildir: Erime noktası gerilme ve direnci, sertlik [7].Pla, şu temel özelliklere sahiptir: Düşük enerji üretimi, biyo uyumluluk, yenilenebilirlik ve kolay işlenebilirlik [8]. Patates, mısır şekeri ve şeker kamışı gibi yenilenebilir bir polimerdir ve biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir[9]. Malzemeyi güçlendirmek için kullanılan karbon kompozit çelikten beş kat daha hafif ve daha dayanıklıdır. Alüminyumdan yedi kat daha güçlü ve alüminyumdan 1,5 kat daha hafiftir, karbon fiber yüksek sıcaklıklara dayanabildiğinden, uçak frenlerinde kullanılmakta [10]. Pla, baskı işlemi sırasında hoş olmayan kokular yaymadığı ve yapısı biyolojik olarak parçalanabildiği için çevre dostu olarak kabul edilmekte. Eritilmiş yeşil pla "katkı maddesi içermez", özellikleri üzerinde kontrol eksikliği, baskı sırasında sarkma / (yanlışlık) oluşmasına neden olur ve bu sorun siyah beyaz plada oluşmaz [11,12]. PLA, iyi mekanik özelliklere ve 180 ile 220 arasında düşük erime noktalarına sahiptir.

PLA, çekme mukavemeti ve modülünde diğer polimerlerden daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir ancak mukavemeti, kırılma sırasındaki uzamasının %10'undan

daha azdır, bu nedenle bir sertleştirici ile birlikte kullanılmaktadır [13,14].

Elyaf takviyeli polimerler "FRP" olarak adlandırılıp polimer matrisi fiberlere takviye edildiğinde kompozit malzemeler elde edilir. Karbon fiberler yüksek modülleri ile karakterize edilir, aynı ağırlıktaki tüm fiberlerle karşılaştırıldığında, karbon fiberleri bilinenmalzemeler arasında en sert olanıdır [15].



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR VE ÖZET

a-Tensile failure strength and separation angle of FDM 3D printing PLA material: Experimental and theoretical analyses. Tianyun et al [80].

Bu araştırmada, üç boyutlu baskı (FDM) teknolojisi ile üretilen çekme numuneleri, baskı için farklı yön açıları kullanılarak test edilmiş. Çekme numuneleri farklı baskı açılarına (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°) ve üç baskı katmanı kalınlığı seviyesine (0,1mm , 0,2mm, 0,3mm ) göre üretilir. Deneysel sonuçlar, baskı açısı arttıkça veya tabaka kalınlığı azaldıkça çekme kopmamukavemetinin arttığını göstermektedir. Aynı zamanda, tabakalar arasındaki hata, yazdırma açısı küçük olduğunda meydana gelir ve tabaka içindeki hata, yazdırma açısı büyük olduğunda ortaya çıkma eğilimindedir.

b-Creep and stress relaxation behaviour of 3D printed nanocomposites[82].

Bu çalışmanın temel amacı, hibrit nanokompozitlerin zamana bağlı davranışlarını analiz etmektir ve bu amaçla yükün olduğu basınç, gerilme ve eğilme durumlarında deneysel testler yapılmıştır. Yük süresi boyunca yer değiştirme (sürünme testleri için) kaydedilmiştir. Deneysel testlerden açısından, bükülme pozisyonunun en düşük değere sahip olduğu, en yüksek değerin ise çekme pozisyonunda gözleendiği sonucuna varmak mümkündür. Sürünme davranışı ile ilgili olarak, çekme durumu en yüksek yer değiştirmeye sahipken, eğilme ve basma durumuna benzer değerlere sahip olmuştur.

Bu, maksimum yükün %40'ı için çekme ve sürünme eğilme testlerinin yapıldığı anlamına gelirken, gerilme %40'ı için sürünme testleri yapıldığı anlamına gelir.

c-Effect of machine parameters on strength and hardness of FDM printed carbon fiber reinforced PETG thermoplastics[38].

Numunelerin üç boyutlu baskılarında karbon fiber takviyeli PETG kullanılmıştır. Gözün 3D baskısı için parametreler şunlara göre belirlenmiştir: Baskı hızı, dolum yoğunluğu ve tabaka yüksekliği. Bu araştırmada sırasıyla 31.567 MPa, 35.045 MPa ve 67.0011 PHN ile en iyi çekme mukavemetini, eğilme mukavemetini ve sertliğini elde edilmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkan en çok arzu edilen makine karakteristik, 60 mm / s baskı hızı,% 80 doldurma yoğunluğu ve katmanın yüksekliği 200 µ Sürecin karakteristikleri ve çalışma aralıkları literatüre ve deneysel testlere göre seçilmiştir. Baskı hızı 60 mm / s korunursa, doldurma yoğunluğunun%40'tan % 80'e değiştiği, tabakanın yüksekliğinin 100 µ 300 µ'den 300 MPa'ya değiştiği, çekme mukavemetinin 30.244'ten 34.629 MPa'ya yükseldiği, eğilme mukavemetinin 34.94'ten 29.96 MPa'ya düştüğü görülmektedir. Dolgu yoğunluğu % 60'a değiştirildiğinde ve tabaka yüksekliği 200 derece olduğunda, 20.005 MPa'ya kadar bir çekme direnci elde edilir ve yüksek eğilme mukavemeti ve sertlik 36,47 MPa elde edilmiştir. 80 mm/s baskı hızını korurken dolum yoğunluğu sırasıyla 40, 60 ve 80 olup, tabakanın yüksekliği sırasıyla 200, 300 ve 100 µ, çekme dayanımı 30.48, 27.05 ve 29.46 MPa elde edilmiştir. Eğilme mukavemeti 34.83, 29.18 ve 32.78 MPa ve sertliği sırasıyla 66.33, 64.67, 65.67 BHN'dir.

Maksimum çekme direnci 34.629 ve 34.174 MPa'da, baskı hızında 60, 100 mm / s, dolgu yoğunluğunda %80 ve sırasıyla 300, 200 derece yükseklikte fark edilmiştir.

d-Characterization of carbon fiber reinforced PLA composites manufactured by fused deposition modelling [77].

FDM modellemesi ile üretilen karbon fiber takviyeli PLA bileşiklerinin karakterizasyonu.

Bu çalışmada karbon fiber ile güçlendirilmiş PLA ve PLA'nın çekme mekanik özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Sonuçlar:Sonuçlar, saf PLA numunelerine kıyasla karbon fiber takviyeli PLA numunelerinin çekme mukavemetinde bir artış olduğunu göstermiştir.

Sonuçlar, saf PLA numunesi ile %20 kısa karbon fiberlerle güçlendirilmiş PLA numunesi arasında çekme davranışında önemli bir yakınsama olduğunu göstermiştir. Uzun elyafli çekme numuneleri, saf polimerik numunelere kıyasla çekme davranışında 6 kat önemli bir artış sağlamıştır.

- Karbon fiber takviyeli polilaktik asit kompoziti, 3D baskı ile üretildi. Deneylemlerin sonuçları, karbon fiber veya karbon fibersız karşılaştırıldı. Modifiye edilmiş karbon elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik kuvvetleri ölçülmüş, çekme ve eğilme mukavemetleri orijinal karbon elyaf takviyeli numunelere göre %13,8 ve %164 daha yüksek bulunmuştur.
- Füzyon Biriktirme Teknolojisi "FDM", ucuz olan basit bir kaynaştırıcı ile tabaka yazdırılan 3D baskısında kullanılan bir yöntemdir. FDM teknolojisi, malzemenin mekanik özelliklerinde kusurlara sahiptir. Genellikle bitişik dişler arasındaki yapışmayı azaltan ve dolayısıyla mekanik özellikleri etkileyen boşluklar oluşturur. Bu sorun kimyasal işlemlerle (filafelx ve pla soft) çözülebilir.

Numunelerin çekme testinde: gerilme %12 ve uzama (kopma) %2 iken, filaflex yöntemikullanılarak kimyasal işlem görmüş malzemede uzama yüzdesi %150'ye çıkar.

e- Tensile, Creep, and Fatigue Behaviors of 3D-Printed Acrylonitrile Butadiene Styrene [78].

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS).

3D baskısında çok kullanılan bir termoplastiktir. bu çalışmada, 3D baskılı AbS'nın mekanik özellikleri, özellikle çekme ve sürünme özellikleri incelenecektir. Baskı yönü (0°) ve Young modülü olduğunda sonuçlar gösterilecektir. (1.81) GPa'dır ve 228 MPa'lık bir son güçtür. Baskı sırasındaki sürünme testinde (90°), plastik sürünme modelinde k'nin en düşük değeri 0,2'dir.Bu, 90°nin sürünmeye en dayanıklı yön olduğu anlamına gelir.

## BÖLÜM 3

### 3D BASKI İLE KENDİSİNE UYGULANAN MEKANİK TESTLER

#### 3.1. 3D BASKI

##### 3.1.1. 3D Baskının Tarihi

3D baskının tarihi, bilim adamı Charles Chuck Hull'un 3D baskının geliştirilmesinde temel dayanak noktası olan stereolitografik yazıcı için bir patent aldığı 1986 yılına kadar uzanır. İki yıl sonra, Cott Crump Ergiterek biriktirme yöntemi (EBY) modellemesini (FDM) icat etti [17]. Kaynaşmış biriktirme modeli, 3D baskı konusunda uzmanlaşmış Stratasys şirketini kurdu ve 1990 yılında şirket, bugüne kadar 3D baskı ile ilgili en ünlü teknolojilerden biri haline gelen plastik ekstrüzyon teknolojisine başladı [19]. (3.1) Şekilde gösterilen, Hollanda'daki Eindhoven Üniversitesi, 2017'de yazıcıyı ve köprüyü tasarladı, ilk köprü 3D baskı yoluyla inşa edilmiştir.



Şekil 3.1. Dünyanın ilk 3D baskılı köprüsü [16].

3D baskının icadından bu yana ve bugüne kadar sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde 3D baskı teknolojileriyle ilgili 30.000 binden fazla patent var [18]. 1960 yıllarında, bilgi devrimi ve bilgisayar destekli tasarım (CAM) programlarının icadından sonra bu çalışmalar 3Dbaskısını kolaylaştırdı ve günümüzde kompakt ve kullanımı kolay bir teknoloji haline gelmiştir [20].

### **3.1.2. 3D Baskının Önemine Giriş**

3D yazıcı, metal, plastik, beton ve seramikten modeller üretebilir. Baskı mekanizması, malzemeleri eriterek ve her tabakayı iki boyutlu bir düzlemde üst üste binen çok ince tabakalar oluşturarak yapılır. Eklemeli imalat, son yıllarda malzemelerin tabakalar halinde yazılmasıyla üç boyutlu bir model haline gelmiş ve bu model modern sanayi devrimi olarak anılmaya başlamıştır. 3D baskı, düşük maliyetleri ve her geçen gün artan talebi nedeniyle üretimde büyük bir kaymaya yol açan sanayi devriminden sonra meydana gelen en büyük olaydır[21,22,23].Baskıda kullanılan malzemelerin biçimleri şunlardır: toz, macun, filamentler, tabakalar ve mürekkepler. 3D baskısının avantajı, hurda içermemesi ve frezeleme veya zımparalama gerektirmemesidir. 3D baskı, son derecekarmaşık üretim için doğruluğu ve güvenilirliği nedeniyle endüstrinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir [24,25].

### **3.1.3. 3D Baskısının En önemli Uygulamaları**

3D baskı, aşağıdakiler dahil birçok alana girer:

Havacılık Endüstrisi: Boeing kısa süre önce 3D baskı teknolojisini kullanarak uçakları için özel parçalar tasarlamaya çalıştı.

Otomotiv sektörü: yöntem yedek parça üretmek için kullanılır.

Eğitim Sektörü

Uzay sektörü: Uzun çalışmalardan sonra NASA, uzayı keşfederken işlerini kolaylaştırmak için özel bir 3D yazıcı tasarlamayı başardı ve astronotlara gönderdi

[24-26-29].

Mimarlık sektörü:

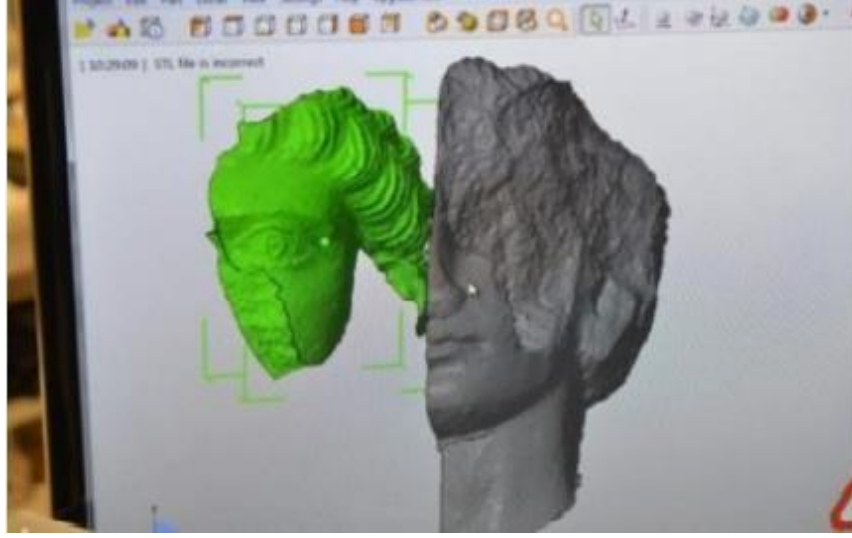
3D baskı teknolojisi, mimarların bir 3D plan çizerek fikirlerini açıklamalarını kolaylaştırdı ve müşterinin gelecekteki projesini basit bir şekilde görmesini sağlamıştır.



