

**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ORTAÖĞRETİM FEN VE MATEMATİK ALANLARI EĞİTİMİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**FİZİK EĞİTİMİ BİLİM DALI**

**ULTRASONİK YÖNTEMLE BELİRLENEN**  
**MALZEME SABİTLERİNİN**  
**MEKANİK DENEYLERLE DOĞRULANMASI**

**Mehmet KARABULUT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Hatice GÜZEL**

**Konya–2019**

**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ORTAÖĞRETİM FEN VE MATEMATİK ALANLARI EĞİTİMİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**FİZİK EĞİTİMİ BİLİM DALI**

**ULTRASONİK YÖNTEMLE BELİRLENEN**  
**MALZEME SABİTLERİNİN**  
**MEKANİK DENEYLERLE DOĞRULANMASI**

**Mehmet KARABULUT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Hatice GÜZEL**

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi B.A.P. tarafından 10201108 nolu YL tez projesi olarak desteklenmiştir.

**Konya-2019**



T.C.  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



**BİLİMSEL ETİK SAYFASI**

Öğrencinin	Adı Soyadı	Mehmet KARABULUT
	Numarası	088307051008
	Ana Bilim Dalı	Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanlar Eğitimi
	Bilim Dalı	Fizik Eğitimi
	Programı	Tezli Yüksek Lisans
	Tezin Adı	Ultrasonik Yöntemle Belirlenen Malzeme Sabitlerinin Mekanik Deneylerle Doğrulanması

Bu tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini, tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıf yapıldığını bildiririm.

  
27/06/2019

**Mehmet KARABULUT**



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



YÜKSEK LİSANS TEZİ KABUL FORMU

Öğrencinin	Adı Soyadı	Mehmet KARABULUT
	Numarası	088307051008
	Ana Bilim Dalı	Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanlar Eğitimi
	Bilim Dalı	Fizik Eğitimi
	Programı	Tezli Yüksek Lisans
	Tez Danışmanı	Prof. Dr. Hatice GÜZEL
	Tezin Adı	Ultrasonik Yöntemle Belirlenen Malzeme Sabitlerinin Mekanik Deneylerle Doğrulanması

Yukarıda adı geçen öğrenci tarafından hazırlanan “Ultrasonik Yöntemle Belirlenen Malzeme Sabitlerinin Mekanik Deneylerle Doğrulanması” başlıklı bu çalışma 27/06/2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunarak, jürimiz tarafından yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	Ünvanı Adı Soyadı	İmza
Danışman	Prof. Dr. Hatice GÜZEL	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Mesut UYANER	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Aslı KARAKAŞ	

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanmasında her türlü desteği esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Hatice Güzel'e minnet ve Őukranlarımı sunarım.

Numunelerin hazırlanmasında ve deneylerin yapılması ve yorumlanmasında bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Mesut UYANER'e, Doç. Dr. İmran ORAL'a, İzoreel firması çalıőanlarına, deneylerin yapılmasında yardımcı olan Ar. Gör. Gökhan ARICI'ya yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalıőmalarım süresince büyük bir sabırla bana destek olan, eőim Hülya ve ocuklarım Ufukhan, Berensu ve Alya'ya sonsuz teşekkür ederim.



**T. C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü**



Öğrencinin	Adı Soyadı	Mehmet KARABULUT
	Numarası	088307051008
	Ana Bilim / Bilim Dalı	Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanlar Eğitimi / Fizik Eğitimi
	Programı	Tezli Yüksek Lisans
	Tez Danışmanı	Prof. Dr. Hatice GÜZEL
	Tezin Adı	Ultrasonik Yöntemle Belirlenen Malzeme Sabitlerinin Mekanik Deneylerle Doğrulanması

### ÖZET

Bu araştırma, E-cam/epoksi ve Karbon/epoksiden oluşan ortotropik kompozit plakalarda Young modülleri ve Poisson oranlarının çekme testi ile ölçülmesi amacıyla yapılmıştır. Çekme testi ile elde edilen esneklik katsayıları aynı malzemelerde ultrasonik yöntemle elde edilen esneklik katsayıları ile karşılaştırılmıştır.

Araştırma 2015-2016 Öğretim yılında yapılmıştır. E-cam/epoksi ve Karbon/epoksi kompozit malzemeleri özel bir firmaya standartlara uygun olarak ürettirilmiştir.

Tahribatlı yöntem olan çekme testi yöntemi ve tahribatsız yöntem olan ultrasonik yöntem ile elde edilen Young modülü ve Poisson oranı değerleri birbiriyle uyumaktadır. Çekme testi yöntemi ultrasonik yöntemle göre daha zor ve karmaşık çalışmalar gerektirmektedir. En önemlisi çekme testi sonunda plakalar zarar görmektedir. Bu nedenle ultrasonik yöntemin tahribatlı yöntemle göre daha avantajlı ve ucuz bir yöntem olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Esneklik sabitleri, kompozit malzemeler, ortotropik malzemeler, Poisson oranı, Young modülü, çekme deneyi



**T. C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü**



Öğrencinin	Name Surname	Mehmet KARABULUT
	Number	088307051008
	Department	Secondary Science and Mathematics Education
	Discipline	Physics Education
	Program	Master of Science
	Supervisor	Prof. Dr. Hatice GÜZEL
	Thesis Title	The Verification Of Ultrasonically Determined Material Constants By Mechanical Experiments

### SUMMARY

The aim of this study is to measure Young's modulus and Poisson ratios of orthotropic composite plates consisting of E-glass / Epoxy and Carbon / Epoxy by tensile test. Elasticity coefficients of the same materials obtained by tensile test are compared with elasticity coefficients obtained by ultrasonic method.

The research was conducted in 2015-2016 academic year. E-glass / epoxy and Carbon / Epoxy composite materials are manufactured in the standards to a private company.

The results obtained by the method of tensile testing which is destructive method and ultrasonic method which is non - destructive method is in agreement. The tensile test method requires more difficult and complex studies than the ultrasonic method. Most importantly, the plates are damaged after the tensile test. Therefore, it can be said that ultrasonic method is a more advantageous and cheaper than destructive method.

**Key Words:** Elastic constants, composite materials, orthotropic material, Poisson's ratio, Young's modulus, tensile experiment

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<u>Sayfa No</u>
Bilimsel Etik Sayfası .....	ii
Tez Kabul Formu .....	iii
Önsöz / Teşekkür .....	iv
Özet .....	v
Summary .....	vi
Kısaltmalar ve Simgeler Sayfası .....	viii
Tablolar Listesi .....	x
Şekiller Listesi .....	xi
<b>BÖLÜM 1 - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Problem Durumu .....	1
1.2. Araştırmanın Amacı.....	2
1.3. Araştırmanın Önemi .....	2
1.4. Varsayımlar .....	2
1.5. Sınırlılıklar.....	2
1.6. Tanımlar.....	3
<b>BÖLÜM 2 - KURAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR.....</b>	<b>5</b>
2.1. Kompozit Malzemeler .....	5
2.1.1. Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları (Fiberler) .....	7
2.1.1.1. Cam Fiberler .....	8
2.1.1.2. Karbon Fiberler .....	11
2.1.1.3. Kevlar49 Fiberleri.....	12
2.1.1.4. Seramik Fiberler .....	12
2.1.1.5. Bor Fiberler .....	12
2.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları .....	12
2.3. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları.....	13
2.4. Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	13
2.4.1. Zor (Gerilim-Stress) .....	15
2.4.2. Zorlanma-Deformasyon (Gerinim-Strain) .....	15
2.4.3. Esneklik Modülleri.....	15
2.4.3.1. Esneklik (Young) Modülü .....	16
2.4.3.2. Enine Modül (Kesme/Kayma Modülü) .....	17
2.4.3.3. Bulk (Hacim) Modülü.....	19
2.4.4. Poisson Oranı .....	19
2.5. Çekme Testi.....	21
2.6. Tahribatsız Kalite Kontrolü (Ultrasonik Yöntem).....	22
2.7. İlgili Çalışmalar .....	23
<b>BÖLÜM 3 - YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Mekanik Özellikleri .....	26
3.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	27
3.3. Deneyin Yapılması .....	28
<b>BÖLÜM 4 - BULGULAR .....</b>	<b>31</b>
<b>BÖLÜM 5 – SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>41</b>
<b>Kaynakça.....</b>	<b>45</b>
<b>Özgeçmiş.....</b>	<b>48</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\sigma_a$	: Akma Gerilmesi (Mpa)
$p$	: Basınç
$\varepsilon$	: Birim Şekil Değiştirme Gerinme (strain), Zorlanma, Deformasyon,
$B$	: Bulk (Hacim) Modülü
$\sigma_{\zeta}$	: Çekme Gerilmesi (MPa)
$\varepsilon_{11}$	: Eksenel Olarak Şekil Değişimi
$E$	: Esneklik (Young) Modülü
$E_1$	: Fiber Yönündeki Esneklik Modülü (MPa)
$E_2$	: Fibere Dik Yöndeki Esneklik Modülü (MPa)
$\Delta P$	: Hacim Zoru
$\Delta V$	: Hacimdeki Değişim
$A_0$	: İlk Kesit Alanı
$L_0$	: İlk Uzunluk
$t$	: Kalınlık
$G$	: Kayma (Kesme) Modülü
$G_{12}$	: Kayma Modülü (MPa)
$S_{12}$	: Kayma Mukavemeti (MPa)
$A$	: Kesit Alanı
$\gamma$	: Kesme Zorlaması
$\tau$	: Kesme(kayma) zoru
$\sigma_K$	: Kopma Gerilmesi (MPa)
$F$	: Kuvvet
$\nu_{12}$	: Poisson Oranı
$^{\circ}C$	: Santigrat Derece
$K$	: Sıkışmazlık (Bulk) Modülü Sabiti
$f_s$	: Sürtünme Kuvveti
$\Delta L$	: Uzunluk Değişimi

$\epsilon_{22}$	: Yanal Olarak Şekil Değimi
$\Delta x$	: Yer değiştirme
$\rho$	: Yoğunluk
P	: Yük (N)
h	: Yükseklik
$\sigma$	: Zor, Gerilme (Stress)