Şekil 3.2. Mimaride 3D yazıcıların kullanımı [29].

3D baskı teknolojisi sağlık sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, en geniş alanlarına girmiş. Artık doku baskı, tıp eğitimi ve öğretimi, protez, tıbbi araştırma ve cerrahi planlama için kullanılmaktadır [28].

(3.3) Şekilde tarihi eserleri restore etmek için 3D baskı kullanıldı. İtalya'daki (ICR) adlı Roma Enstitüsü, Suriye'nin Palmira kentinde ait bir eseri restore etti.



Şekil 3.3. Hasarlı büstün bilgisayar destekli tasarımı [27].

#### 3.1.4. 3D Baskıda Karbon Fiberlerin Kullanımı

3D karbon elektronik cihaz mühendisliği, mühendislik bilimlerinde bir rönesans olarak kabul edilirken, günümüzde dijital modeller kısa sürelerde hazır cihazlara dönüştürülebilmektedir. Malzemelere takviye malzemesi olarak karbon liflerinin eklenmesi mekanik özelliklerini iyileştirir. Ancak malzemedeki karbon içeriği ne kadar yüksek olursa, esneklik ve işlenebilirlik o kadar düşük olur. Termoset plastik matris ile birleştirilmiş karbon fiber filment, ürününden (onyx) kendine adlandırılan malzemeye oniks eklenmesi, çekme mukavemeti direncini büyük ölçüde arttırmıştır. Karbon fiberler, şunlara göre değişir :

- Etkenlere bağlı
- Boyuna negatif ısıl genleşme
- Elastik modülü
- Elektrik ve ısıl iletkenliği

Yukarıdaki nedenlerden dolayı karbon elyafların bileşiklerinin yapısal özellikleri etkilenir [30,31,32,33].

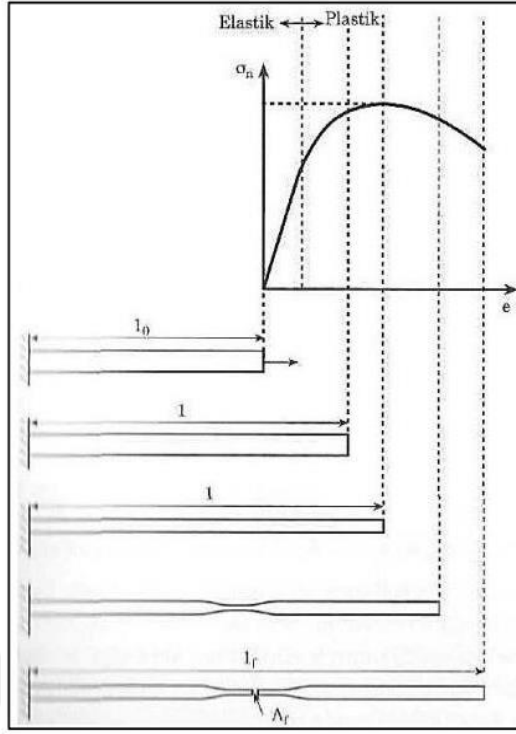
## **3.2. MEKANİK TESTLER**

Mekanik testler: Malzemeler kullanılacak malzemenin mekanik özelliklerine göre belirli bir uygulama için seçilir. Mekanik testlerin sonuçları farklı kriterlere göre onaylanır.

Örneğin, bir malzemenin statik yüklere dayanma kabiliyetini belirlemek için bir basma testi ve bir çekme testi kullanılır. Malzemelerin kalıcı deformasyonlara karşı direncini bulmak için statik deneyler kullanılır. Yüksek sıcaklıklara ve uzun süreli yüklere maruz kaldığında sünme testine başvururuz. Değişen sıcaklıklara ve değişen basınçlara gelince, yorulma kullanılır [37-46-47].

### **3.2.1. Çekme Testi**

Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek ve mekanik davranışlarına ve malzeme seçimine göre sınıflandırmak için kullanılan en önemli mekanik deneylerden biridir. Standart çekme mukavemeti numuneleri ölçülür. Belirli bir kuvvet uygulandığında malzemede belirli bir deformasyona dayanır. Ortaya çıkan gerilimi belirleyin [35-65-66].



Şekil 3.4. Stres ve gerilim bölümünü tanımlar [65].

### 3.2.2. Basma Testi

Bir malzemenin basınç yüklerine maruz kaldığında hidrofofikliğini tanımlamanın etkili ve basit bir yolunu sağlar. Numuneyi tek bir eksen boyunca basınç veya gerilimin yer değiştirmesine maruz bırakarak oluşur. Gerilim ve gerilimdeki değişimin sonuçları kayıt altına alınır. Geometrik gerilim aşağıdaki ilişkiden hesaplanabilir:

$$\epsilon = dl/L_0$$

Burada  $dl$ ,  $l_s$  tarafından verilen ölçülen yer değildir; burada  $l_s$ , son uzunluk ve  $l_0$ , örneğin başlangıç uzunluğudur. Mühendislik stresi aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

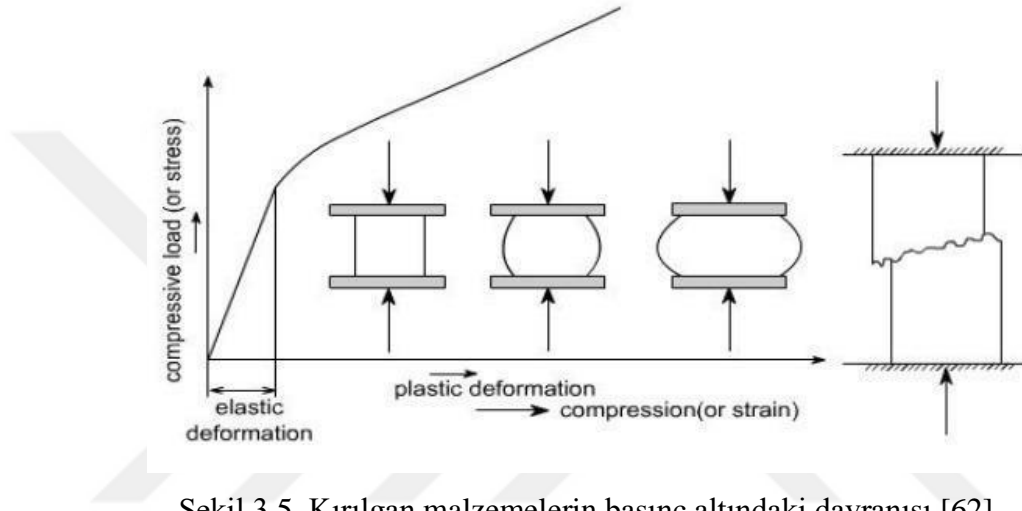
$$S = F/A$$

$A_0$  birincil kesit alanıdır.

F Numuneye uygulanan yükü ifade eder [61].

Çekme testi gibi, basma testi de bir malzeme bir sıkıştırma yüküne maruz kaldığında gerinim ve gerilim arasındaki ilişkidir [60].

Basma altındaki kırılmalı malzemeler, belirli bir yüke ulaşana ve aniden başarısız olana kadar esnek davranırlar : çatlayarak veya parçalanarak. (3.5) Şekilde gösterildiği gibi:



Şekil 3.5. Kırılmalı malzemelerin basınç altındaki davranışı [62].

Basma testi için en yaygın kullanılan numune, düz uçlu dairesel bir silindirdir. Bu modeli farklı kılan, burulmayı önlemek için özel bağlantı parçalarının bulunmasıdır [63]. Basma testi şunları içerir:

- Yay Testi
- Testi yukarıdan aşağıya yükleyin üst-yük/ezme

Basma testi, aşağıdakiler gibi birçok endüstride nihai ürünlerin kalitesini ve bileşenlerin ve malzemelerin kalitesini sağlamak için kullanılır:

- İnşaat sektörü
- Tıbbi cihaz endüstrisi
- Otomotiv ve havacılık endüstrisi
- Elektrikli ve elektronik ekipman

- Endüstrisi Karton ve kâğıt endüstrisi
- Kozmetik endüstrisi
- Plastik, plastik ve kauçuk
- endüstrisi Ambalaj endüstrisi
- Sağlık ve güvenlik endüstrileri [64].

### 3.2.3. Sertlik Testi

Sertlik malzemelerin önemli özelliklerinden biridir. Üç tip girinti morfolojisi gözlemlenir. Sertlik malzemelerin içsel mekanik özelliğidir. Sertlik-dayanım oranları, deformasyon ve yığılma davranışlarını kesme yeteneklerinden etkilenir. Her ikisinin etkisi, sertliği laboratuvarda sertleştirilmiş kristal malzemelerdeki mukavemetten üç kat ve seramiğin ve BMGS'nin kırılma ve tavlama mukavemetinden üç kat daha fazla yapar [52-69].

Gerçek bir sertlik testi sonucu için aşınmaya dayanıklı ve sertlik kaplamaları değerlendirilir. Gerçek bir sertlik değeri elde etmek için numunenin kalınlığı, girintinin derinliğinden birkaç kat daha büyük olmalıdır (genellikle on kat daha fazla) [51-70].

Mekanik sertlik testi, bir malzemenin lokal olarak deforme olduğunu bilmenin kolaylığının bir ölçüsünü verir.

Üç ana sertlik testi türü vardır:

Konoop ve reckwell ve vickers

Önceki testlerin her biri, malzemenin türüne ve sertliğine göre kullanılır.

Örneğin, malzeme, çömelme pozisyonu (karşı yüzleri arasında 136'lık bir açıya sahip kare bir piramit) gibi tek bir kristal kesilmiş elmas parçasından yapıldığında aşağıdaki denklemde veckers testi kullanılır:

$$Hv=1.8544p /d^2$$

Rockwell testi, sert malzemeler için kullanılan sertliğin küresel bir şekle sahip olması bakımından vickers testinden farklıdır. Elmas koni 120'lik bir açığa sahiptir.

Test sonucu ilişkiye göre verilir:

Knoop ise hiyerarşisi (170.5 ve 130) karşılıklı kenarlar arasındadır. Yükleme süresi 15 saniyedir. Sertlik yükü 1 kg'dan az olduğunda uygulanır. Buna kesin sertlik testi denir. Sertlik bunun için hesaplanır. Formülle göre:

$$HK=14.229p/d^2 [53-67-68].$$

#### **3.2.4. Darbe Testi**

Darbe enerjisini ölçmek için iki standart test kullanılır. Onlar charpy ve izod testlerdir. (3.6) şekilde olduğu gibi, yük, ağırlıklı bir sarkaç çekicinden darbe darbesi olarak uygulanır.

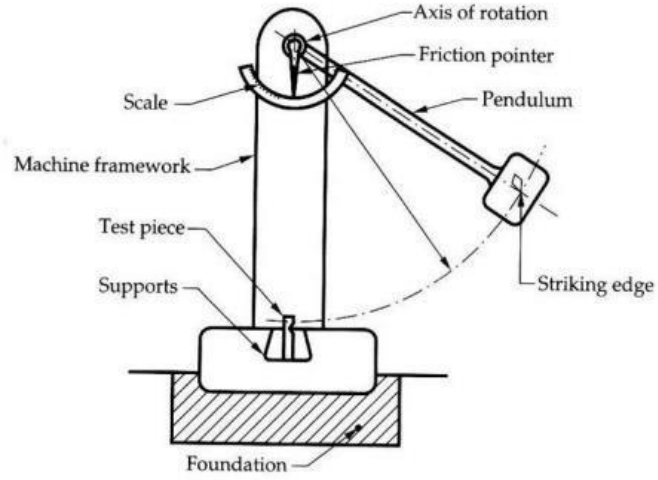
h ile gösterilen sabit bir yükseklikten serbest bırakılır.

Numune tabana yerleştirilir ve deney başladığında, bir sarkaç (bıçağın kenarına sahip) numuneye vurur ve içinde bir kesi yapar sonradan kırar.

E fraksiyonunda emilen enerji, sarkacın potansiyel enerjisi arasındaki farkın testten önceki ve sonraki ilişkiye göre hesaplanmasıyla elde edilebilir.

$$E=m.g.(h-h')$$

h' :Çarpmadan sonra sarkacın maksimum yüksekliği h'den az  
Fotoğraf  
Aşağıdaki şekil etki makinesi gösterir

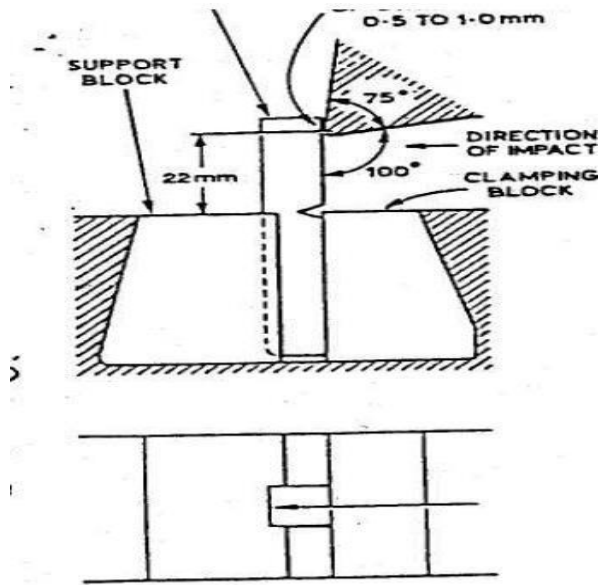


Şekil 3.6. Darbe cihazı parçaları [57].