### **Kısaltmalar**

ASTM D3039 : Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
GPa	: Gigapascal
gr	: Gram
kg	: Kilogram
kg/cm <sup>2</sup>	: Kilogram/santimetre kare
MPa	: Megapascal
N/m <sup>2</sup>	: Newton/metre kare
Pa	: Pascal
s	: Saniye
vb.	: ve benzerleri
ve diğ.	: ve diğerleri

## TABLULAR LİSTESİ

## Sayfa No

<b>Tablo 1:</b> Bazı Cam Elyafların Mekanik Özellikleri .....	8
<b>Tablo 2:</b> Kompozitlerin Üretilmesinde Kullanılan Epoksi Reçine ve Elyafalara Ait Özellikler .....	27
<b>Tablo 3:</b> Kompozit Malzemelerin Yoğunluk ( $\rho$ ) Değerleri .....	27
<b>Tablo 4:</b> E-cam/Epoksiye Çekme Testinde Uygulanan Kuvvet ve Birim Uzamaları ....	32
<b>Tablo 5:</b> Karbon/Epoksiye Çekme Testinde Uygulanan Kuvvet ve Birim Uzamaları ...	33
<b>Tablo 6:</b> E-cam/Epoksi Elyaf Doğrultusunda ( $0^0$ ) Çekme Deneyi Verileri.....	34
<b>Tablo 7:</b> Karbon/Epoksi Elyaf Doğrultusunda ( $0^0$ ) Çekme Deney Verileri .....	35
<b>Tablo 8:</b> E-cam/Epoksi Elyaf Doğrultusuna Dik ( $90^0$ ) Çekme Deneyi Verileri.....	36
<b>Tablo 9:</b> Karbon/Epoksi Elyaf Doğrultusuna Dik ( $90^0$ ) Çekme Deneyi Verileri .....	37
<b>Tablo 10:</b> Malzemelerin Poisson Oranı Değerleri .....	38
<b>Tablo 11:</b> Malzemelerin Deneylerle Ölçülen ve Hesaplanan Mekanik Özellikleri .....	38
<b>Tablo 12:</b> E-cam/Epoksi ve Karbon/Epoksi Kompozit için x ve y Eksenlerinde Hesaplanan Ortalama Esneklik Modülü ( $E_1$ ve $E_2$ ) Değerleri .....	38
<b>Tablo 13:</b> Çekme Deneyi ve Ultrasonik Yöntem Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	39
<b>Tablo 14:</b> Çekme Deneyi ve Daha Önce Yapılmış Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	40

**ŞEKİLLER LİSTESİ**Sayfa No

<b>Şekil- 1:</b> F Kuvveti Etkisiyle $\Delta L$ Kadar Şekil Değiştiren Çubuk.....	16
<b>Şekil- 2:</b> Esnek Malzemede Zor( $\sigma$ ) / Zorlanma ( $\epsilon$ ) Değişim Grafiği .....	17
<b>Şekil- 3:</b> Bir Yüzü Sabitlenmiş Diğer Yüzüne Teğet F Kuvvetinin Etkisiyle Blokta Oluşan Kayma Gerilmesi.....	18
<b>Şekil- 4:</b> Standartlarda Hazırlanmış Çekme Deneyi Malzemeleri .....	21
<b>Şekil- 5:</b> Çekme Testi Cihazı.....	28
<b>Şekil- 6:</b> Çekme Testini Kaydeden Bilgisayar Ve Program.....	28
<b>Şekil- 7:</b> Çekme Testi Düzenegi.....	29
<b>Şekil- 8:</b> Numune Boyutları (mm olarak verilmiştir).....	29
<b>Şekil- 9:</b> Çekme Deneyi İçin Uçları Güçlendirilmiş Malzeme .....	30
<b>Şekil- 10:</b> Numunenin Denei Cihazına Bağlanması.....	30
<b>Şekil- 11:</b> Tek Numuneye Ait Kuvvet-Uzama Grafiği .....	31
<b>Şekil- 12:</b> Tek Numuneye Ait Young Modülü Grafiği .....	31
<b>Şekil- 13:</b> Malzemelerin x ve y Doğrultularındaki Esneklik Modülleri Grafiği .....	39

## BÖLÜM 1

### 1. GİRİŞ

#### 1.1. Problem Durumu

Tarih boyunca insanlar yaşamlarını devam ettirmek ve daha iyi yaşam standartlarına sahip olmak için malzemelere ihtiyaç duymuştur. Hâlihazırda kullanılan malzemeler teknolojiye zamanla yenik düşmüş daha üstün özellikleri olan malzemelerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Özellikle uzay araştırmalarının başlamasından sonra havacılık sektöründe de sıklıkla kullanılmaya başlanan kompozit malzemeler bu konuda en iyi alternatif olmuştur.

En az iki farklı maddenin birbiri içinde çözünmeyecek şekilde makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilen yeni malzemeler kompozit malzemelerdir. Bunun amacı ise bileşenlerin tek başına barındırmadıkları esneklik, dayanım ve hafiflik gibi özelliklerin kazandırılması ve geliştirilmesidir (Zor, 2018).

Geliştirilen bu kompozit malzemeler mekanik deneylerle test edilip Çekme Dayanımı, Kopma Dayanımı, Young Modülü bulunarak daha verimli ve etkin bir şekilde kullanılabilir.

Çekme testi süreci zorlu deneyler yapmayı gerektirdiğinden ve test edilen malzemelerin bir daha kullanılmamasından kaynaklı daha kolay ve tahribatsız bir yöntem olan ultrasonik yöntemle malzemelerin test edilmesi tercih edilebilir. Bunun için ultrasonik yöntemle test edilen malzemelerin mekanik özelliklerinin çekme testiyle doğrulanması gerekmektedir.

## 1.2. Araştırmanın Amacı

E-cam/epoksi ve Karbon/epoksi kompozitlerin esneklik katsayılarının çekme testiyle bulunması ve aynı malzemelerin ultrasonik yöntemle elde edilen esneklik katsayı sonuçları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 1.3. Araştırmanın Önemi

Mekanik testlerde malzemelerin zarar görmesi ve bir daha kullanılamaması sebebiyle araştırmacıları malzemeleri tahribatsız muayene yöntemleriyle test edilmesini araştırmaya ve bulmaya sevk etmiştir. Bu konuda en iyi alternatif yollardan birisi de ultrases yöntemleriyle malzemelerin mekanik özelliklerinin tespitidir.

İnşaat sektöründe betonun test edilmesinde sıklıkla kullanılan ultrases yönteminin kompozit malzemeler için de kullanılabileceği fikri üzerine daha önce yapılan Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Esneklik Katsayılarının Ultrasonik Ölçümü adlı yüksek lisans tezi çalışmasında ürettirilen kompozitlerin esneklik katsayıları ultrasonik yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir (İşler, 2015).

Esneklik katsayılarının bulunmasında çekme testi daha fazla tercih edilmektedir. Çekme testi, malzemelerin esneklik sabitlerinin hesaplanması ve mekanik davranışlarının sınıflandırmasında kullanılmaktadır. Çekme testiyle bulunan sonuçlar direkt mühendislik hesaplamalarında kullanılmaktadır. Bundan dolayı çekme testi mühendislik hesaplamalarında en fazla tercih edilen fakat test edilen malzemeye hasar veren test tekniklerindedir.

## 1.4. Varsayımlar

- Deney için üretilen malzemelerin düzgün üretildiği varsayılmıştır.
- Çekme testi için kullanılan cihazın değerleri hatasız ölçtüğü varsayılmıştır.

## 1.5. Sınırlılıklar

- E-cam/epoksi ve karbon/epoksi kompozit malzemeleri ile sınırlı tutulmuştur.
- Deneyde kullanılan cihazın özellikleriyle sınırlı tutulmuştur.

## 1.6. Tanımlar

Çekme deneyi ile ilgili bazı tanımlar aşağıda verilmiştir.

**Gerilme,  $\sigma$ :** Birim alana etkiyen kuvvettir. Aşağıda yer alan eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1.1)$$

**Birim Sekil Değiştirme,  $\varepsilon$ :** Numuneye yük etki ettikten sonra boyundaki değişiminin ilk boyuna oranlanması olarak tanımlanmaktadır.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1.2)$$

**Young Modülü, E:** Malzemeye ait bir dayanıklılık göstergesidir. Malzemenin birim uzamasıyla normal gerilme arasındaki doğru orantının bir sonucudur. Birim uzamaya düşen gerilim olarak da ifade edilebilir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1.3)$$

Young modülü her malzemeye özgü bir kavramdır.

**Akma Dayanımı,  $\sigma_a$ :** Çekme kuvveti hemen hemen sabit olmasına rağmen plastik şekil değişiminin büyük oranda artmış olduğu ve çekme diyagramının düzgün olmadığı kısma denk gelen gerilme değerine akma dayanımı denir.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0} \quad (1.4)$$

**Çekme Dayanımı,  $\sigma_c$ :** Malzemenin kopma ve kırılma gerçekleşene kadar dayanacağı en büyük çekme gerilmesine çekme dayanımı denir. Bu değer, çekme

grafindeki en büyük gerilmeye karşılık gelir. Denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (1.5)$$

**Kopma Gerilmesi,  $\sigma_K$ :** Deney numunesinin koptuğundaki gerilme olarak ifade edilir.

$$\sigma_K = \frac{P_k}{A_0} \quad (1.6)$$

**Poisson Oranı,  $\nu$ :** Çekme deneyinde boyu uzamış olan çubukta eninde bir daralma oluşmaktadır. Poisson oranı aşağıda formülüne edildiği üzere eninde olan uzama miktarının boyunda oluşan uzama miktarına oranlanması olarak ifade edilir:

Poisson Oranı( $\nu_{12}$ ) = Yanal olarak şeklin değişimi / Eksenel olarak şeklin değişimi

$$\nu_{12} = - (\epsilon_{22} / \epsilon_{11} ) \quad (1.7)$$

## BÖLÜM 2

### 2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Malzemeler, günlük hayatımızda kullandığımız neredeyse her şeyin temel bileşenleridir. Tabii olarak oluşmuş ya da yapay olarak üretilmiş malzemeler, her türlü sektörde, örneğin; uzay, havacılık, bilgisayar, elektronik, otomotiv, kimya, biyomedikal, gıda vb. üretiminde kullanılmaktadır. Malzemeler beş ana gruba ayrılabilir (Çolak, 2004).

- Kompozitler
- Polimerler
- Seramikler
- Metaller
- Elektronik ve Fotonik Malzemeler

Bu çalışmanın konusu olan kompozit malzemeler hakkında daha fazla bilgi vermek faydalı olacaktır.

#### 2.1. Kompozit Malzemeler

En az iki inorganik veya organik bileşenin fiziksel olarak bir araya getirilmesiyle oluşturulan farklı malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya getirmek veya yeni bir özelliğini ortaya çıkarmak amacıyla oluşturulan yeni malzemelere **kompozit malzeme** adı verilir (Kaya ve Kılınç, 2008).

Kompozit malzemeler elyaf ve matris denilen iki temel bileşenden oluşmaktadır. Matris temel malzeme olarak kullanılmakta elyaf ise malzemelerin dayanıklılığını ve yük taşıma yeteneğini belirlemektedir. Matrisin görevleri; elyafları birbirine bağlayarak uygun yerleşimini sağlamak, fiberleri çevreden gelen etkilere karşı korumak ayrıca plastik deformasyonda çatlağın yayılışına karşı direnç göstererek malzemenin kopmasını geciktirmek ve malzemeyi yüksek korozyon ve sıcaklığa karşı korumaktır. İdeal bir

matris malzemesi düşük kıvamlı bir yapıdayken daha sonra fiberleri sağlam bir şekilde çevreleyecek katı duruma kolaylıkla geçebilmelidir. Yukarıda ifade edildiği gibi kompozit malzemenin mukavemetinin ve sertliğinin tamamına yakını elyaflar tarafından sağlanmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde en önemli unsur daha iyi özelliklerde malzeme elde edilebilmesi amacıyla elyaf ve matrisin en uygun olanının seçilmesidir. Dayanıklılık, sertlik, yorulma, nem ve ısı direnci gibi özelliklerin geliştirilmesi için üretim aşamasında uygun elyaf yönü seçilmelidir. Bu özellikler seçilen elyaf yönüne ve açısına göre büyük değişimler göstermektedir. Bu nedenlerden ötürü matris ve elyaf çeşidi kompozit tasarımında çok önemlidir (Kaya ve Kılınç, 2008).

Kompozitler farklı malzemelerin bir araya getirilmesiyle üretilir ve bu işlem kompozit malzemelere yüksek dayanıklılık, aşınmaya karşı direnç, uygun yorulma dayanımı ve daha hafif olma gibi faydalı özellikler kazandırmaktadır.

Günümüzde en çok tercih edilen kompozit malzeme çeşitleri; Karbon Fiber/Epoksi, Cam Fiber/Polyester, ve Aramid Fiber/Epoksi bileşimleridir. Bugünlerde üretilen kompozit malzemelerin çoğu otomotiv, tekne imalatı ve havacılık endüstrilerinde kullanılmaktadır. Kompozitlerin günümüzde çok tercih edilmesinin ve kullanımındaki artışın temel sebebi hafiflikleri ve sağlıklarıdır. Çeşitli plastik malzemelerin metal, seramik veya sert polimer elyaflarla güçlendirilmesi sonucu daha faydalı ürünler elde etmek mümkündür. İçerisinde plastik barındırdığı için kolayca şekil verilen ve takviye fiberlerin de etkisiyle sert, hafif ve son derece sağlam olan bu malzemelerle, farklı uygulama alanlarında sık sık karşılaşmaktayız. Ayrıca metallerle kıyaslandığında malzeme yorulması, malzeme üzerinde oluşan hasarlara ve aşınmaya karşı dayanması gibi özellikleri açısından kompozitler daha avantajlı olmaktadır. Tüm bu olumlu özelliklerine karşı kompozitlerin tamamıyla metalin yerini alamamasının üç temel nedeni vardır:

- Günümüzde üretilen kompozitler, bazı uygulamalarda gerekli olan çelik ve titanyum gibi metallerin sahip olduğu kritik düzeyde ısı ve mekanik özelliklerini taşımazlar.
- Bazı karmaşık kompozitler düşük maliyetle üretilmemektedirler.
- Kompozitlerin kg başına düşen üretim maliyeti, metallerden özellikle alüminyumdan daha yüksektir.

### **2.1.1. Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları (Fiberler)**

Matrise takviye olarak kullanılan fiberler kompozit yapının ana dayanıklılık elemanlarıdır. Yüksek young modülüne ve sertliğe sahip olan fiberler aynı zamanda düşük yoğunluklarının yanı sıra kimyasal korozyona karşı da dirençlidirler. Kompozitlerde karbon, cam, bor ve aramid elyafları başlıca takviye elemanlarıdır (Asi, 2008).

Günümüzde kompozitlerde takviye elemanı olarak elyaf kullanılır. Elyaf lar modern kompozitlerin üretilmesinde vazgeçilmez yapıtaşıdır. Cam elyaflar bilinen ve kullanılan en eski fiber çeşididir. Son yıllarda geliştirilen elyaflardan olan karbon, bor, karbür, aramid ve silisyum fiberler ise yeni geliştirilen kompozit yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Daha ince elyaf üretilmesi sayesinde büyük ve kütesel elyaflara kıyasla kompozit üretimindeki yapısal hata olasılıkları minimuma indirilmiştir. Kompozitler bu sebeple daha üstün mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Ayrıca, fiberlerin yüksek performansa sahip mühendislik malzemeleri olmaları aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır (Asi, 2008).

- Çok yüksek Young modülüne sahip olmaları. Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
- Boy / çap oranı yükseldikçe matris malzeme tarafından fiberlere iletilen yük miktarının artıyor olması.
- Üstün mikro yapısal özelliklere sahip olmaları, tane boyutlarının daha küçük olması ve küçük çapta üretilmeleri.

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan fiberler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Cam fiberler
- Karbon fiberler
- Kevlar 49
- Seramik fiberler
- Bor fiberleri

Bu çalışmada da kullanılan cam ve karbon elyaflar hakkında daha kapsamlı bilgi vermek faydalı olacaktır.

#### 2.1.1.1. Cam Fiberler

Cam fiberi, elyaf takviyeli kompozitler arasında en fazla bilineni ve kullanılanıdır (Mallick, 1993).

Ekonomik olmasından kaynaklı kompozit malzeme üretiminde en çok tercih edilen fiber tipidir. İlk olarak A-cam olarak üretilmiş fakat daha sonra mekanik özellikleri bakımından daha gelişmiş olan bor silikat camı diye de adlandırılan E-cam kullanılmaya başlanmıştır. Cam elyafların yüksek darbe ve çekme dayanımları vardır. Young modülleri oldukça düşüktür. Elyaflar sürtünerek birbirini aşındırabilmektedir. Mekanik özellikleri yüksek sıcaklıktan fazla etkilenmez. Bazı cam elyafların mekanik özellikleri Tablo-1’de yer almaktadır.

**Tablo 1: Bazı Cam Elyafların Mekanik Özellikleri**

Cam Elyaf Çeşidi	Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı(MPa)	Uzama Oranı (%)	Çekme Esneklik Modülü (GPa)
A-Camı	2,45	3100	-	72
C-Camı	2,45	3400	4,8	70
S-Camı	2,49	4500	5,4	86
E-camı	2,54	3600	4,8	76

Kaynak: Kılıç,2006:71.

Cam fiberler, klasik bir camdan daha yüksek saflığa sahip kuartz camına kadar birçok çeşitte üretilmektedir. Cam, polimer bir yapıya sahiptir ve amorf bir malzemedir. Üç boyutlu moleküler yapısında bir silisyum atomu ve etrafında dört oksijen atomu vardır. Silisyum hafif ve metalik olmayan bir malzeme çeşididir. Tabiatta genellikle silisle birlikte iki oksijen atomu ( $\text{SiO}_2$ ) şeklinde yer alır. Cam elde etmek için katkı malzemeleri ve silis kumu kuru halde  $1260\text{ }^\circ\text{C}$  'ye kadar ısıtılır. Soğudukça sert bir yapıya dönüşür.

Cam fiberlerin başlıca özellikleri aşağıdaki verilmiştir.

- Çekme dayanımı oldukça yüksektir hatta birim ağırlık başına dayanımı çelikten daha yüksektir.
- Nemi emme özelliğine sahip değildir. Kompozit malzemelerde cam fiber ve matris arasında nemle birlikte bir çözülme oluşabilir. Fakat özel elyaf kaplama sayesinde bunun önüne geçilebilir.
- Isıl dirençleri oldukça azdır. Yanmazlar fakat yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
- Elektriği iletme özellikleri yoktur. Elektriksel yalıtkanlık gerektiği durumlarda rahatlıkla kullanılabilir.
- Kimyasal malzemelere olan dirençleri yüksektir.

Cam fiberlerin üretilmesinde çeşitli katkı maddeleri silis kumuna ilave edildiğinde, eklenen maddelerin etkisiyle, malzeme farklı özelliklere sahip olur. Dört farklı çeşitte cam fiber vardır.

- *Alkali (A) Camı:* Yüksek oranda alkaliye sahip bir camdır. Bu yüzden elektriksel yalıtkanlığı kötüdür. Kimyasal direnci en fazla olan en yaygın cam çeşididir.
- *Korozyon (C) Camı:* Kimyasal çözeltilere direnci oldukça iyidir. Bu nedenle çoğunlukla depolama tanklarında tercih edilirler.

- *Elektrik (E) Camı:* Alkali oranının az olması sebebiyle elektriksel yalıtkanlığı çok iyidir. Dayanıklılığı ve suya karşı olan direnci oldukça yüksektir. Daha çok nemli ortamlar için üretilen kompozitlerde E- camı kullanılmaktadır.
- *Mukavemet (S) Camı:* Yüksek dayanıma sahip bir camdır. Çekme dayanımı E-camına kıyasla %33 daha fazladır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta yorulma direnci çok iyidir. Bu özellikleriyle uzay ve havacılık sektöründe tercih edilirler.

Cam fiberler polimer kompozitler arasında en fazla kullanım alanına sahip elyaf çeşididir. Günümüzde termoset reçinelerle birlikte kullanılan takviye elemanlarının 2/3 'ünden fazlasını cam elyaflar oluşturmaktadır. Cam elyafların ana maddesini oluşturan silikanın erime noktası yaklaşık 840 °C'dir.