### Ozod Darbe Testi

Test edilecek parçanın, şekil (3.7)'de gösterildiği gibi kelepçenin üst kısmında bir yarıık bulunan, bir örse dik olarak sabitlenmiş bir kontilever.

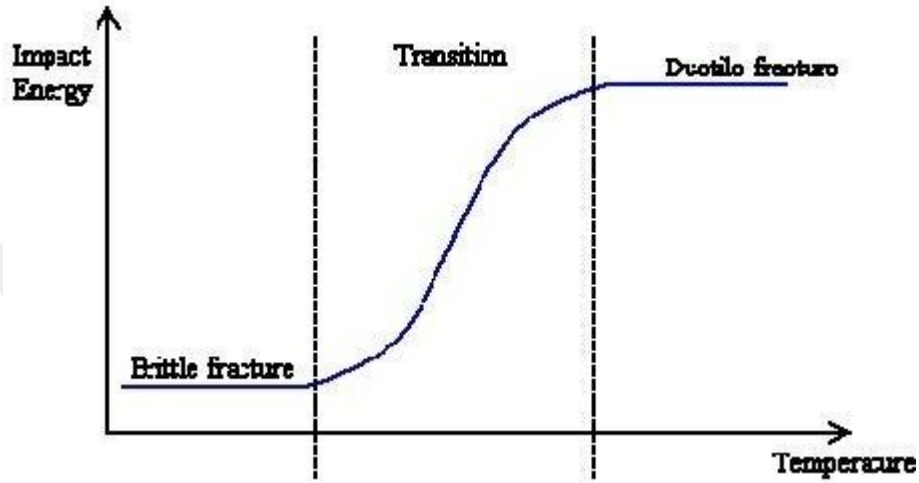
Parça, vuruşun gerçekleştiği sabit bir yükseklikten sarkaç üzerine sabitlenmiş bir vurucutarafından vurulur.120 fit Numune kırıldıktan sonra sarkacın ulaştığı yükseklik disk üzerine sabitlenmiş bir sürtünme göstergesi vasıtasıyla alınır.



Şekil 3.7. Darbe cihazının etkisinin numuneler üzerindeki etkisi.

Charpy darbe testi.

Charpy testi, yarığın yüzün ortasında olması ve test parçasının her iki uç tarafından desteklenen bir demet olması ile izod testinden farklıdır. Her uçta destek olun Saldırgan karşı tarafa, yani kesi yerinin hemen arkasına vurur.Şekil (3,8), süneklikten gevrekliğe geçiş eğrilerini gösterir [3.8].



Şekil 3.8. Charpy etki testi - sıcaklıkla etkinin enerji diyagramı.

1987 yılında iki dünya adamı Barsom ve Rolfe Kic anlamına gelen fracture tokluğu ile CVNarasındaki ilişkiyi genişlettiler.

Aşağıdaki ilişkiye göre:

$$(K_{Ic}/\sigma_{YS})^2=5((CVN/ \sigma_{YS}) -0,05)$$

klc, yavaş yüklemelerde kırılma tokluğudur

Qys Teslimiyete direnmektirksi ve cvn Charpy v-çentik değeri Standart [58,59].

### 3.2.5. Burulma Testi

1978'de Gordon, iki ana burulma direnci yöntemine iyi bir şekilde tanıttı:

Torsiyon kutusu yöntemi: Modern uçakların tek kanadı gibi burulmaya karşı daha

etkili bir yöntemdir. İlişki aşağıdaki formülle verilmektedir.

$$K=A^2 t/U$$

K: (kutupsal saniye alanı momentit : duvar kalınlığı

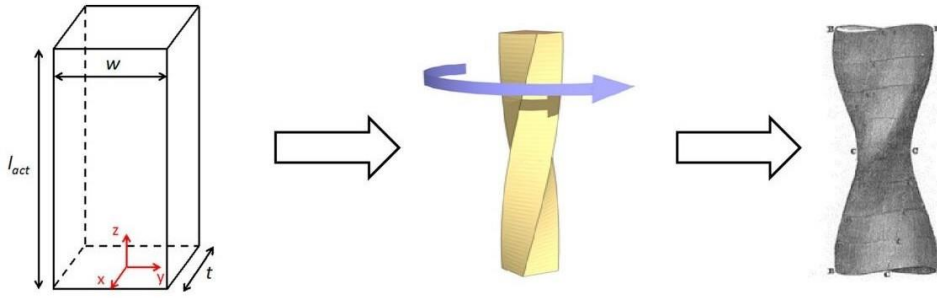
U: kesit çevresi

A: bir alanı çevreleyen

Diferansiyel bükülme sertliği:

Yapı iki paralel parça tarafından desteklenen bir kanat gibi olduğunda; Kanadın ucunu bükmek, direkleri bükmeye kendini katlanacaktır[48].

Hidrolik çekme-burulma makinelerinin ortaya çıkışından bu yana son yirmi yılda, metalikmalzemelerin döngüsel yükler altındaki davranışı üzerine deneysel çalışmalar önemli ölçüde gelişmiştir[49].Dinamik burulma ölçümlerini yapmak için (örneğin,(3.9) şekil de gösterildiği gibi dikdörtgen bir çubuğun veya ince bir silindirin dinamik deformasyonu), geniş bir dönüşaralığında genellikle standart bir endüstriyel standardı benimser[50].



Şekil 3.9. Burulma testi uygulandıktan sonra malzemenin şeklindeki değişiklik.

### 3.2.6. Kesme Testi

Kesme testi, yüzey pürüzlülüğünü, derz dolgu malzemesinin varlığını ve doğal basınç ve genişlemeyi bilmeyi amaçlar. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça eklemin kesme mukavemeti artar. Bu aynı zamanda doğal basınçtaki artış için de geçerlidir.

Kesintiler boyunca kesme direncini bulmak için. Barton, bilim adamı günümüze kadar hala kullanılan bir formül icat etti:

$$\tau = \sigma_n \cdot \text{tg}(\text{JRC}' \log_{10} (\text{JCS}/\sigma_n) + \Phi_p) + \tau_p$$

$\sigma_n$  normal stres

$\Phi_p$  tepe iç sürtünme açısı

JRC Ortak Pürüzlülük Katsayısı

JCS Ortak Basınç Dayanımı [54,56].

Kesme testi, bandın sabit yük altında sürünmeye-direnme ölçer.

Metallerin plastik üretim davranışını anlamak için kesme davranışının deneysel karakterizasyonu esastır. Kesme işleminde malzemeler sabit veya dinamik olarak yüklenir örneğin: (zımbalama, mikana işleme, darbe, ekstrüzyon vb.) [55].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

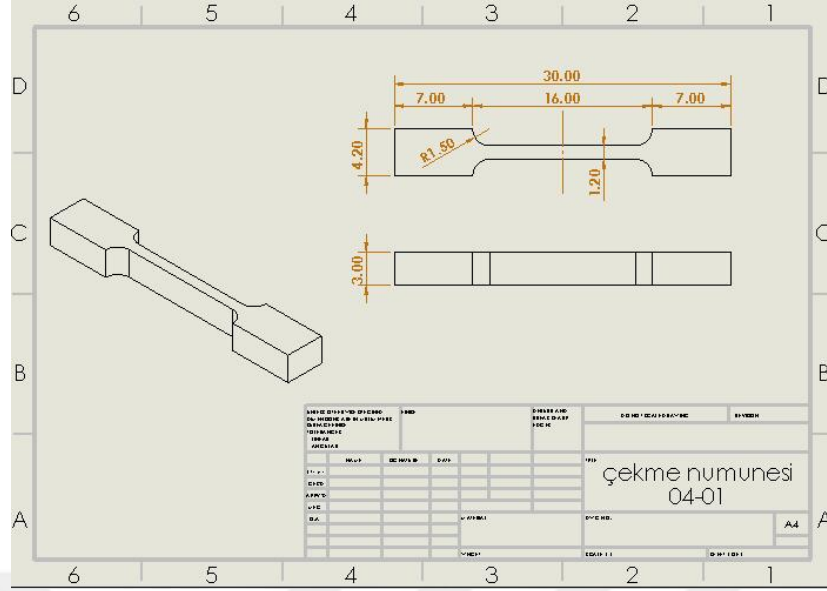
Pla kullanmanın başarısı, kullanılan uygulamaya göre (dolgu yüzdeleri - döküm sıcaklığı - üretim yöntemi - diğer malzemelerin eklenmesi - kullanılan polimerin türü veya rengi) çeşitli parametrelere bağlıdır.

Bu çalışma, pla'nın mekanik özelliklerini aşağıdaki yollarla iyileştirmeyi amaçlanmaktadır:

- a- Değişen oranlarda karbon fiber eklenmesi.
- b- Farklı dolum yüzdeleri eklenmesi. Pla malzemesinin özelliklerini olumsuz yönde değiştirmemek için karbon liflerinin %20'sini geçmeyecek oranlarda eklemeye karar verildi, çünkü karbon liflerindeki artış malzemeyi tabakalar halinde tutarsız ve kırılğan (kırılması kolay) hale getirmekte. Bu çalışmada, PLA esaslı polimerletrin çekme ve sürünme özelliklerine %0, %15 ve %20 hacim oranında ilave edilen karbon fiberin ve %70 , %80, %90 ve %100 doluluk oranlarının etkisi araştırılmıştır.

#### 4.1. ÇALIŞMA İÇİN PLA VE (PLA İLE CF) NUMUNELERİNİN ÜRETİMİ

Bu çalışmada kullanılan malzemeler "creality 3D Ender 3 pro" yazıcı ile üretilmiştir. İlk olarak parça, Şekil 4.1 de gösterildiği gibi solidworks ile çizilir. Çizimi Gcode formatında (yazıcı için tanımlanan format) kaydetme işlemi tamamlandıktan sonra yazıcı programında çizim açılır ve yazıcıya Çizelge 4.1'deki gibi komutlar verilir.



Şekil 4.1. Parçanın üretim şekli.

Çizelge 4.1. Komut türü ve değerleri.

Komut Türü	Değeri
Kalite bölümünde, tabaka Yüksekliği	0.12mm
Wall Thickness	1.2mm
Wall Line Count	3
Üst / Alt Kalınlık	0.84mm
Alt tabaka lar	7
Dolgu yoğunluğu	% 70-80-% 90-100%
dolgu deseni	Çizgiler
Baskı sıcaklığı	210 c
Yapı plaka sıcaklığı	60 c
Basma hızı	50 mm/s
Her iki parçayı basmak için gereken süre	12 dakika
Her parçanın ağırlığı	1 g
Nozzle Diameter	0.4 mm
Line width	0.4 mm

Gerekli Karbon fiber ve Katkısız Pla Filamentleri internet üzerinden Amazon web sitesinde Sunlu firmasından satın alındı. İlave edilen karbon fiber miktarı %15 ve %20 oranlarındadır.

## 4.2. MEKANİK DENEYLER

### 4.2.1. Çekme Deneyi

Çekme testi KARABÜK ÜNİVERSİTESİ DEMİR ÇELİK ENSTİTÜSÜ MALZEME ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME MERKEZİ (MARGEM) LABORATUVARLARI Merkezin STATİK TEST LABORATUVARINDA. Çekme testi yapıldı. Deneyde kullanılan cihazın adı: Zwick/Roell Z600 Çekme-Basma-Eğme Testleri Cihazı, (4.2) Şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Zwick/Roell Z600 çekme -eğme-basma testleri cihazı.

Cihazın teknik özellikleri ve gerçekleştirdiği çekme testin açıklaması (4.3) şekilde gösterilmektedir:

Cihaz Teknik Özellikleri;	Cihazla Yapılabilecek Testler;
600 kN yük uygulayabilme kapasitesine sahip bir mekanik test cihazıdır. Cihaza monte edilebilen aparatlar yardımıyla aşağıda belirtilen testler uygulanabilmektedir.	Çekme Testi: Özellikle çelik esaslı malzemeler olmak üzere farklı çaplarda yuvarlak (nervürlü çelik dahil), farklı ebatlarda düz numuneler, dişli numuneler ve dişli ana numunelere maksimum 1100°C sıcaklığa kadar çekme testi uygulanabilmektedir.

Şekil 4.3. Cihazın teknik özellikleri ve cihaz tarafından yapılan testler [36].

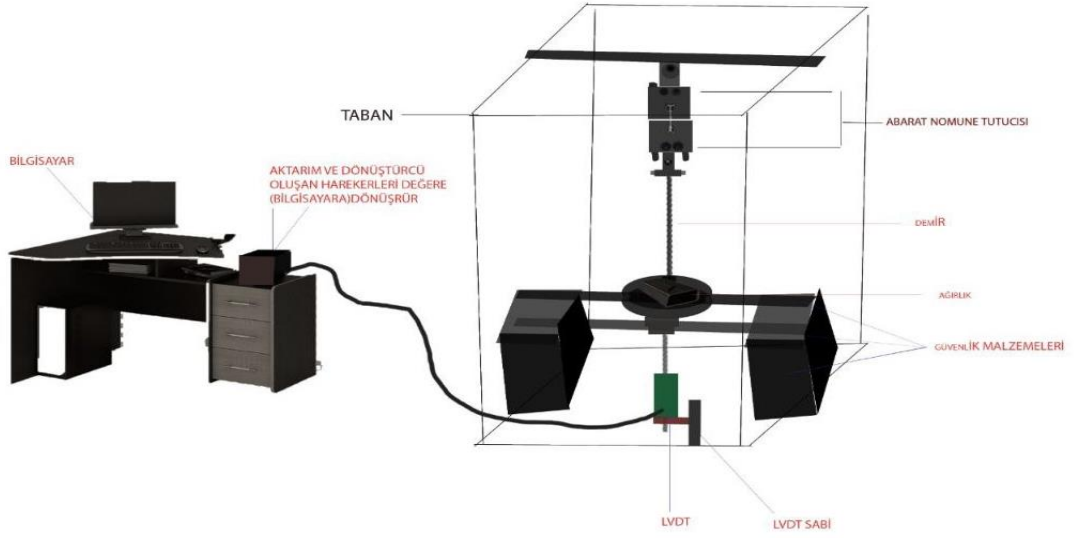
Çekme numunesi geometrisi ve uygulaması ISO 527-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir [34].

#### **4.2.2. Sürünme Deneyi**

Sürünme: Bir malzemenin stresin neden olduğu mekanik strese uzun süre maruz kalması nedeniyle kalıcı olarak deforme olma eğilimidir. Sürünme çalışması ürünün hizmet ömrünü tahmin eder [40]. Sürünme testi, yüksek sıcaklıklarda çalışan malzemelerin ömrünü belirlemek için yapılan en önemli tahribatlı testlerden biridir ve onlara uygulanan yüksek stresler ve malzemelerin ömrü bilindiğinde, uzmanlar büyük bir yıkım olmadan önce tesislerin bakımını yapabilirler [44]. Sürünme, bir malzemenin sabit basınç ve sıcaklık altında kademeli deformasyonu olarak tanımlanır, yani uzun süreler boyunca yük altında meydana gelen plastiğin plastik deformasyonudur [41]. Sürünme testi prensibi, bir tartı modeline veya bir ipe bir ağırlık asılmasına ve zaman içindeki uzama miktarının ölçülmesine bağlıdır. Sürünme testini hızlandırmak için normalden daha yüksek sıcaklıklar kullanılmaktadır, Daha küçük numuneler, çok eksenli stres altında daha yüksek sürünme direncine sahiptir [39,43]. Sürünme testi, gaz türbinlerinde ve enerji santrallerinde bina ve köprüler tasarlarken mühendisler için bir yük ve endişe kaynağıdır, özellikle gazla çalışan turboprop uçak motorlarında olduğu gibi yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında, kimyasal tesislerde [42].

#### **4.2.3. Sürünme Cihazı İmalatı**

Sürünme cihazı Karabük Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bilimsel araştırma ve tezin tamamlanması amacıyla tasarlanmıştır. Cihaz numune tutucu, altında ağırlıklar ve yerleştirmenin ölçüldüğü transdüserden oluşur. Birim uzama yükleme bölgesinden alınan bilgi sensörden alınır ve bilgisayara aktarılır. Okuma bilgisayarda bu amaç için tasarlanmış bir program tarafından gösterilir. (4.4) Şekilde, sürünme cihazını göstermektedir.



Şekil 4.4. Karabük Üniversitesi'nde tasarlanan sürünme cihazı.

### 4.3. SEM İNCELEMESİ

#### 4.4.1. SEM DENEYİMİNİN ÖNEMİNE GİRİŞ

Scanning Electron Microscopy (SEM) sembolüdür. Türkçede (taramalı eltron mikroskobu) anlamına gelir. Fiziksel boyutlu bir ölçüm cihazıdır ve yapının nicel ve nitel kimyasal bileşimini belirlemek için (elektronik problu (EMP) yapı) ve SEM cihazı odaklanmış bir ışın ile taranan numunelerin görüntülerini üretir.

Elektronlardan, numunedeki atomlar elektronlarla etkileşir ve atomlar ve elektronlar arasındaki etkileşimden sonra numunenin yüzeyinde kompozisyon ve topografi hakkında bilgi içeren farklı sinyaller üretilir.

SEM cihazının ana bileşenleri:

- Elektron topu: yüksek enerjili elektronlar üretmek için bir kaynağıdır.
- Aşağı sütun: elektronları en az iki elektromanyetik mercekle aracılığıyla aktarmak.
- Elektronik detektör: saçılan elektronları algılamak için kullanılır.
- defleksiyon sistemi tarama bobinlerinden oluşmaktadır.

- Elektron radyasyonunu kontrol etmek için kullanılan bir klavye ve taranan fotoğraflar görüntülemek için bir ekrandan oluşan bir bilgisayar sistemi [71, 72].

#### 4.3.2. Çalışmada Kullanılan Sem Cihazı Türü

Testinde kullanılan SEM cihazının adı:

CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM

Cihaz üzerinde yapılabilecek testler:

EDX dedektörü ile nicel ve nitel kimyasal analizler ve ön yüzey haritalaması. Yalıtkan, yarı iletken ve iletken malzemelerin mikro yapısını yüksek doğrulukla analiz edin. Yalıtım malzemelerinin yüzeyleri kaplanarak (c, Au, veya Au-pd) ile yalıtım malzemelerinin mikro yapısı analiz edilir.

Şekil (4.5) SEM cihazının bir resmini göstermektedir.



Şekil 4.5. Taramalı elektron mikroskobu (Sem).

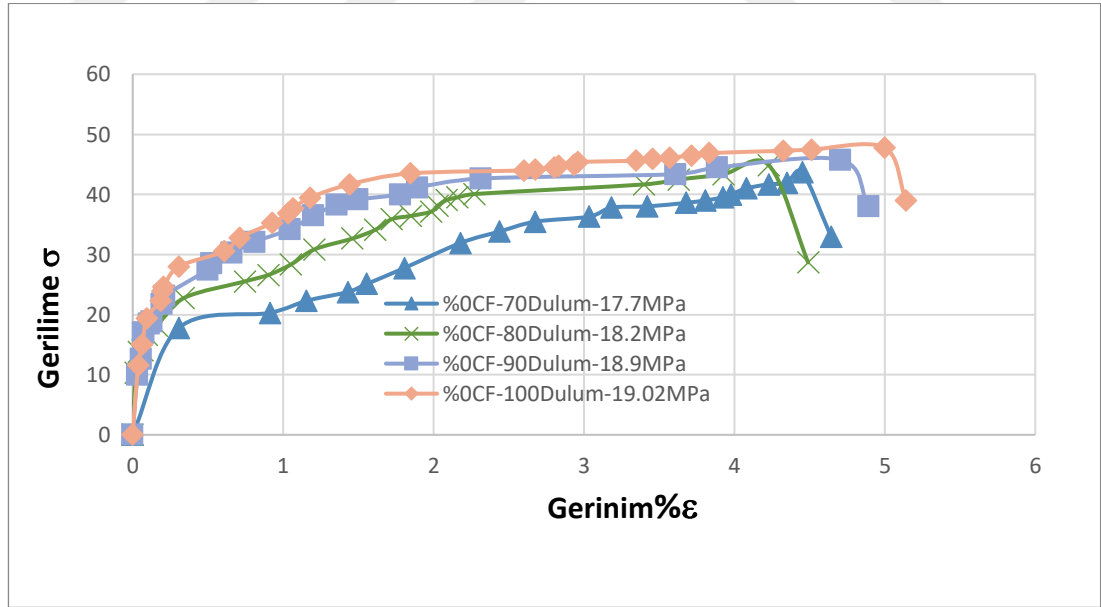
## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

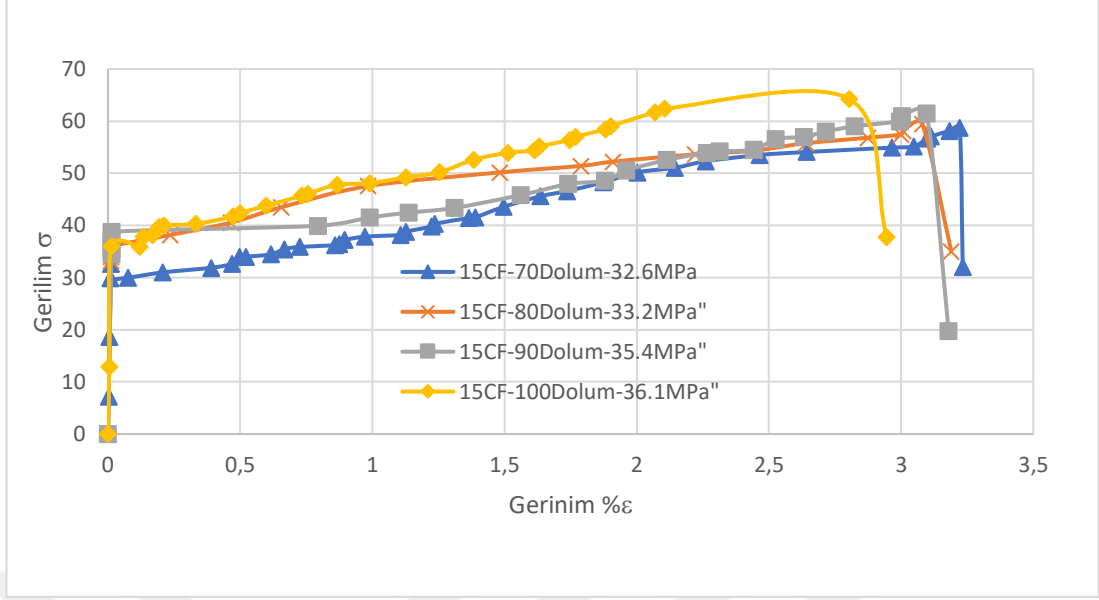
Bu çalışmada incelenen PLA matrisli karbon fiber takviyeli numunelerin çekme test ve sürünme test sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

#### 5.1. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

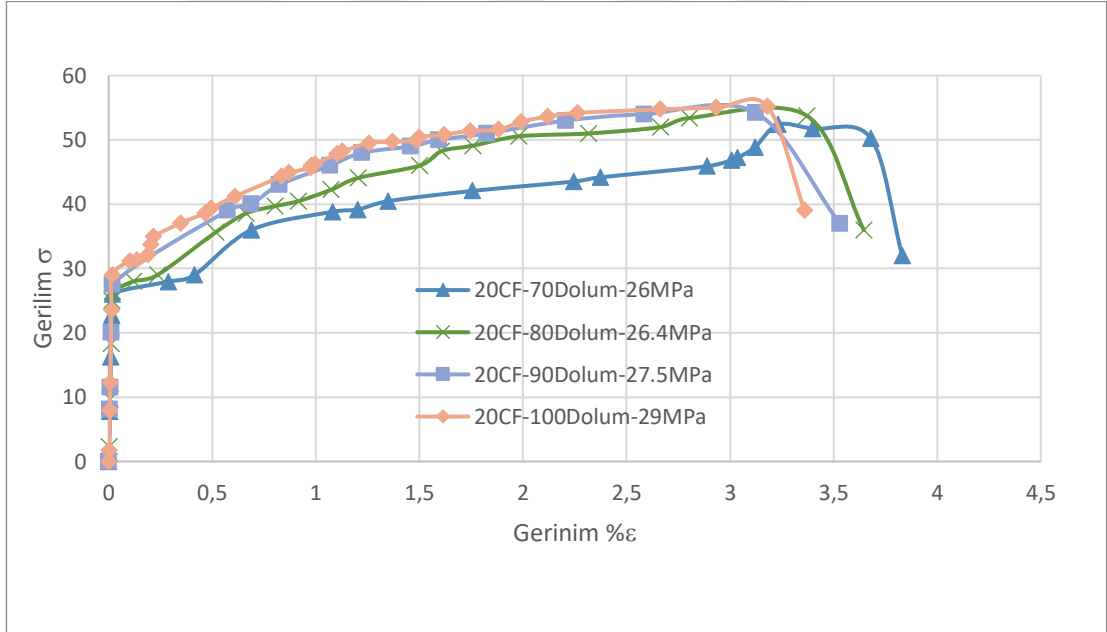
Şekil 5.1, Şekil 5.3 arasında incelenen polimer kompozitlerin “Gerilme-Uzama” grafikleri verilmiştir. Gerilime uzama grafikleri elastik ve plastik bölgeden oluşmakla birlikte plastik deformasyon çizgisi bir miktar iniş ve çıkışlar içermektedir Bu durum plastiklerin zincir yapısına dayandırılabilir.



Şekil 5.1. %0CF numunelerinin, malzeme oranları %70-80-90-100'ü dolduran çekme diyagramı.



Şekil 5.2. %15 CF numunelerinin, malzeme oranları %70-80-90-100'ü dolduran çekme diyagramı.



Şekil 5.3. %20 CF numunelerinin, malzeme oranları %70-80-90-100'ü dolduran çekme diyagramı.

Gerilme uzama grafiklerinden yararlanarak elde edilen akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama ve elastik modül değerleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Pla ve pla-CF numuneleri çekme deneyinin sonuçları.

Numune	Akma Gerilimi (MPa)	Maksimum Gerilim (MPa)	Kopma Gerinimi (mm/mm)	Elastik Modülü (MPa)
%0 Cf %70 Dolum	17,7	43,7	4,64	1930
%0 Cf %80 Dolum	18,2	44,1	4,69	1980
%0 Cf %90 Dolum	18,9	44,6	4,89	2040
%0 Cf %100 Dolum	19,02	45,3	5,14	2120
%15 Cf %70 Dolum	32,6	58,7	3,23	1930
%15 Cf %80 Dolum	33,2	59,4	3,19	1980
%15 Cf %90 Dolum	35,4	61,5	3,16	2732
%15 Cf %100 Dolum	36,1	64	2,9	2640
%20 Elyaf %70 Dolum	26,02	52,2	3,83	1562
%20 Elyaf %80 Dolum	26,4	53,7	3,62	1590
%20 Elyaf %90 Dolum	27,5	54,2	3,52	1670
%20 Elyaf %100 Dolum	29	55,2	3,36	1710

Karbon elyaflarındaki %0'dan %15'e artışa, çekme mukavemetinde bir artış olduğunu fark edilmekte, ancak karbon yüzdesinin %20'ye artmasıyla çekme mukavemeti tekrar azalmıştır. En büyük ortalama çekme değeri (64 MPa) ile %15 Cf %100 Dolum polimerinde ve en düşük çekme değeri (43.7 MPa) pla matrisli %0 Cf-%70 Dolum malzemesinde olmuştur. Bu sonuçlar Ref. [76,77] ile verilen sonuçlarla uyumludur.