Cam elyaflarının özellikleri değişik malzemeler ilave edilerek olumlu yönde değiştirilebilir. Yüksek gerilim dayanımı, kimyasal dayanımı, düşük üretim maliyeti ve üstün yalıtım özellikleriyle cam elyaflar avantajlı konumdayken; düşük young modülü, yorulma direnci ayrıca yüksek sertlikleriyle ve kullanımları sırasında kolay aşınabilmeleriyle dezavantajlı durumdadırlar.

Cam elyafların diğer takviye elemanlarının aksine izotropik bir yapıları vardır. Bunun nedeni yapılarındaki 3 boyutlu örgüdür. Cam lifleri sürtünmeyle kolayca zarar görebilirler. Haşıl gibi bir madde ile kaplamak cam elyaflarını bu hasardan koruyabilmektedir.

Neme karşı dayanıklı cam elyaf çeşitleri sıvı tanklarının, yarış botlarının, ve kayıkların üretiminde kullanılmaktadır. Daha dayanıklı ve hafif olan elyaf tipleri ise helikopter ve uçak gövde ve kanatlarının, otomobil panellerinin yapılmasında tercih edilmektedir.

Cam elyaf, termoset ve termoplastik bazlı kompozitlerin takviyesinde kullanılan malzemelerin içerisinde en fazla kullanılan takviye elemanı olarak bilinmektedir. Cam elyafı, yüksek çekme mukavemetine ve düşük uzama oranına sahip olması nedeniyle,

kompozitlerin eğilme, çekme ve darbe dayanımını artırır ve yüksek elastik modül özelliği sağlar. Ayrıca cam fiberlerin düşük su çekme (absorpsiyon) özelliği onlara iyi boyutsal stabilite ve iklim koşullarına karşı yüksek dayanım özelliği sağlamıştır.

Cam elyafı ürünlerini, üretim süreçlerine ve kullanım amaçlarına bağlı olarak;

- Çok uçlu fitil (kırılabilir fitil)
- Tek uçlu fitil (direk sarma fitili)
- Keçe (sıvı bağlayıcı keçe, toz bağlayıcı keçe)
- Dokunmuş kumaş
- Kırılmış demet şeklinde sınıflandırılmak mümkündür.

#### **2.1.1.2. Karbon Fiberler**

Karbon elyaflar yüksek performans gerektiren kompozit madde üretimi için en fazla tercih edilen takviye yapılarıdır.

Karbon elyaflar, yüksek esneklik modülüne ve dayanıklılığına sahip olan, yüksek sıcaklıklarda da mukavemeti oldukça fazla, süreksizlik özelliği olmayan sürekli elyaflar olarak üretilirler. Üstün mekanik özellikleri sayesinde uzay ve uçak sektöründe kullanılan ileri seviye kompozitlerdendir.

Karbon elyaflar hafiflik ve dayanıklılık gerektiren durumlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu elyaflar havacılık sektöründe stabilizer, kanat ve dümen gibi kontrol elemanları olarak, denizcilik ve otomobil endüstrisinde yapısal destek unsurları olarak, yarış otomobil kaportası, uzay araçları ve füzelerin bazı yapılarında, olta, raket, bisiklet pedalı üretiminde kullanılmaktadır. Sabit yük altında deformasyonlarının az olması ve normal sıcaklıklarda yorulma dirençlerinin daha az olması avantajları arasındadır. Çok rahat kırılabilir olmaları, yüksek yüklenmeler karşısında düşük genişleme katsayısına sahip olmaları ve üretim maliyetinin yüksek olması bu kompozitleri dezavantajlı hale getirmektedir. (Kaya ve Kılınç, 2008).

### 2.1.1.3. Kevlar49 Fiberler

Kevlar49 hafif ve çok dayanıklı bir madde olduğu için roketatar, roket topu, füze yapımında kullanılmaktadır. Miğfer ve can yeleği gibi kurşungeçirmez maddelerin üretilmesinde tercih edilmektedir.

### 2.1.1.4. Seramik Fiberler

Seramik elyaf olan SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı bir malzemedir. SiC'in erime noktası 2830 C<sup>0</sup>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'inki ise 2045C<sup>0</sup>'dir. SiC 650 C<sup>0</sup>'de özelliğini kaybederken, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1370 C<sup>0</sup> de özelliğini kaybeder. Bu maddeler titanyum ve alüminyum gibi metal matrislerin desteklenmesinde kullanılmaktadır (Kaya ve Kılınç, 2008).

### 2.1.1.5. Bor Fiberler

Kimyasal buhar depozisyonu ile üretilir. Yüksek young modülü olan kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek esneklik modülüne ve yüksek dayanıma sahip olmalarına karşı işleme zorluğu sebebiyle üretimleri maliyetlidir. Deniz ve havacılık sektöründe yapı destek malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

## 2.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları

- Değişik katman ve kombinasyonlarda farklı madde kullanarak hedeflenen mekanik özelliklere sahip kompozit malzeme üretilebilmektedir.
- Kompozitler, kimyasal maddelere karşı aşınmaya ve zorlu hava şartlarına karşı dayanabilmektedir.
- Karmaşık yapıların bir bütün olarak üretilmesi parça sayısını azaltır. Bu da üretim sürecinin daha kısa olmasını sağlamaktadır.
- Standart olan hafif/yüksek mukavemet özellikli malzemelere alternatif olarak daha hafif/daha yüksek mukavemetliliği olan malzemeler üretme imkânı sağlamaktadır.
- Yüksek mukavemeti olan düşük özgül ağırlıklı malzemeler üretilebilmektedir.

- Düşük ağırlıklı yüksek esneklik modülüne sahip maddeler üretilebilmektedir.
- Üretim aşamasındaki esneklikleri sayesinde geleneksel malzemelere kıyasla aşınma daha dirençli, uzun yorulma ömürlü ve düşük ısı iletkenli malzemeler üretmeyi mümkün kılmaktadır.

### 2.3. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

- Üretim maliyetleri yüksek olabilmektedir.
- Isı ve basınç yardımıyla birleştirilen kompozitlerin özellikleri her zaman istenen sonucu verememektedir. Fazla kalın üretilen kompozit düşük dayanıklılığa sahip olabilmekte ve kesme dayanımı düşük olabilmektedir.
- Üretim yöntemi yeteri kadar iyi değilse malzeme kalitesi de düşük olabilmektedir.
- Gevrek (kırılgan) malzemeler olan kompozitler kolayca zarar görebilmektedir. Bazen bu zararı onarmak yeni sorunlara yol açabilmektedir.

### 2.4. Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerde bulunması istenen özellikler aşağıdaki gibidir:

- Hafif olmaları,
- Gerilime karşı direnç göstermeli,
- Şekil verilebilir olmaları,
- Korozyon ve aşınmaya direnebilmeleri
- Bazen iyi, bazen kötü ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olmaları,
- Yüksek sıcaklığa karşı dayanabilmeleri gerekmektedir.

Malzemeler kullandıkları yerde çeşitli etkilere karşı direnç göstermelidir. Yapının karşılaştığı yüke dayanması, yapıda tercih edilen malzemelerin mekanik özelliklerine bağlı olmaktadır. Bu yüzden kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri çok önem taşımaktadır (Yılmaz ve Altıntaş, 1997).

Dış kuvvet etkisinde katı cisimler bozulabilmektedir. Diğer bir deyişle dış kuvvet uygulandığında, cisimlerin şekli, büyüklüğü ( veya her ikisi de ) değişebilmektedir. Bu değişimlerin sebebi değişmeye direnç gösteren iç kuvvet yani atomlar arasındaki kuvvetlerdir.

Malzeme özelliklerini çoğunlukla atom ve moleküllerin içyapısı belirlemektedir. Yapılan bir uygulama sonucunda özelliklerde oluşan değişimler atomun içyapısıyla ilgilidir. Atomların uzaydaki üç boyutlu dizilişleri ve atomlar arasındaki bağ kuvvetleri içyapıyı belirlemektedir. Bu bağların oluşmasında temel neden elektronlardır. Maddelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyen de bilhassa en dış yörüngede yer alan değerlik elektronlarıdır.

Atomları birbirine bağlayan kuvvetler atomun içyapısını belirler. Bu içyapı malzemelerin dayanıklılığını, ısı ve elektrik özelliklerini oluşturur. Atomlar arasındaki bağlar ne kadar kuvvetliyse esneklik modülü, mukavemeti, ergime sıcaklığı o kadar yüksektir ve buna karşı genleşme ise o kadar düşüktür.

Atomun kuvvetli bağlarını koparmak için gereken enerji, zayıf olan bağlarını koparmak için gerekenin nerdeyse 10 katıdır. Bu yüzden kuvvetli bağların etkin olduğu durumlarda zayıf bağlardaki etki önemli değildir. Fakat zayıf bağlar lineer polimer gibi maddelerde atom gruplarını bağlayan yegâne kuvvetse önemli hale gelir. Bu bağlar malzemenin mekanik özelliklerini belirlemede de etkin rol alır.

Atomlar arasındaki bağ türü, bağ enerjisi ve atom dizilişi malzemenin özelliklerini belirlemektedir. Malzeme, kendisine uygulanan dış kuvvetlere atomlar arasındaki bağ kuvvetleriyle karşı koyarak şeklinin değişmesini ve kırılmasını engeller (Onaran, 2006).

Malzemelerin esneklik özelliklerini açıklamada zorlanma kavramından faydalanılabilir.

### 2.4.1. Zor (Gerilim-Stress)

Uygulanan kuvvete bağılı olan ve cisim birim kesit alanını etkileyen dış kuvvete zor denir.  $\sigma$  simgesi ile gösterilir (2.1) denklemiyle ifade edilir (Serway and Brichner, 2002).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

### 2.4.2. Zorlanma-Deformasyon (Gerinim-Strain)

Malzemelerin bir gerilim sonucu akışkan özellik göstermesiyle boyutunun değişmesidir. Birim yüzeyde oluşan şekil değişikliğine zorlanma (gerinim) veya deformasyon (strain) denir.  $\varepsilon$  ile ifade gösterilir (Serway and Brichner, 2002).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.2)$$

olarak formüle edilir.