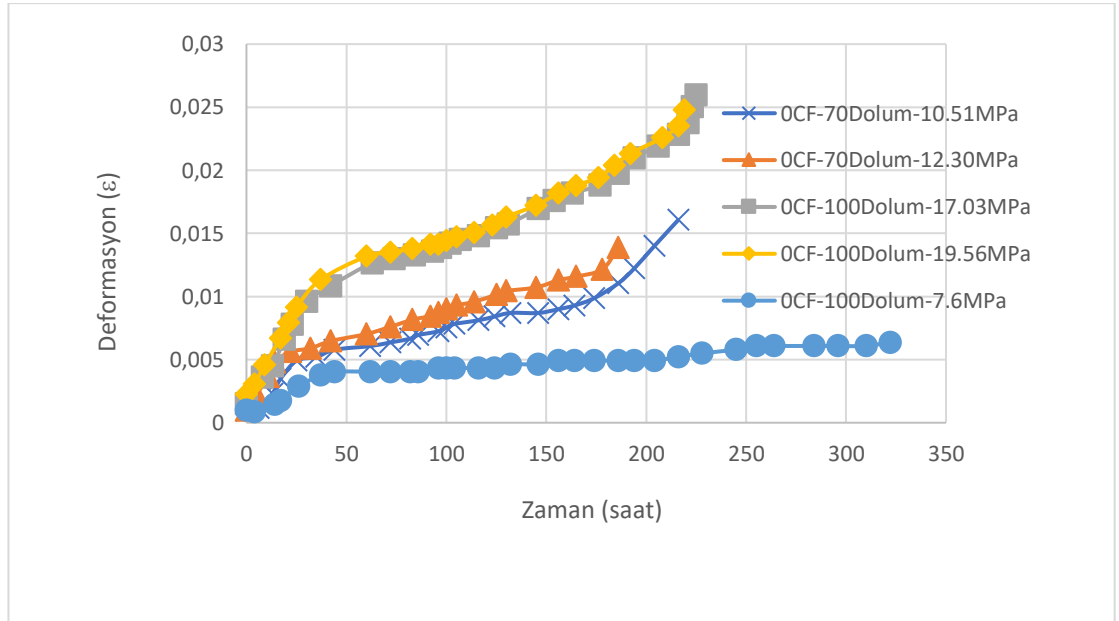
## 5.2. SÜRÜNME SONUÇLARI

Karbon fiber oranı %0CF, 15%CF ve 20%CF ve doluluk oranları %70 ve %100 olan numuneler sürünme deneylerine tabi tutulmuştur. Sürünme sırasında uygulanan gerilme akma mukavemetinin %50,%75 ve %85'ine karşılık gelecek şekilde belirlenmiş olup Çizelge 5.2 de verilmiştir.

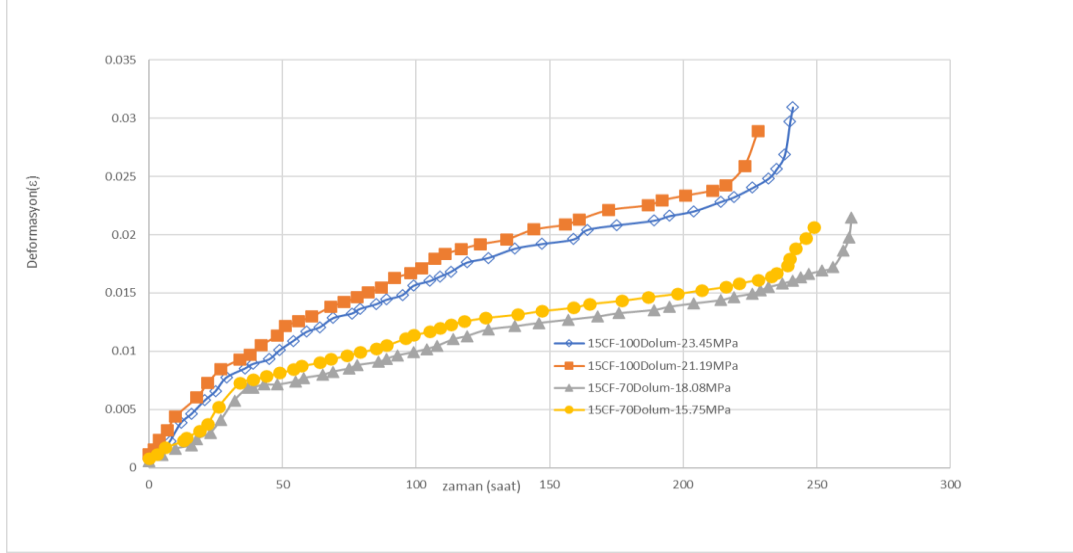
Çizelge 5.2. Pla ve pla-CF numuneleri sürünme deneyinin sonuçları.

Malzeme	DOLUM	Uygulanan Gerilme ( $\sigma$ , MPa)
%0 CF	%70	10,51
		12,304
	%100	7.6
		17,026
		19,560
%15CF	%70	15,747
		18,065
	%100	21,19
		23,452
%20Cf	%70	22,815
		26,73
	%100	22,815
		26,369

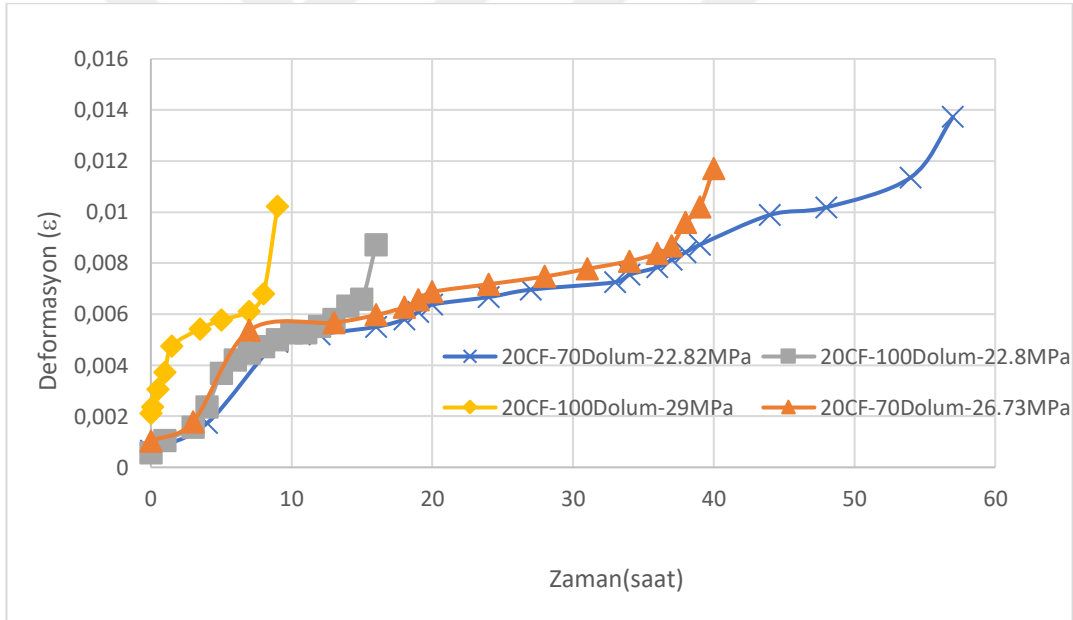
Şekil 5.4 – Şekil 5.6 arasında incelenen polimerlerin sürünme grafikleri verilmiştir. Sürünme grafikleri birinci sürünme, kararlı durum sürünmesi ve üçüncül sürünme bölgelerini içermekte olup sabit yük uygulanmasından dolayı üçüncül sürünme bölgesi daha kısa sürede tamamlanmıştır.



Şekil 5.4. Sürünme deneyi -%0 CF takviyeli pla numuneler dolum (70-100) için zaman içinde gerinim grafiği.



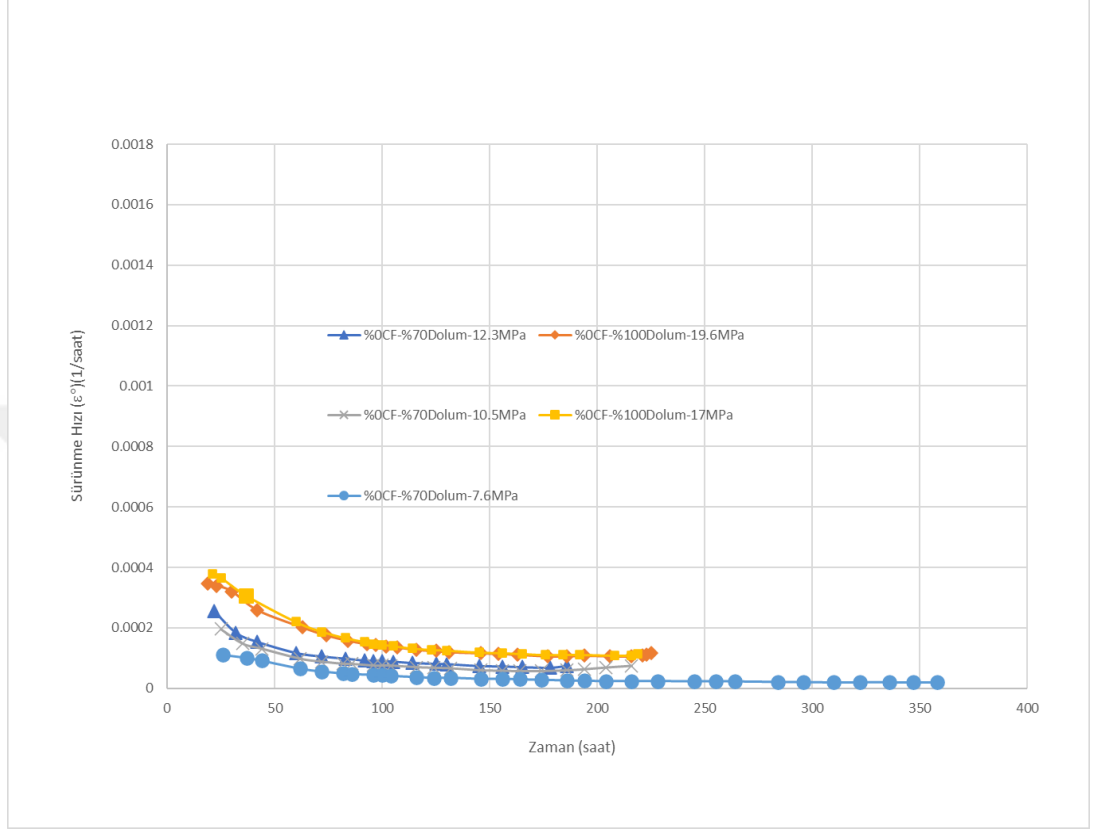
Şekil 5.5. Sürünme deneyi - %15cf numuneler için zaman içinde gerinim grafiği.



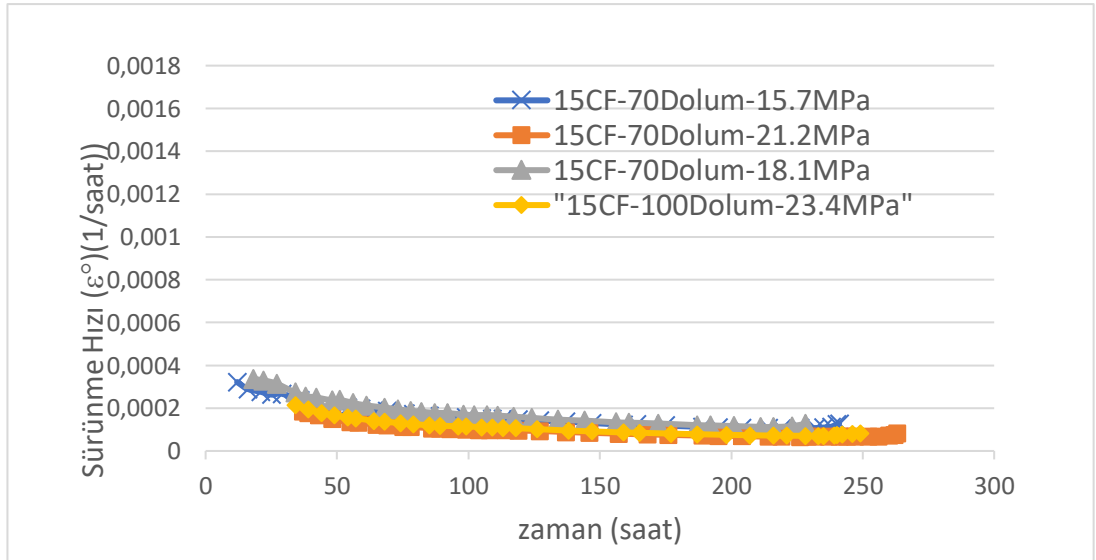
Şekil 5.6. Sürünme deneyi - %20cf numuneler için zaman içinde gerinim grafiği.