### 2.4.3. Esneklik Modülleri

Yeterli derecede küçük gerilim altında; zor zorlanmayla doğru orantılıdır. Bu oran sabiti, bozulan malzeme cinsine ve bozulmanın yapısına bağılı olmaktadır. Bu orana esneklik modülü veya esneklik sabiti denir. Böylelikle esneklik sabiti, zorun zorlanmaya oranlanması şeklinde;

$$Esneklik = \frac{Zor}{Zorlanma} \quad (2.3)$$

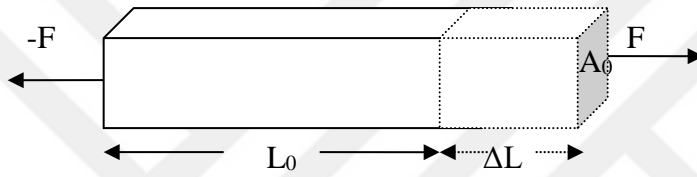
olarak formüle edilebilir.

Bozulmanın biçimine göre enine, boyuna, esneklik ve bulk modülleri olarak farklı esneklik modülleri açıklanabilir.

### 2.4.3.1. Esneklik (Young) Modülü

Young 1810 yılında, yeteri kadar küçük gerilimlerde; gerilimin, gerinimle doğru orantılı değiştiğini ve orantı sabitinin bozulan maddelerin çeşidine ve bozulmanın yapısına bağlı olduğunu ifade etmiştir. Bu oran sabiti, Young modülü olarak adlandırılır. Yöneline ait bir fonksiyondur. Esneklik modülü, “E” ile gösterilmektedir.

**Şekil- 1: F Kuvveti Etkisiyle  $\Delta L$  Kadar Şekil Değiştiren Çubuk**



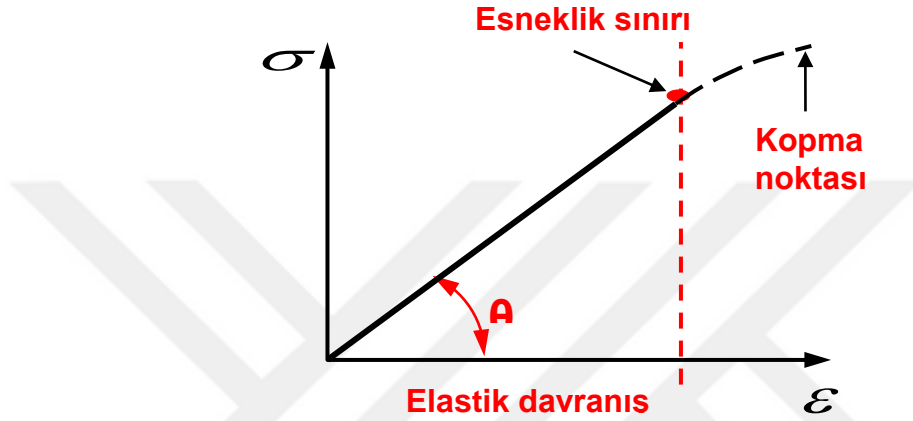
Şekil-1’deki gibi kesitinin alanı  $A_0$  ve uzunluğu  $L_0$  olan bir çubuğa, kesit alanına dik bir biçimde, dışardan bir  $F$  kuvveti uygulanırsa, çubuktaki iç kuvvetler şeklinin değiştirilmesine direnç gösterir. Sonunda çubuğa etki eden dış ve iç kuvvetler dengelenir. Kuvvetler dengeyen, çubuğun uzunluğu bir miktar artmıştır. Bu durumda çubuğun zorun etkisi altında olduğu söylenebilir. Dış kuvvet olan  $F$ ’in çubuğun kesit alanı olan  $A_0$ ’a oranlanması, uygulanmakta olan gerilim (zor) olarak adlandırılırken çubuktaki uzunluk değişiminin  $\Delta L$ , çubuk ilk uzunluğu olan  $L_0$ ’a oranlanması gerinim (zorlanma) olarak ifade edilir. Bunlar (2.4) formülünde yerine konarak bu çubuğun esneklik modülü ( $E$ ) elde edilir;

$$Esneklik = \frac{Zor}{Zorlanma} \text{ ise } E = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} \text{ N/m}^2 \quad (2.4)$$

Elde edilen oranın büyüklüğü malzemenin sağlamlığını ifade eder. Esneklik modülü bir kristal yapıdaki atom ve moleküller arasındaki bağların ne kadar kuvvetli olduğu konusunda bilgi vermektedir (Dinçer, 2004). Esneklik modülünün büyümesi, atomlar arası bağın daha kuvvetli olduğunun göstergesidir. Esneklik modülü fazlaysa

malzeme kuvvet doğrultusunda gerilim veya basınca daha fazla dayanmaktadır. Bu oranın düşük çıktığı yönlerde ise madde kolayca bozulmaktadır.

**Şekil- 2: Esnek Malzemede Zor( $\sigma$ ) / Zorlanma ( $\varepsilon$ ) Değişim Grafiği**



Dışardan bir kuvvet uygulanan cismin büyük bölümünde yani elastik kısımda geçerli zor-zorlanma aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.5)$$

(2.5) eşitliği Hook kanunu olarak bilinmektedir. Şekil-2'den anlaşılacağı üzere elastik bölgedeki eğim Esneklik modülü olan E'yi verir. Daha büyük gerilim uygulanarak, malzemenin elastikiyet sınırı aşılabılır. Gerilim bu sınırı aştığında cisim aşırı bozulmuştur. Kuvvet uygulanmasa da cismin başlangıç biçimine geri dönmesi imkânsızdır. Esneklik sınırından sonra, zor-zorlanma eğrisi çizgisinden uzaklaşır. Böylece eğim değişmiş olur. Zor daha fazla arttığında ise malzeme kopmuş olur.

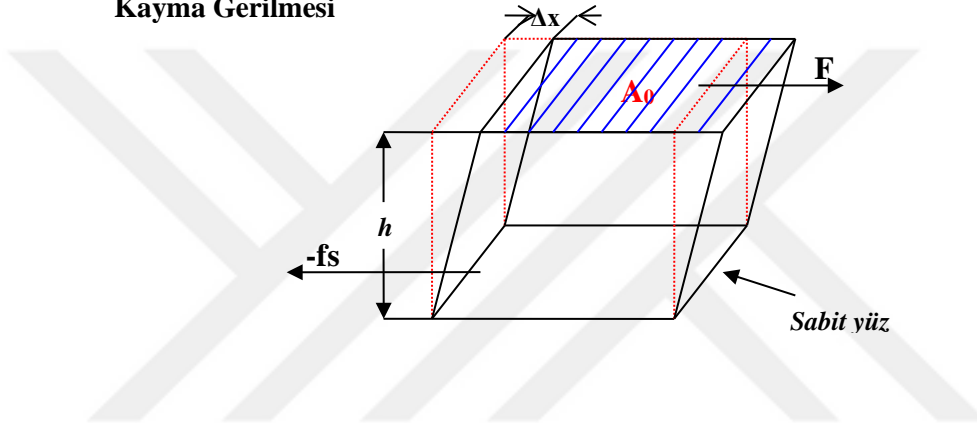
#### 2.4.3.2. Enine Modül (Kesme/Kayma Modülü)

Şekil-3'te görüldüğü gibi malzemenin bir tarafı  $f_s$  sürtünme kuvvetiyle sabitçe tutturulup diğer tarafına yüzeye teğet olan F kuvveti uygulanırsa, bozulmaya ait diğer şekil meydana gelir. Malzeme ilk başta dikdörtgenler prizması biçiminde blokken, kayma gerilimiyle ara kesiti paralel kenara çevrilmiştir. Buna sebep olan gerilim kayma veya

kesme zoru (gerilimi) diye adlandırılır,  $\tau$  simgesiyle gösterilmektedir. Bu bozulma sonucunda malzemenin hacminde bir değişim olmaz.  $F$  kuvveti ve  $A_0$ , gerilim uygulanan yüzey alanına oranlanırsa kayma modülü elde edilir;

$$\tau = F/A_0 \quad (2.6)$$

**Şekil- 3: Bir Yüzü Sabitlenmiş Diğer Yüzüne Teğet  $F$  Kuvvetinin Etkisiyle Bloкта Oluşan Kayma Gerilmesi**



Kesme zorlamasına gelince  $\gamma$  simgesiyle ifade edilir  $\gamma = \Delta x/h$  denklemlle bulunur.  $\Delta x$  kesilmiş yüzün kuvvet doğrultusunda yer değiştirmesini, cisme ait yüksekliği ise  $h$  belirtir. Cisimlerin elastik bozulmasında kesme gerilmesi(zor) ile kesme birim uzaması doğru orantıya sahiptir. Bu oran sabitiyse Kesme(Kayma) Modülü olarak  $G$ 'yle gösterilmektedir. Buradan kayma zoru  $\tau$  ile kayma zorlanmasının  $\gamma$  oranı  $G$ 'yi verir.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.7)$$

$$G = \frac{F/A_0}{\Delta x/h} \quad (2.8)$$

Enine Modül; cismin atom düzlemlerinin birbiri üstünde kaymasıyla oluşan harekete karşı göstermiş olduğu dirence ait bir ölçüdür. Kayma modülü oldukça çok zayıf bağlardan hidrojen ya da Van der Waals bağlarıyla ilişkilidir (Serway and Brichner, 2002).

### 2.4.3.3. Bulk (Hacim) Modülü

Bulk Modülü, düzenli sıkıştırılmakta olan malzemenin bu olaya gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Bir maddeye uygulanan dış kuvvetlerin yüzeylerin tamamına dik açılarla etkilediğini ve bunun tüm yüzeylere eşit dağıtıldığını varsayalım. Böyle bir durumdaki cisim bozulur ve hacim olarak azalır ama şekli değişmez. Hacim gerilimi  $\Delta P$  ile gösterilir. Malzeme yüzeyine dik olarak uygulanan  $F$  kuvvet büyüklüğünün, malzeme yüzeyinin alanına ( $A$ ) oranı, hacim zorunu verir.  $\Delta P = F/A$  eşitliğine basınç olarak da tanımlanır. Cismin hacmindeki değişimin ( $\Delta V$ ) ilk hacim ( $V$ ) oranına ise hacim zorlanması denir. (2.9) eşitliği kullanılarak, hacim küçülmesi  $B$  hesaplanabilir.

$$B = \frac{\text{Hacimzoru}}{\text{Hacimzorlanması}}, \quad B = -\frac{F/A}{\Delta V/V} = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} \quad (2.9)$$

Bu denklemdeki eksi işareti  $B$ 'yi pozitif bir ifade yapmak için kullanılmaktadır. Bunun sebebi  $\Delta P$  artarsa  $\Delta V$  azalması ya da basınç azalırsa hacim büyümesidir.