“Sürünme Deformasyonu-zaman” grafikleri belirli bir zaman sabit tutulduğunda %0 CF,%15CFve % 20 CF takviyeli polimer kompozitte en yüksek deformasyon %100 Dolumlu polimer gözlenmiştir. Artan uygulanan yük ile birlikte sürünme deformasyona artar[78,79]. Şekil 5.4-Şekil 5.6 arasındaki grafiklerde deformasyon zamana oranlanarak sürünme hızları hesaplanmış ve Şekil 5.7-Şekil 5.9 aralığında “Sürünme hızı-zaman“ grafikleri çizilmiştir. “Sürünme hızı-zaman“ grafiklerinde

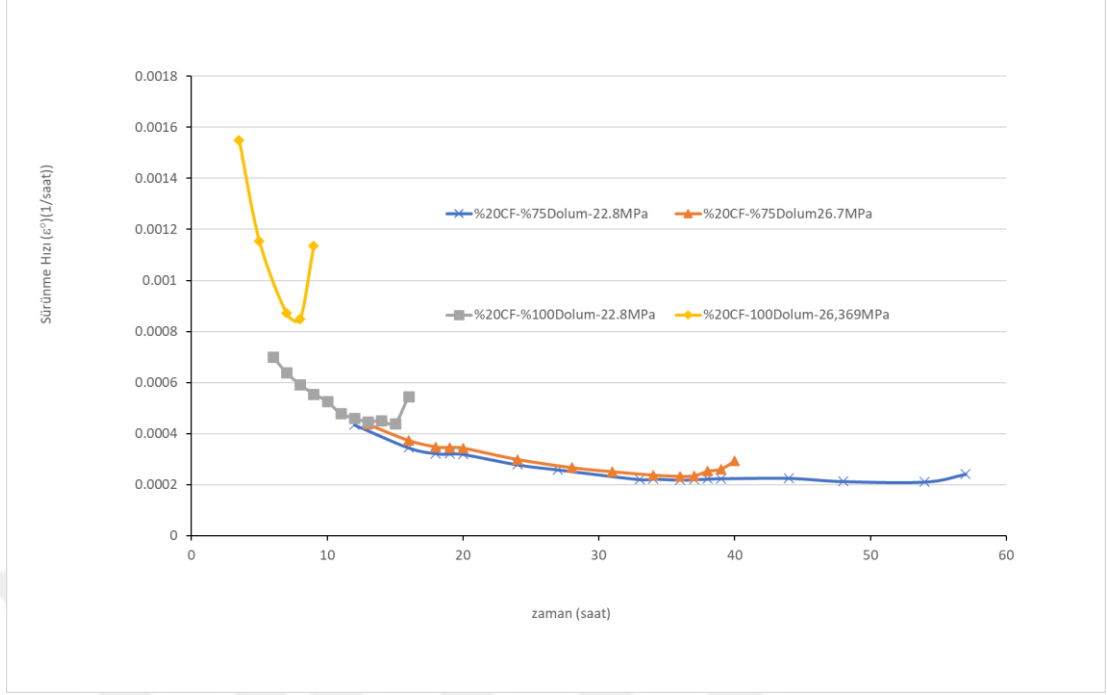
değerlerin hemen hemen sabit olarak değiştiği orta aralıktaki verilerin ortalaması kararl durum sürünme hızını vermektedir.



Şekil 5.7. Sürünme deneyi - %0cf numuneler için zaman içinde hız grafiği.



Şekil 5.8. Sürünme deneyi %15cf numuneler için zaman içinde hız grafiği.



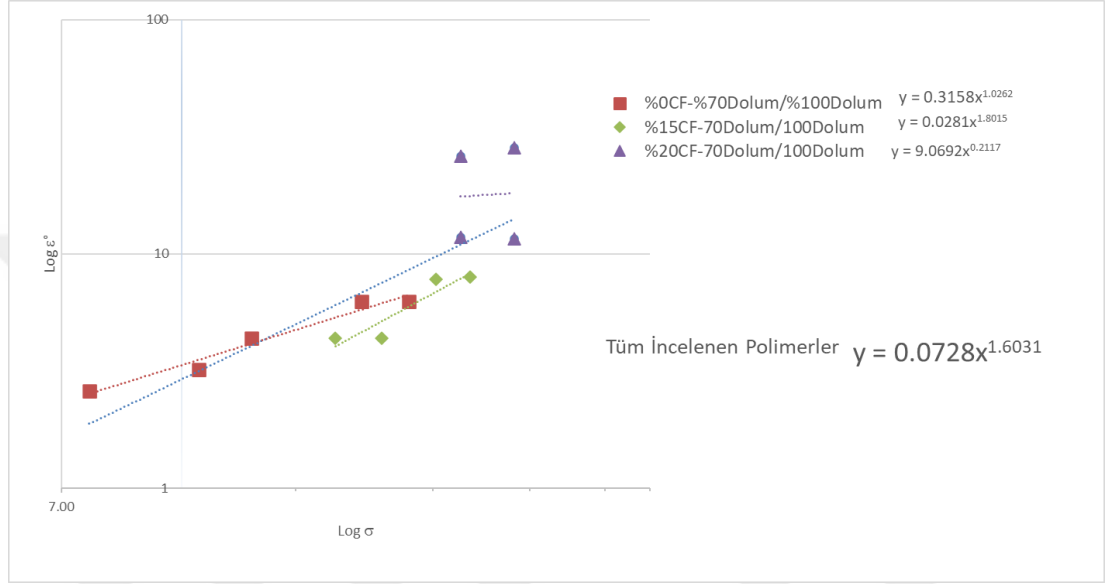
Şekil 5.9. Sürünme deneyi - %20cf numuneler için zaman içinde hız grafiği.

Çizelge 5.3., incelenen polimer kompozitlerin ortalama kararlı durum sürünme hızlarının ortalama değerlerini listelemektedir. Polimerlerin gerilmeye bağımlılığını belirlemek için Çizelge 5.3 teki veriler kullanılarak “log  $\epsilon^\circ$ -log  $\sigma$ ” grafikleri çizilmiştir.

Çizelge 5.3. İncelenen polimer kompozitlerin uygulanan gerilme ile sürünme hızlarının değişimi.

% CF Oranı	Uygulanan Gerilme ( $\sigma$ , MPa)	$\epsilon^\circ$ ( $10^{-5}$ )
%0CF	7.6	2.6
	10,51	3,21
	12,304	4,35
	17,026	6,28
	19,560	6,28
%15CF	15,747	4,35
	18,065	4,37
	21,19	7,79
	23,452	7,96
%20Cf	22,815	11,8
	26,33	11,6
	22,815	26,2
	26,769	28,5

Şekil 5.10 incelenen polimerlerin “log  $\epsilon^\circ$ -log  $\sigma$ ” grafiğini vermektedir. “log  $\epsilon^\circ$ -log  $\sigma$ ” grafiğindeki doğrular  $\epsilon^\circ = B\sigma^n$  denklemini vermekte olup üssel ilişkili sürünme davranışını temsil etmektedir. Burada B ve n` katsayılarının ikisi birden yüksek olması incelenen malzemenin sürünme davranışının uygulanan gerilmeye oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.10. İncelenen polimerlerin “log  $\epsilon^\circ$ -log  $\sigma$ ” grafiği.

Şekil 5.10 incelendiğinde % 0 CF takviyeli polimer matrisli kompozitte B katsayısı 0.32 ve n` katsayı 1.03 olarak (Denklem 5.1) belirlenmiştir. % 0CF takviyeli polimer matrisli kompozitin sürünme eğrisi, akma mukavemetinin düşük olmasından dolayı daha yüksek yüklere uzatılamayacaktır. % 0CF takviyeli polimerlerin üssel ilişkili denklemi ile karşılaştırıldığında % 15CF takviyeli kompozitin üssel ilişkiyi veren Denklem 5.2 de B katsayısı düşerken n` katsayısı artmış olup sırasıyla 0.03 ve 1.8 değerlerini vermektedir. % 15CF takviyeli kompozitin üssel ilişkiyi veren eğrisi düşük ve yüksek yüklere doğru ekstrapole edildiğinde en düşük sürünme hızını vermektedir.

$$\epsilon^\circ = 0.32 \sigma^{1.03} \quad (5.1)$$

$$\epsilon^\circ = 0.028 \sigma^{1.80} \quad (5.2)$$

Şekil 5.10 incelendiğinde en yüksek B katsayısı % 20 CF takviyeli kompozitte meydana geldiğinden sürünme hızı gerilmenin artışıyla artmıştır. Ayrıca takviye oranının yüksek olmasından dolayı polimer matrisin tabakalarında yapışma engellenmiş ve bu durum uygulanan gerilme ile elde edilen sürünme hızı değerlerinde saçılmaya yol açmıştır.

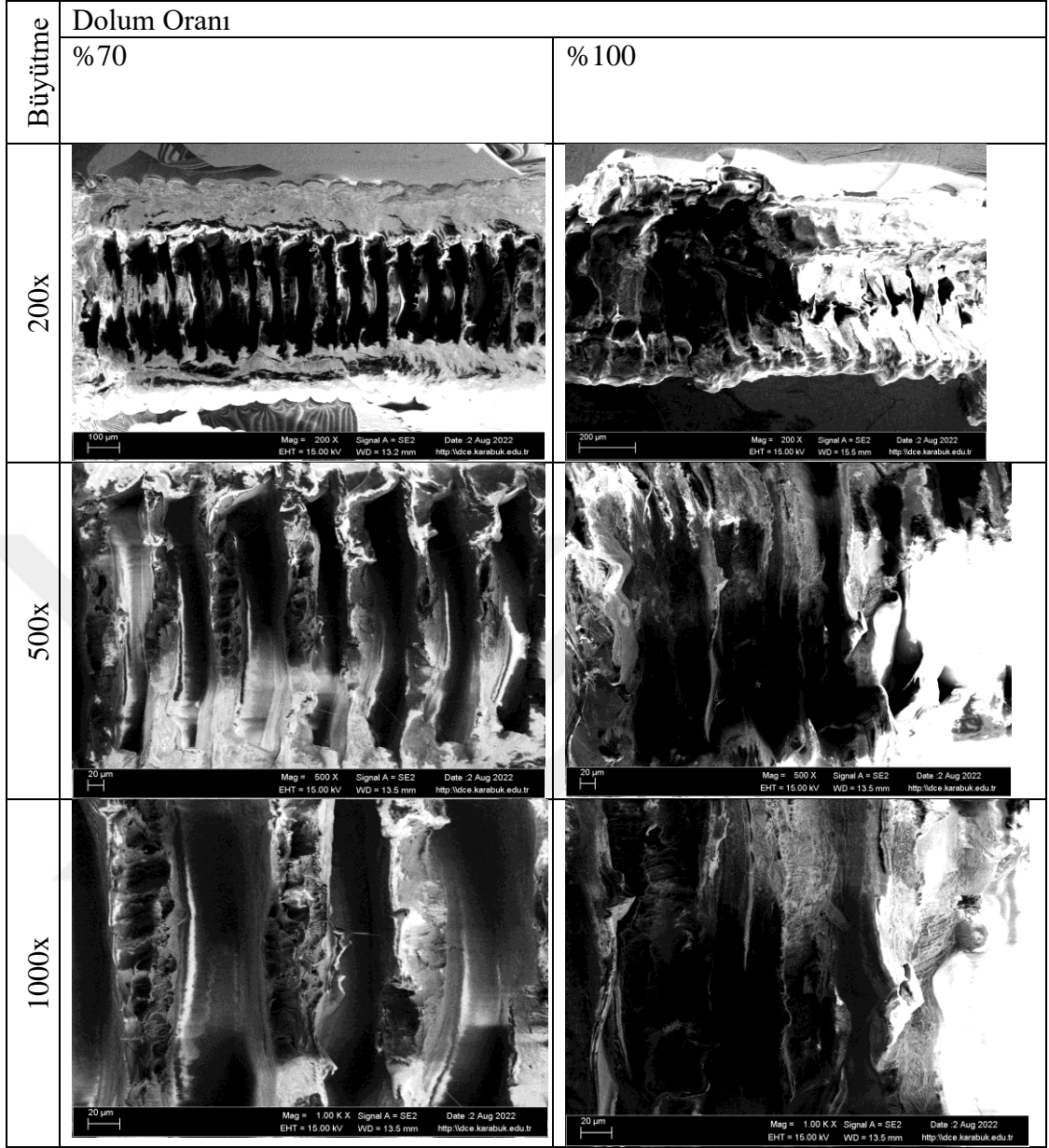
$$\dot{\epsilon} = 9.07 \sigma^{0.21} \quad (5.3)$$

Şekil 5.10. İncelenen tüm polimerlerin “log  $\dot{\epsilon}$ -log  $\sigma$ ” eğrisinin birlikte eğimi alındığında Denklem 5.4 elde edilmiştir. Denklem 5.4, %15CF takviyeli polimerlerin davranışına paralel olmakla birlikte takviyenin daha fazla artırılmasının etkisini göstermemektedir.