Hacim sabitinin karşıtı, cismin sıkışma özelliği olarak tanımlanır. Katı ve sıvıların hacim sabiti mevcutken sıvıların kesme ve esneklik modülleri yoktur. Sıvılara kesme ya da gerilme zoru uygulanamaz. Çünkü onlar akışkandır.

### 2.4.4. Poisson Oranı

Önemli bir esneklik sabitidir. 1825 yılında Simon Poisson tarafından cisimlerin yanal daralmalarıyla ilgili deneyler yapılmıştır. Bununla ilgili önemli teoriler geliştirilmiştir. Lineer esnek malzemelerdeki küçük zorlar altında, yanal şekil daralması  $\epsilon_{22}$ , boydaki uzama şekil değiştirme  $\epsilon_{11}$ 'ya bağlıdır. Buradaki oran katsayısı Poisson oranını verir (Abi, 2007). “ $\nu$ ” ile gösterilmektedir.

$$\nu = -(\epsilon_{22} / \epsilon_{11}) \quad (2.10)$$

Poisson oran kavramı pozitifdir. Malzeme çekildiğinde  $\epsilon_{11}$  pozitif ve  $\epsilon_{22}$  negatif olacağından (2.10) denkleminde yerlerine konduğunda  $\nu > 0$  bulunur.

Bir malzeme çekilirse uzamaya karşı yanıl daralmalar olur. Tek yönde çekilen malzemeler için Poisson (1825), z ve y eksenlerindeki birim uzamalarının x ekseninde meydana gelen birim uzamayla orantılı olacağını tespit etmiştir. Bu eksenlerde uygulanan hiçbir kuvvet yokken de yanıl deformasyonların olabileceğini bulmuştur. Poisson oranının küçük olması malzemedeki kalitenin ve mukavemetin fazla olduğunu göstergesidir.

Tek yönde çekilme durumunda, Poisson oranı biliniyorsa, kuvvete dik yöndeki deformasyonlar ölçülmeye gerek olmadan hesaplanabilmektedir. Poisson oranı sayesinde bozulma sonucunda malzemenin hacim değışikliği de bulunabilmektedir (Postacıoğlu,1981).

Lineer izotropik esnek malzemelerde (E), (G), ( $\nu$ ) ve (K) esneklik sabitlerinden yalnızca iki tanesi bağımsızdır. Aşağıda verilen eşitliklerle diğerleri bulunabilir.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.11)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (2.12)$$

Eşitlik (2.12)'den de görüleceği üzere Poisson oranının 0,5'den küçük olması lazımdır. Poisson oranı,  $\nu=0.5$  olduğunda K sonsuz çıkar. Bu durumda malzemeye yapılan basınç sonsuz olsa bile malzemenin hacmi değıştirilemez. Bu özellikteki malzeme sıkıştırılmaz olarak adlandırılır. Sıkıştırılmaz malzemeler için  $\nu=0.5$  olur. Polimerlerde  $\nu<0.5$ 'tir ve az da olsa sıkıştırılabilirler (Onaran, 2006). Kauçuk için  $\nu=0.49$  olduğundan kauçuğun şekil değıştirme hesaplamalarında sıkıştırılmaz cisim varsayımı yapılabilir.

## 2.5. Çekme Testi

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Bu yüzden çekme deneyi düzeneği, deney uygulaması ve çeşitli kavramlar için kuramsal bilgiye ihtiyaç vardır.

Çekme testinde, standartlar göz önünde bulundurularak hazırlanan deney örneğinin iki uç standart deney setinde çeneler arasına sıkıştırılarak çeneler birbirinden, belirlenen sabit bir hızla çekilirken numune iki uçtan gerdirilmektedir. Çekme hızları deney malzemesinin tipine uygun seçilmektedir. Gerdirme işlemi tek yönde, belirli hızda ve belli sıcaklıkta örnek kopuncaya kadar sürdürülmektedir. Deney esnasında standart deney örneğine sürekli artan çekme kuvveti uygulanmakta ve eş zamanlı olarak malzemenin uzama miktarı kaydedilmektedir (Savaşkan, 1999).

Çekme deneyinde öncelikle testi yapılacak malzemenin standartlar göz önünde bulundurularak bir çeki örneği elde edilir. Standartlarda hazırlanmış çekme deneyi örnekleri Şekil-4'te yer almaktadır. Çekme deneyi cihazındaki iki çeneye düzgünce ve ortalanarak sıkıştırılmış deney numunesi sürekli artırılan bir yükte koparıncaya kadar çektilir. Aynı anda uygulanmakta olan  $F$  kuvveti ile malzemedeki uzama miktarı  $\Delta L$  ölçülmektedir. Deneyden elde edilen, uygulanan kuvvet ( $F$ ) ve uzama ( $\Delta L$ ) verilerinden faydalanılarak  $F / \Delta L$  grafiği çizilir. Yani numunenin çekme diyagramı elde edilir.

**Şekil- 4: Standartlarda Hazırlanmış Çekme Deneyi Malzemeleri**



Çekme deneyinde çekme diyagramından faydalanılarak numunenin orantı sınırı, elastikiyet sınırı, akma sınırı, çekme dayanımı gibi dayanıklılık değerlerinin yanı sıra kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk gibi değerleri hesap edilebilir. (Savaşkan, 1999). Ayrıca çizilen gerilme-gerinme grafiğindeki eğimi kullanarak numunenin esneklik modülü kolayca bulunabilir.

## **2.6. Tahribatsız Kalite Kontrolü (Ultrasonik Yöntem)**

Tahribatsız test tekniklerinden birisi olan ultrasonik muayenenin günümüz teknolojisinde malzeme özelliklerinin ve kalitesinin incelenmesindeki önemi büyüktür.

Ultrasonik enerjinin, günümüzde endüstride malzeme testlerinde kalite kontrol amaçlı kullanımı yaygındır. Malzemelerin geleneksel kalite kontrolünün başlıca yöntemlerinden olan tahribatlı deneylerde malzemeler çok zarar görmektedir. Bu yüzden riskleri en aza indirerek hatta tamamıyla yok ederek ilerleyen teknolojiye “Tahribatsız Muayene” diye bir ölçme ve kontrol tekniği ortaya çıkmıştır. Malzemeye zarar vermeden ve üretim akışında herhangi bir kesintiye sebep olmadan ucuz olarak malzemenin kalite kontrolü tahribatsız test teknikleri sayesinde yapılabilir. 1963 tarihinden günümüze kadar geçen süre içerisinde yeni geliştirilen tahribatsız muayene yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanları akustik emisyon ve Ultrasonik spektroskopidir. İlk defa Skolov, malzeme muayenesinde ultrasonik titreşimlerin etkili olabileceği düşüncesini ortaya atmıştır. Modern teknolojiye ilk hata dedektörü 1942 yılında Firestone tarafından gerçekleştirilmiştir. II. Dünya Savaşı'ndan sonra özellikle fizikçilerin bu konu üzerindeki çalışmaları gerek kuramsal gerekse uygulama alanında çok yoğunlaşmış, yeni bulunan piezoelektrik malzemelerin sanayide uygulanmasıyla gelişimini sürdüren ultrasonik yöntem, bugün tahribatsız muayenelerin en çok kullanılan metodu haline gelmiştir (Tuncel, 1987).

## 2.7. İlgili Çalışmalar

Wang, Li ve Zhao (1994) araştırmalarında; cam fiber ve kevlar dokuma kumaş takviyeli epoksi kompozitlerin esneklik özelliklerini tek ekseninde çekme, eğme, basma deneylerini yaparak incelemişlerdir. Araştırma sonucunda kevlar elyafların kayma kuvvetlerinin etkisiyle kayma mukavemetlerinin daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Cam fiber takviyeli kompozitlerin daha az bozulduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Mili ve Necib (2001) araştırmalarında E-cam takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemelerin darbeye verdiği tepkileri deneyler yaparak incelemişlerdir. Bu çalışmada ağırlık düşüren darbe cihazı kullanılmıştır. Vurma hızının ve tabaka sıralarının kompozitte oluşturduğu etkileri incelemişlerdir.

Aslan ve Karakuzu (2002) ve Aslan, Karakuzu ve Okutan (2003) araştırmalarında düşük hızlarda darbeye elyaf katkılı kompozitlerin yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Cam elyaf/epoksi takviyeli kompozitlerin zamanla değişimini deneysel ve teorik olarak da incelemişlerdir. Teorik olarak bulunan kuvvet-zaman verileri, deneydeki sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu çalışmalarımda düşük hızda darbe uygulanan tabakalı kompozitlerdeki darbe hızlarının, darbe kütlelerinin kompozit ebat ve kalınlıklarına etkisini tespit etmişlerdir.

Baucom ve Zikry (2005), E-cam kompozitlerde düşük hızda darbe uygulayarak malzemelerdeki hasarları araştırmışlardır. Malzemeler delininceye kadar onlara aynı enerjiye sahip düşük hızda darbe uygulanmıştır. Bunun sonucunda en yüksek kuvvet-darbe sayıları ve enerji dağılım-darbe sayıları grafiklerini oluşturmuşlardır.

Belingardi ve Vadori (2002), cam elyaf/epoksi kompozit plakalarının düşük hızda darbelerdeki davranışını araştırmışlardır. Tek yönde ve örgülü olan üç değişik yönlenmeli kompozit malzemelere serbest düşürme cihazıyla deneyler yapmışlardır. Bu çalışmada darbe enerjileri / zarar değerleri, uygulan kuvvet-zaman değişimleri bulunarak değişik özellikteki malzemelerin gösterdikleri darbe davranışları incelenmiştir.