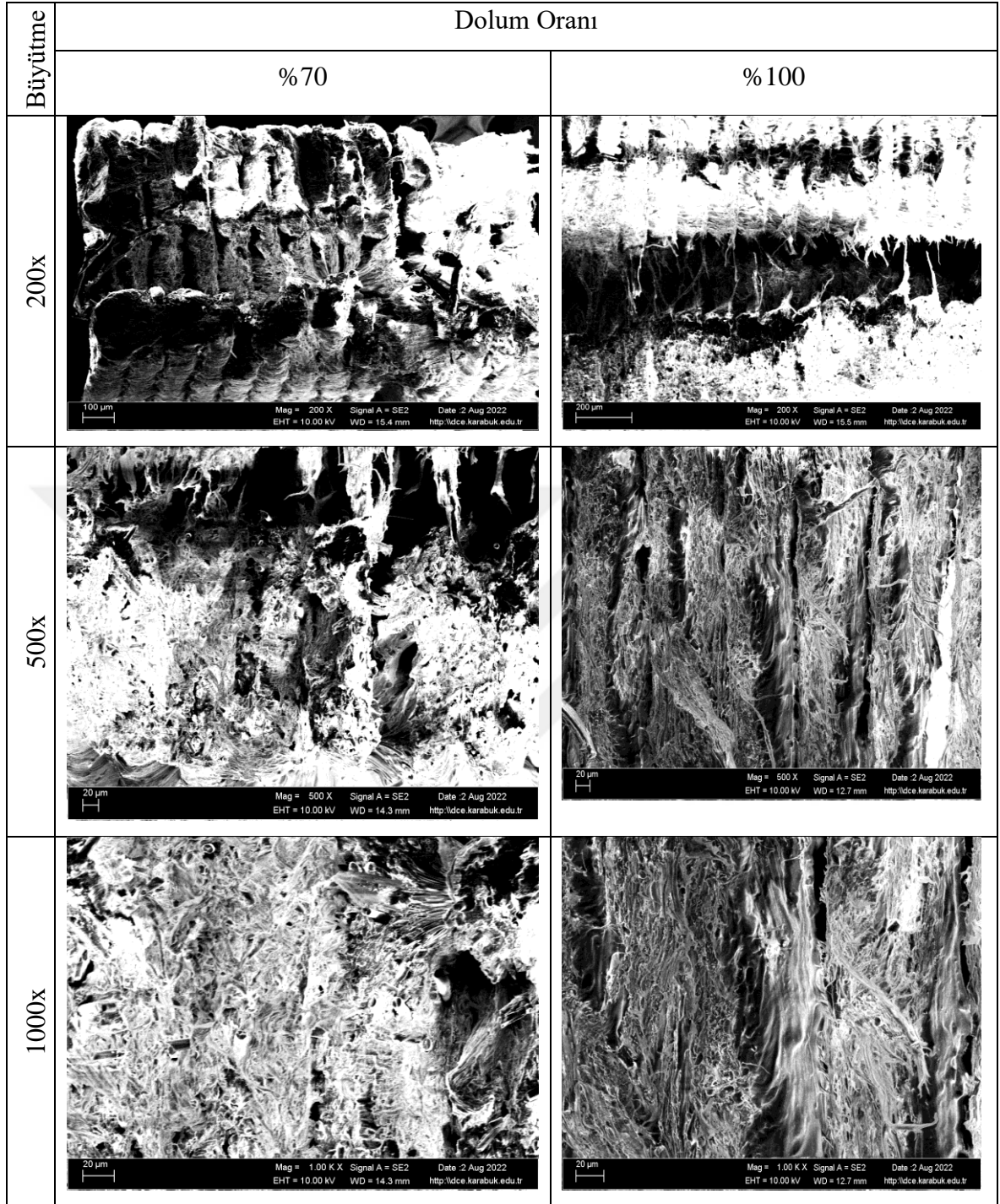
$$\dot{\epsilon} = 0.073 \sigma^{1.60} \quad (5.4)$$

### 5.3. SEM SONUÇLARI

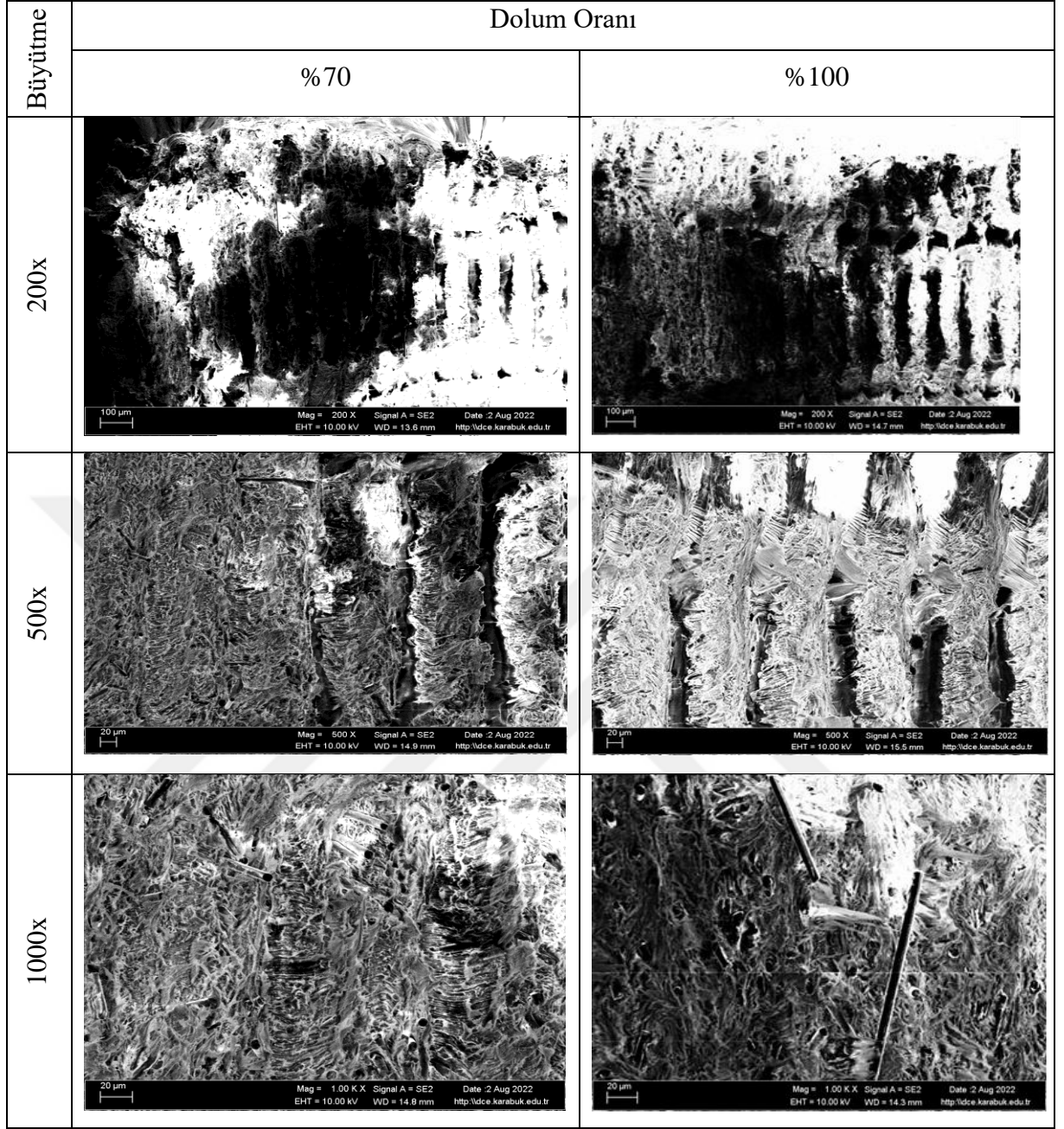
Sürünme testi sonrası kopma mekanizması hakkında bilgi sağlamak için sürünme statik yüklemesi altında PLA ve PLA-parçalanmış karbon fiber kopma numuneleri üzerinde SEM analizi yapılmıştır. SEM görüntüleri Şekil 5.11’de gösterildiği gibidir:



Şekil 5.11. Sürünme testi uygulanan %0 CF takviyeli %70 ve %100 doluluk oranına sahip PLA numunelerin SEM görüntüsü.



Şekil 5.12. Sürünme testi uygulanan %15CF takviyeli, %70 ve %100 doluluk oranına sahip PLA numunelerin SEM görüntüsü.



Şekil 5.13. Sürünme testi uygulanan %20CF takviyeli, %70 ve %100 doluluk oranına sahip PLA numunelerin SEM görüntüsü.

Numuneler arasında karşılaştırma yapıldığında, %20 cf bileşiminde elyaf matrisinin yapışması zayıftı ve tabakalar arasındaki arayüzde derin boşluklar olduğu görülmekte ve bu durum, %15 bileşikte çok daha azdır. Karbon elyaflarının sürünme testi sonrası kırılarak yerinden ayrıldığında geride bıraktığı başka boşluklar olduğu fark edilmektedir. Sonuçlar olarak, daha yüksek oranlarda karbon fiber elyafının tabakalar arasındaki yapışmayı etkilediği bulunmuştur [83,81].

## BÖLÜM 6

### GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, FDM yöntemi kullanılarak 3D baskı ile pla matrisli %0-%20 karbon elyaf takviyeli %70 ve %100 dolumlu hazırlanmış numunelerin çekme ve sürünme test sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- %0 CF takviyeli PLA polimer kompozitin mukavemeti ile karşılaştırıldığında %15 karbon elyafı eklendikten sonra Pla matrisin çekme mukavemeti %35 arttırılmıştır. Daha fazla CF takviyesi (%20CF) mukavemette iyileşme sağlamamıştır.
- İncelenen polimer matrisli kompozitlerde en düşük sürünme hızı %15CF takviyeli polimer kompozitte elde edilmiştir. % 20CF takviyeli kompozitin sürünme hızının artması yüksek CF içeriğinden dolayı Pla matrisin yapışmasının zorlaşmasına dayandırılabilir.
- İncelenen polimer kompozitlerin “üssel ilişkili sürünme” davranışı incelendiğinde % 0 ve %15 CF takviyeli kompozitlerin sürünme hızlarının uygulanan yüke bağımlılığı %20CF takviyeli kompozitlerden daha düşüktür. Bununla birlikte %15 CF takviyeli kompozitin üssel ilişkili sürünme denkleminde B katsayısı diğerlerinden daha düşüktür.
- %0CF takviyeli polimer Numunenin kırılma alanında net uzamaların oluştuğu fark edilir, %15CF takviyeli polimer Numunenide uzamalar daha küçüktür, ancak numunede boşluklar kaydedilmiştir. %20 takviyeli polimer Numunenide uzamalar o kadar küçüktür ki çıplak gözle görmek zordur, numunedeki boşluklar büyüktür ve boşlukların varlığı karbon fiber bulutları tarafından not edilir.

## 6.1. ÖNERİLER

Yüzdeler gibi (%5-%12-%17) malzemenin kullanılabileceği alana daha yakın ve daha fazla sonuç verebilmek için karbon elyafın değişen yüzdelerde olmasını önerir ve buna göre farklı sıcaklıklarda baskı yapılması da önerilir.

Sürünmeyi test ederken, test sırasında değişen sıcaklıkların seçilmesi önerilir.

Sertleştirme sırasında, polimerik malzemeler için en çok kullanılan ve en doğru olanı olduğu için bir shore sertleştirme cihazı önerilir.

Malzemedeki boşlukları gidermek amacıyla 3D baskıda dijital ışık işleme (DLP) veya seçici lazer sinterleme (SLS) yöntemi kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Valvez, S., Santos, P., Parente, J. M., Silva, M. P., & Reis, P. N. B. 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites: A short review. *Procedia Structural Integrity*, 25, 394-399. (2020).
2. DeStefano, V., Khan, S., & Tabada, A. Applications of PLA in modern medicine. *Engineered Regeneration*, 1, 76-87. (2020).
3. Manavitehrani, I., Fathi, A., Wang, Y., Maitz, P. K., Mirmohseni, F., Cheng, T. L., ... & Dehghani, F. Fabrication of a biodegradable implant with tunable characteristics for bone implant applications. *Biomacromolecules*, 18(6), 1736-1746. (2017).
4. P Pawar, R., U Tekale, S., U Shisodia, S., T Totre, J., & J Domb, A. Biomedical applications of poly (lactic acid). *Recent patents on regenerative medicine*, 4(1), 40-51. (2014).
5. Petersen, R. Carbon fiber biocompatibility for implants. *Fibers*, 4(1), 1. (2016).
6. Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Harussani, M. M., Hakimi, M. Y. A. Y., Haziq, M. Z. M., Atikah, M. S. N., ... & Asrofi, M. Polylactic acid (PLA) biocomposite: processing, additive manufacturing and advanced applications. *Polymers*, 13(8), 1326. (2021).
7. Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. *Advanced drug delivery reviews*, 107, 367-392. (2016).
8. Yoruç, A. B. H., & Uğraşkan, V. Yeşil Polimerler ve Uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 318-337 (2017).
9. Şahin Aslan, E. Asetillenmiş pla kil nanokompozitlerinin sentezi ve karakterizasyonu (Master's thesis, *Fen Bilimleri Enstitüsü*). (2020).
10. Örs, S. Farklı Karbon Tekstilleriyle ve Reçinelerle Oluşturulan Karbon Kompozitlerin Karakterizasyonu (Doctoral dissertation, *Fen Bilimleri Enstitüsü*). (2014).
11. Internet: SEZER A., "Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı", [https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/makina\\_d106e.pdf](https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/makina_d106e.pdf) (2021).