Tekalur, Shivakumar ve Shukla (2007) çalışmalarında, E-cam ve karbonla takviye ettikleri vinil ester kompozit malzemeleri, yarı statik ve yüksek hızdaki gerilim karşısında gösterdikleri davranışları araştırmışlardır. Yarı statik yükte karbon kompozitin, cam kompozite nazaran daha fazla çekme ve basma dayanımına sahip olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca E-cam katmanlarının karbon katmanlarına göre iç içe girmiş oldukları için E-cam fiber kompozitlerin karbonların yanında daha fazla kayma mukavemeti sergilediklerini bulmuşlardır.

Kinet (2008), yapmış olduğu bir projede kompozitleri tanıtmıştır. Kompozitlerin olumlu ve olumsuz taraflarını ortaya koymuştur. Beş tabakadan oluşan kompozit malzemenin serbest titreşim analizini Ansys programıyla yapmıştır.

Murugan, Ramesh ve Padmanabhan (2014) araştırmalarında; cam fiber ve karbon fiber kumaşların değişik dizilmesiyle ürettikleri dört tabakaya sahip kompozitlerin çekme eğme ve darbe mukavemetlerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda; karbon fiber ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin cama göre çekme ve eğme dayanımlarının daha fazla olduğunu, darbe mukavemeti konusunda ise dayanımın daha az olduğunu ortaya koymuşlardır.

Valença, Griza, Oliveira, Sussuchi ve Cunha (2014) araştırmalarında; el yatırma tekniğiyle elde ettikleri aramid elyaf takviyeli epoksi ve aramid ile cam fiber hibrid kullanarak elde ettikleri kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe yükündeki davranışlarını araştırmışlardır. Hibrid kompozit malzemelerin aramid malzemelere karşı deneylerde daha olumlu sonuçlar verdikleri neticesine ulaşmışlardır.

Song (2015) araştırmasında karbon/cam fiber ve karbon/aramid fiberlerin değişik dizilimlerini kullanarak ürettiği kompozitlerin çekme deneyindeki özelliklerini araştırmıştır. Kompozitlerin fiber dizilimlerinin farklı olmasının, malzeme özelliklerini etkilediğini ortaya koymuştur.

Son zamanlarda polimer kompozitler gibi malzemelerin mekanik özelliklerinin ve kalite kontrollerinin malzemeye hasar vermeden yapılabildiği ultrasonik metodların kullanılması da önem kazanmıştır.

Wrobel ve Pawlak (2006) araştırmalarında, farklı oranlarla cam elyaf ve epoksi bileşimi kullanarak kompozitleri üretmişler bu kompozitlere ultrasonik puls-eko tekniğiyle incelemişlerdir. Yaptıkları araştırmada cam elyaf miktarlarına göre örneklerdeki ultrasonik dalga hız değişimlerine bakmışlardır. Puls-eko tekniğiyle bulunan sonuçlara göre cam elyaf oranlarına bağlı olarak kompozitlerdeki ultrasonik hız yayılımlarında farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

Wrobel ve Pawlak (2007) araştırmalarında, farklı oranlardaki cam fiber/epoksi ve polyester matrisine karıştırap cam fiber/epoksi ve cam fiber/polyester kompozitleri oluşturmuşlardır. Üretilen kompozitlerde ultrasonik ses dalga hız değişimlerini her iki kompozit için araştırmışlardır. Bu çalışmadaki verilere göre kompozit sentezindeki cam elyaf artarken her iki kompozitteki ultrasonik hız değerlerinin de arttığını bulmuşlardır.

Oral (2011) araştırmasında, saf polistirenlerin süksinik anhidrit, maleik anhidrit ve ftalik anhidrit ile modifikasyonunun boyuna ve enine ses dalga hızlarını ve esneklik modülü değerlerini artırdığını bulmuştur. Ayrıca saf polistiren ve polistiren kompozitlerin çekme testi ve ultrasonik yöntemle ölçülen esneklik modülü değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir.

İşler (2015) araştırmasında, E-cam/epoksi ve Karbon/epoksi malzemelerinin esneklik sabitlerini ultrasonik yöntemle ölçmüştür. Hesapladığı esneklik katsayılarının ve ölçtüğu ultrases hızlarının elyaf yönelimine bağlı olduğunu bulmuştur.

## BÖLÜM 3

### 3. YÖNTEM

Bu çalışmada E-cam elyaf yönünde ( $0^0$ ) E-cam elyaf yönüne dik ( $90^0$ ) takviyeli epoksi kompozitler ve karbon elyaf yönünde ( $0^0$ ) ve karbon elyaf yönüne dik ( $90^0$ ) takviyeli epoksi kompozitler özel bir firmaya, ilgili standartlara uygun olarak ürettirilmiştir. Üretilen numune boyutları Şekil-8'deki gibidir. Selçuk Üniversitesinde bu malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için Instron 3520 marka cihazla çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuçta malzemelerin elyaf yönünde ve elyaf yönüne dik doğrultuda çekme dayanımı, elyaf yönünde ve elyaf yönüne dik doğrultudaki Young modülleri, Poisson oranları hesap edilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar aynı malzemelerin ultrasonik yöntemle ve literatürde daha önce yapılan çekme deneylerinden elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

#### 3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Mekanik Özellikleri

Çekme testi için ülkemizde faaliyet gösteren bir firmaya aşağıda özellikleri belirtilen malzemeler özel olarak yaptırılmıştır.

Üretimde kullanılan Epoxy Reçine Sistemi, Hexion (Bakalite) EPR840 ve EPH875'dir. Karışım oranı 100 birim EPR840 ve 80 birim EPH875'dir.

Kullanılan tabaka sayısı;

[ $0^0$ ] tek yönlü E camı kumaş için,  $t \approx 3\text{mm}$  için 11 Adet cam tabaka

[ $0^0$ ] / [ $90^0$ ] E camı  $t \approx 12,5\text{mm}$  için 50 tabaka

[ $0^0$ ] tek yönlü karbon kumaş;  $t \approx 3\text{mm}$  için 10 Adet karbon kumaş

$t \approx 12,5\text{mm}$  [ $0^0$ ] ve [ $90^0$ ] plaka için 49 Adet tabaka kullanılmıştır.

Kompozitlerin üretilmesinde kullanılan epoksi reçine ve elyaflara ait mekanik özellikler Tablo-2'de verilmiştir.

**Tablo 2: Kompozitlerin Üretilmesinde Kullanılan Epoksi Reçine ve Elyafalara Ait Özellikler**

ÖZELLİKLER	EPOKSİ REÇİNE	E-CAM ELYAF	KARBON ELYAF
Çekme Mukavemeti (MPa)	70-80	2400	4200
Esneklik Modülü (GPa)	3,5	73	240
Uzama (%)		3-5	4-5
Yoğunluk (gr/ cm <sup>3</sup> )	1,1		

Kaynak: Güneş ve Şahin,2017:100

Üretim prosesi:

- \* Reçine sistemi 100 - 80 karışım yapıldıktan sonra  $\approx 70$  °C ısıtılmıştır.
- \* Adetleri belirtilmiş takviye malzemelerine rulo ile reçine uygulanmış ve üst üste istiflenmiştir.
- \* İstenilen tabaka sayısı oluştuktan sonra malzeme sıcak pres altına konulmuş ve  $p = 3$  kg/cm<sup>2</sup> basınç altında sıkıştırılmıştır.
- \*Malzeme 120 °C de 4 saat preste tutularak kürlenmiştir.

Üretilen E-cam/epoksi ve Karbon/epoksi kompozitler için daha önceki bir çalışmada elde edilen yoğunluk ( $\rho$ ) sonuçları kg/ m<sup>3</sup> cinsinden Tablo-3'te verilmiştir (İşler, 2015).

**Tablo 3: Kompozit Malzemelerin Yoğunluk ( $\rho$ ) Değerleri (İşler, 2015)**

Kompozitler	$\rho$ (kg/ m <sup>3</sup> )
E-cam/epoksi	1802,87
Karbon/epoksi	1506,07

Kaynak: İşler, 2015:94

### 3.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar

Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Instron 3520 cihazı çekme testi için hazırlanmıştır. Cihaz Şekil-5'de görülmektedir. Çekme testi

için deney cihazının programı çalıştırılarak cihaz hazır hale getirilmiştir. Kullanılan bilgisayar Şekil-6’da görülmektedir.

**Şekil- 5: Çekme Testi Cihazı**



**Şekil- 6: Çekme Testini Kaydeden Bilgisayar Ve Program**



### 3.3. Deneyin Yapılması

Ultras es yöntemiyle ölçümleri yapılan malzemelerin, esneklik (Young) modüllerini, Poisson oranlarını, kopma ve çekme dayanımlarını tespit etmek amacıyla çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak ülkemizde faaliyet gösteren bir firmaya değişik ebatlarda ürettirilen kompozit malzemeler, ilgili standartlara ve deney düzeneğine göre hazırlanmıştır. Deney numunelerine Instron 3520 adlı test cihazıyla çekme testi uygulanmıştır.

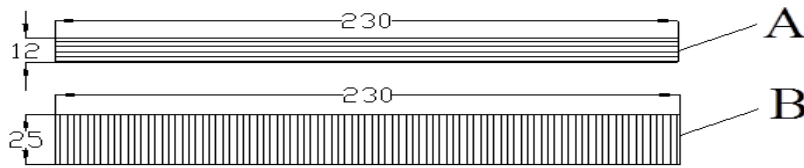
Bu testle numunenin güç dayanımı belirlenip, uzaması ve uygulanan yük yardımıyla esnekliği ve kırılma eğilimi ile ilgili bilgiler elde edilebilmektedir. Şekil-7’de çekme deneyi düzeneği yer almaktadır.