12. Cicala, G., Giordano, D., Tosto, C., Filippone, G., Recca, A., & Blanco, I. Polylactide (PLA) filaments a biobased solution for additive manufacturing: Correlating rheology and thermomechanical properties with printing quality. *Materials*, 11(7), 1191. (2018).
13. Avinc, O., & Khoddami, A. Overview of poly (lactic acid)(PLA) fibre: part I: production, properties, performance, environmental impact, and end-use applications of poly (lactic acid) fibres.; 41: 391-401. *Fibre Chem.* (2009).
14. Pang, X., Zhuang, X., Tang, Z., & Chen, X. Polylactic acid (PLA): research, development and industrialization. *Biotechnology Journal*, 5(11), 1125-1136. (2010).
15. Mert, N. Karbon fiber takviyeli polimer plakalarla güçlendirilmiş betonarme kirişlerin doğrusal olmayan analizi. (2007).
16. ÇERÇEVİK, A. E., TOKLU, Y. C., KANDEMİR, S. Y., & YAYLI, M. Ö. 3D BASKI TEKNOLOJİSİ KULLANARAK YAPI ÜRETİMİNİN SON DÖNEM YENİLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(2), 116-122. (2018).
17. Matias, E., & Rao, B. 3D printing: On its historical evolution and the implications for business. In *2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)* (pp. 551-558). IEEE. (2015, August).
18. Savini, A., & Savini, G. G. A short history of 3D printing, a technological revolution just started. In *2015 ICOHTEC/IEEE international history of high-technologies and their socio-cultural contexts conference (HISTELCON)* (pp. 1-8). IEEE. (2015, August).
19. Gokhare, V. G., Raut, D. N., & Shinde, D. K. A review paper on 3D-printing aspects and various processes used in the 3D-printing. *Int. J. Eng. Res. Technol*, 6(06), 953-958. (2017).
20. Paoletti, I., & Ceccon, L. The evolution of 3D printing in AEC: From experimental to consolidated techniques. *3D Printing*, 39-69. (2018).
21. Kökhan, S., & Özcan, U. 3D yazıcıların eğitimde kullanımı. *Bilim Eğitim Sanat ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 80-85. (2018).
22. Şahin, K., & TURAN, B. O. ÜÇ BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116. (2018).
23. Internet: SÖNMEZ S., "3 Boyutlu Yazıcılar ", <https://docplayer.biz.tr/124665379-3-boyutlu-yazicilar-3-dimensional-printers.html> (2018).
24. Hanon, M. M. Introduction to 3D printing technologies: techniques, materials, and applications. (2020).

25. Madhav, C. V., Kesav, R. S. N. H., & Narayan, Y. S. Importance and utilization of 3D printing in various applications. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 24-29. (2016).
26. Sürmen, H. K. EKLEMELİ İMALAT (3B BASKI): TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALAR. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392. (2019).
27. Işıктаş, İ. D. TASARIMDA ve ÜRETİMDE ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİSİNİN SERAMİK ALANINDA KULLANIM OLANAKLARI. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(28), 1193-1206. (2018).
28. Internet: Eren E, " Biyomedikal Uygulamalarında 3d Baskılamanın Yeri ve Önemi", <https://ihtisasakademi.tugva.org/biyomedikal-uygulamalarında-3d-baskılamanın-yeri-ve-onemi/> (2021).
29. Bedir, A., Çırıkka, C., & İsmayilov, E. Çift Başlı Üç Boyutlu Yazıcı İmalatı ile Mekanik Özellikleri ve İyileştirilmiş Kompozit Parça Üretimi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi. Makine Mühendisliği Bölümü. Bitirme Tezi*, 28-32. (2018).
30. CELEN, S. 3d Karbon Elektronik Cihaz Mühendisliği: Dijital Endüstride Rönesans. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(1), 94-101.
31. Sezer, H. K., Oğulcan, E. R. E. N., Börklü, H. R., & Özdemir, V. Karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin ergiyik biriktirme yöntemi ile eklemeli imalatı: fiber oranı ve yazdırma parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 663-674. (2019).
32. Ghebretinsae, F., Mikkelsen, O., & Akessa, A. D. Strength analysis of 3D printed carbon fibre reinforced thermoplastic using experimental and numerical methods. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 700, No. 1, p. 012024). IOP Publishing. (2019, November).
33. Internet: GÜLEÇ C. , " 3 Boyutlu Yazıcılarda Parçacık Fiber Takviyeli Filament İle Yazdırılan Parçaların Yapıştırma Dayanımlarının Belirlenmesi ", [https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/98409/yokAcikBilim\\_10304539.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/98409/yokAcikBilim_10304539.pdf?sequence=-1&isAllowed=y) (2019).
34. Aydemir, B., & Cal, B. Quality of Material Tensile Test. *In Fifth International Quality Conference-IQC, Center for Quality, Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac*. (2011, May).
35. Erdin, M. E. Sünek Olmayan/yüksek Mukavemetli Metal Sacların Isıtılarak Şekillendirilmesi (*Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*). (2004).
36. Internet: <https://dce.karabuk.edu.tr/icerikGoster.aspx?K=S&id=1090&BA=index.aspx>
37. kitap : Davis, J. R. (Ed.). *Tensile testing*. ASM international. (2004).

38. Kumar, M. A., Khan, M. S., & Mishra, S. B. Effect of machine parameters on strength and hardness of FDM printed carbon fiber reinforced PETG thermoplastics. *Materials Today: Proceedings*, 27, 975-983. (2020).
39. kitab : McKenna, H. A., Hearle, J. W., & O'Hear, N. *Handbook of fibre rope technology* (Vol. 34). Woodhead publishing. (2004).
40. Asyraf, M. R. M., Ishak, M. R., Razman, M. R., & Chandrasekar, M. Fundamentals of creep, testing methods and development of test rig for the full-scale crossarm: *A review. Jurnal Teknologi*, 81(4). (2019).
41. Nwoke, O. N., Okokpujie, I. P., & Ekenyem, S. C. Investigation of creep responses of selected engineering materials. *Journal of Science, Engineering Development, Environmen and Technology (JOSEDET)*, 7(1), 1-15. (2017).
42. Yakop, L. B. J. *Creep Testing on Material* (Doctoral dissertation, *Universiti Malaysia Sarawak*). (2004).
43. Camin, B., & Gille, M. The Effect of Specimen Size and Test Procedure on the Creep Behavior of ME21 Magnesium Alloy. *Crystals*, 11(8), 918. (2021).
44. Larsson, J. Evaluation of current methods for creep analysis and impression creep testing of power plant steels. *Digitala Vetenskapliga Arkivet*. (2012).
45. Nutini, M., & Vitali, M. Creep modelling of Polyolefins using artificial neural networks. *In Abaqus Users' Conference, Newport, Rhode Island, USA*. (2008).
46. kitab :Pürçek, G. Metalik Malzemelere Uygulanan Mekanik Deneyler Ders Notları. (2007).
47. Murugan, S. S. Mechanical properties of materials: definition, testing and application. *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering (IJMSME)*, 6(2), 28-38. (2020).
48. Ennos, A. R. The importance of torsion in the design of insect wings. *Journal of experimental Biology*, 140(1), 137-160. (1988).
49. Bocher, L., Delobelle, P., Robinet, P., & Feaugas, X. Mechanical and microstructural investigations of an austenitic stainless steel under non-proportional loadings in tension-torsion-internal and external pressure. *International Journal of Plasticity*, 17(11), 1491-1530. (2001).
50. Dessi, C., Tsibidis, G. D., Vlassopoulos, D., De Corato, M., Trofa, M., D'Avino, G., ... & Coppola, S. Analysis of dynamic mechanical response in torsion. *Journal of Rheology*, 60(2), 275-287. (2016).
51. Burnett, P. J., & Rickerby, D. S. The mechanical properties of wear-resistant coatings: I: Modelling of hardness behaviour. *Thin Solid Films*, 148(1), 41-50. (1987).

52. Zhang, P., Li, S. X., & Zhang, Z. F. General relationship between strength and hardness. *Materials Science and Engineering: A*, 529, 62-73. (2011).
53. Clinton, D. J., & Morrell, R. Hardness testing of ceramic materials. *Materials chemistry and physics*, 17(5), 461-473, (1987).
54. Buocz, I. Direct shear strength test; Analysis of the test influencing parameters.
55. Peirs, J., Verleysen, P., & Degrieck, J. Novel technique for static and dynamic shear testing of Ti6Al4V sheet. *Experimental mechanics*, 52(7), 729-741. (2012).
56. Hashim, A. S., & Ong, S. K. Application of epoxidized natural rubber (NR) in pressure sensitive adhesives (PSAs). *In Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber* (pp. 353-370). Woodhead Publishing. (2014).
57. Internet: " Impact Testing ", <https://web.itu.edu.tr/~arana/charpyfatigue.pdf>
58. Internet: " ME 212 Laboratory Experiment #4", <http://web1.boun.edu.tr/ercanbalikci/impact.pdf>
59. Internet: " Experiment: Mechanical Testing- Impact & Hardness Testing", [https://imechanica.org/files/handout2\\_0.pdf](https://imechanica.org/files/handout2_0.pdf)
60. Internet: PRABHU V., " Compression Test Experiment 2", [https://www.academia.edu/40210494/Compression\\_Test\\_Experiment\\_2](https://www.academia.edu/40210494/Compression_Test_Experiment_2)
61. Khlystov, N., Lizardo, D., Matsushita, K., & Zheng, J. Uniaxial tension and compression testing of materials. *Lab report*. (2013).
62. Internet: HASAN L." Compression Test", [https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5\\_2020\\_12\\_26!12\\_51\\_24\\_PM.pdf](https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2020_12_26!12_51_24_PM.pdf) (2020)
63. Internet: "Tension and Compression Testing", <https://www.mee-inc.com/hamm/tension-and-compression-testing/> (2014)
64. Internet: " What is Compression Testing? The Theory and Applications", <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5550> (2010)
65. Internet: ÇARBOĞA C., "Kitap Laboratuvari-I Dersi", <https://dosyalar.nevsehir.edu.tr/0c7853f74903af02336d7406eb341dad/2014-2015-malzeme-laboratuvari-deney-foyu.pdf> (2014)
66. Internet: "Çekme Deneyi", <https://www.coursehero.com/file/124164341/%C3%87EKME-DENEY%C4%B0-Hpdf/> (2021)
67. kitap : metals handbook - desk edition ,sayfa 2119

68. kitap : Kutz, M. Handbook of Materials Selection. John Wiley&Sons. *Inc., New York*. (2002).
69. Davis, H. E., Troxell, G. E., & Hauck, G. F. The testing of engineering materials. *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine* (1982).
70. Doyle, L. E., & Keyser, C. Manufacturing processes and materials for engineers. *Prentice-Hall Inc.*, 1985, 926. (1985).
71. Bharadwaj, P. Niu, H, & Ngo, N. , Scanning Electron Microscopy (SEM). (2017).
72. Mohammed, A., & Abdullah, A. Scanning electron microscopy (SEM): **A review. In Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania** (pp. 7-9). (2018, November).
73. Li, G., Zhao, M., Xu, F., Yang, B., Li, X., Meng, X., ... & Li, Y. Synthesis and biological application of polylactic acid. *Molecules*, 25(21), 5023. (2020).
74. ÖZTÜRK, F. H., ÖZ, Ö., AYDIN, M., KILIÇ, E., İSAK, S. O., & BEKTAŞ, U. SÜREKLİ FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ VE YAZDIRILMASI: *4th International Congress on 3d Printing (additive manufacturing) Technologies and Digital Industry*. (2019)
75. Plackett, D. Maleated polylactide as an interfacial compatibilizer in biocomposites. *Journal of Polymers and the Environment*, 12(3), 131-138. (2004).
76. Gavali, V. C., Kubade, P. R., & Kulkarni, H. B. Mechanical and thermo-mechanical properties of carbon fiber reinforced thermoplastic composite fabricated using fused deposition modeling method. *Materials Today: Proceedings*, 22, 1786-1795. (2020).
77. Maqsood, N., & Rimašauskas, M. Characterization of carbon fiber reinforced PLA composites manufactured by fused deposition modeling. *Composites Part C: Open Access*, 4, 100112. (2021).
78. Zhang, H., Cai, L., Golub, M., Zhang, Y., Yang, X., Schlarman, K., & Zhang, J. Tensile, creep, and fatigue behaviors of 3D-printed acrylonitrile butadiene styrene. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(1), 57-62. (2018).
79. Tezel, T., Kovan, V., & Topal, E. S. Effects of the printing parameters on short-term creep behaviors of three-dimensional printed polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(21), 47564. (2019).
80. Yao, T., Ye, J., Deng, Z., Zhang, K., Ma, Y., & Ouyang, H. Tensile failure strength and separation angle of FDM 3D printing PLA material: Experimental and theoretical analyses. *Composites Part B: Engineering*, 188, 107894. (2020).
81. Morreale, M., Mistretta, M. C., & Fiore, V. Creep behavior of poly (lactic acid) based biocomposites. *Materials*, 10(4), 395. (2017).

82. Reis, P. N. B., Valvez, S., & Ferreira, J. A. M. Creep and stress relaxation behaviour of 3D printed nanocomposites. *Procedia Structural Integrity*, 37, 934-940. (2022).
83. Wang, S., Li, Y., Xiang, H., Zhou, Z., Chang, T., & Zhu, M. Low-cost carbon fibers from bio-renewable lignin/poly (lactic acid)(PLA) blends. *Composites Science and Technology*, 119, 20-25. (2015).



## ÖZGEÇMİŞ

Abdullah yıldız ilkokulu 2006 yılında suriye de İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Lise eğitimini 2012 yılında halap mazen dabak Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimine 2013 yılında halap Üniversitesi makine Mühendislik Fakültesi endüstri Mühendisliği Bölümü'nde başladı ,Savaş nedeniyle üç yıl okuduktan sonra üniversiteyi bırakıp Türkiye'ye yerleşti.2017 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde başladı ve 2020 yılında lisans tamamladı .Yüksek Lisans eğitimini Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda “*3D baskılı karbon fiber takviyeli pla numunelerinin sürünme davranışının incelenmesi Araştırmanın*” adlı tezini savunarak tamamladı