**Şekil- 7: Çekme Testi Düzeneği**



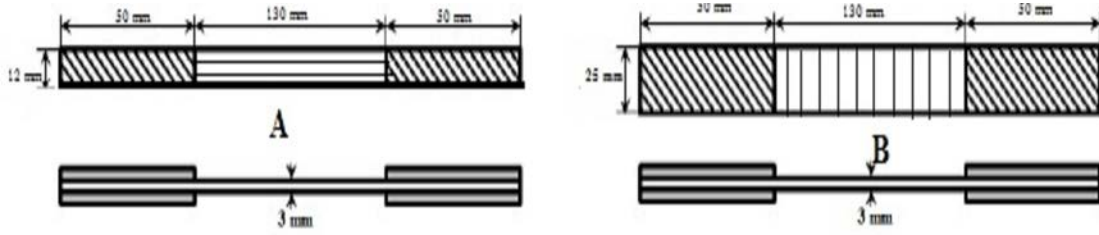
Üretilen kompozitlerden elyaf yönüne paralel ( $0^\circ$ ) ve elyaf yönüne dik ( $90^\circ$ ) eksenlerdeki çekme örnekleri Şekil-8’de belirtilen ebatlarda çekme deneyi için hazırlanmıştır.

**Şekil- 8: Numune Boyutları** (mm olarak verilmiştir)



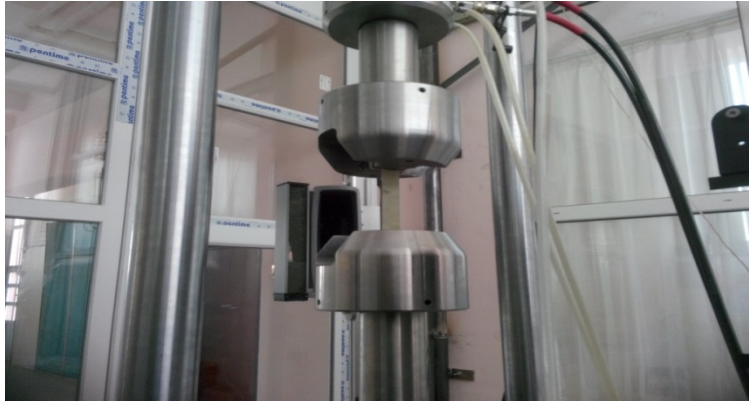
Bu örneklerin çekme deneyinde malzemelerin ucunun güçlendirilmesi amacıyla ilgili standartlara göre alüminyumdan A örneği için 50x12 mm, B örneği için 50x25 mm ebatlarında parçalar kestirilmiştir. Yine ilgili standartlara uygun olarak deney örneklerine Şekil-9’da da görüleceği üzere yapıştırılmıştır.

**Şekil- 9: Çekme Deneyi İçin Uçları Güçlendirilmiş Malzeme**



Şekil-9’da belirtilen boyutlarda hazırlanan 10’ar adet 0° E-cam fiber takviyeli epoksi ve karbon takviyeli epoksi kompozit çeki numuneleri, 10’ar adet 90° E-cam/epoksi ve Karbon/epoksi çeki numuneleri deney cihazına ASTM D3039 (2017) standartlarına uygun olarak teker teker bağlanmıştır. Çekme deneyi yapılmıştır. Şekil-10’da deney cihazına bağlanmış bir numune görülmektedir. Deneyle standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

**Şekil- 10: Numunenin Deney Cihazına Bağlanması**



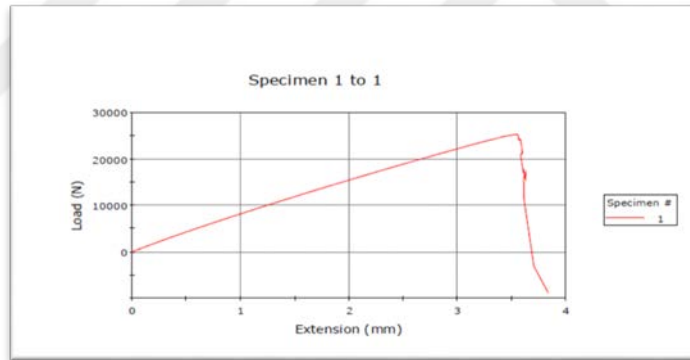
## BÖLÜM 4

### 4. BULGULAR

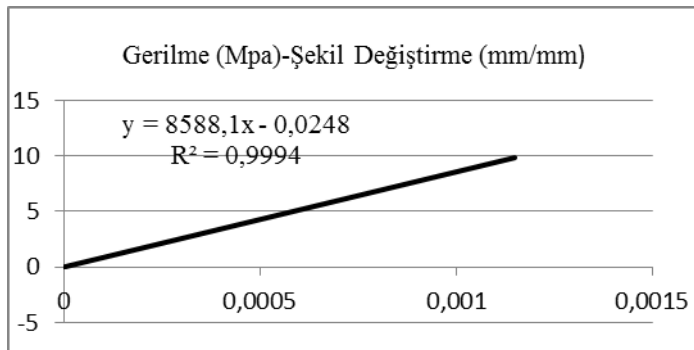
İzoreel firmasına ilgili standartlara uygun hazırlattırılan deney örneklerine Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü laboratuvarında yapılan çekme deneyi sonucunda uygulanmış olan kuvvetler ve hesaplanan kopma gerilimleri, malzemelerin hesaplanan esneklik sabitleri bu bölümde verilmiştir.

Deneyler yapıldıktan sonra tek bir örneğe ait kuvvet-uzama diyagramı Şekil-11'de görülmektedir. Tek numuneye ait Young Modülü grafiği Şekil-12'de yer almaktadır.

**Şekil- 11: Tek Numuneye Ait Kuvvet-Uzama Grafiği**



**Şekil- 12: Tek Numuneye Ait Young Modülü Grafiği**



Çekme deneyi sonucunda uygulanmış olan kuvvetler ve kopma gerilmeleri şu şekilde hesaplanmıştır.

**E-cam/Epoksi Elyaf yönündeki (0°) kopma gerilmesinin ( $\sigma_k$ ) hesaplanması:**

Malzeme Genişliği(b) = 12 mm Kalınlığı(t) = 3mm olan numuneler için;

(1.6) eşitliğinden on bir malzeme örneği için kopmanın gerçekteştiği kuvvetlerde kopma gerilmeleri hesaplanır ve ortalama kopma gerilmesi tespit edilir.

$$1- \sigma_{K1} = 20626,15 / ( 3 \times 12 ) = 572,95 \text{ MPa}$$

$$2- \sigma_{K2} = 19387,53 / ( 3 \times 12 ) = 538,54 \text{ MPa} \dots$$

$$11- \sigma_{K11} = 30129,04 / ( 3 \times 12 ) = 836,92 \text{ MPa olarak hesaplanmıştır.}$$

Buna verilere göre elyaf yönünde ortalama kopma gerilmesi ( $\sigma_{Kort}$ );

$$\sigma_{Kort} = ( 572,95 + 538,54 + \dots + 836,92 ) / 11 = 695,21 \text{ MPa şeklinde hesaplanır.}$$

**E-cam/Epoksi Elyaf yönündeki (0°) Poisson oranı ( $\nu_{12}$ ) ve Esneklik Modülünün ( $E_1$ ) hesaplanması:**

$A = 12 \times 3 = 36 \text{ mm}^2$  ebatlarındaki malzemelere uygulanmış olan kuvvetler ve birim uzamaya ait veriler Tablo-4'te yer almaktadır.

**Tablo 4: E-cam/Epoksiye Çekme Testinde Uygulanan Kuvvet ve Birim Uzamaları**

P (N)	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
2531	0,00223	0,00327
5022	0,00456	0,01312

Buradan poisson oranı ( $\nu_{12}$ ); (1.7) formülünde yerine konularak,

$$\nu_{12} = -(0,00456 - 0,00223) / ( 0,0327 - 0,01312 ) = 0,237 \text{ olduğu bulunmuştur.}$$

(1.1) denklemiyle ( $\sigma$ ),

$$\sigma = ( 5022 - 2531 ) / 36 = 69,19 \text{ MPa olduğu bulunmuştur.}$$

(1.3) eşitliğinde hesaplanan değerlerin yerine yazılmasıyla;

$$E_1 = 69,19 / ( 0,00456 - 0,00223 ) = 29,70 \text{ MPa olarak bulunmuştur.}$$

Buna göre fiber yönündeki Young modülü,  $E_1$ ;

$$E_1 = (29,70 + 30,50 + \dots + 29,18) / 11 = 29,59 \text{ GPa olarak bulunmuştur.}$$

### **Karbon/Epoksi Elyaf yönündeki (0°) kopma gerilmesinin ( $\sigma_k$ ) hesaplanması:**

Malzeme genişliği(b)=12 mm, malzeme kalınlığı(t)=3mm olan numuneler için;

(5.6) eşitliğinden on malzeme örneği için kopmanın gerçekleştiği kuvvetlerde kopma gerilmeleri hesaplanmış ve ortalama kopma gerilmesi tespit edilmiştir.

$$1- \sigma_{K1} = 57.318,25 / ( 3 \times 12 ) = 1.592,17 \text{ MPa}$$

$$2- \sigma_{K2} = 51176,52 / ( 3 \times 12 ) = 1421,57 \text{ MPa} \dots$$

$$10- \sigma_{K10} = 30129,04 / ( 3 \times 12 ) = 1290,45 \text{ MPa değerleri bulunmuştur.}$$

Buna verilere göre elyaf yönünde ortalama kopma gerilmesi ( $\sigma_{Kort}$ );

$$\sigma_{Kort} = (1.592,17 + 1.592,17 + \dots + 1290,45) / 10 = 1321,17 \text{ MPa şeklinde hesaplanmıştır.}$$

### **Karbon/Epoksi Elyaf yönündeki (0°) Poisson oranının ( $\nu_{12}$ ) ve Esneklik Modülünün ( $E_1$ ) hesaplanması:**

$A = 12 \times 3 = 36 \text{ mm}^2$  ebatlarındaki malzemelere uygulanmış olan kuvvetler ve birim uzamaya ait veriler Tablo-5'te yer almaktadır.

**Tablo 5: Karbon/Epoksiye Çekme Testinde Uygulanan Kuvvet ve Birim Uzamaları**

P (N)	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
5012	0,0017	0,00414
11000	0,00388	0,0095

Buradan poisson oranı ( $\nu_{12}$ ); (5.7) formülünde yerine konularak,

$$\nu_{12} = -(0,00388 - 0,0017) / ( 0,00414 - 0,0095) = 0,40 \text{ değeri hesaplanmıştır.}$$

(5.1) eşitliği kullanılarak  $\sigma$ ,

$$\sigma = ( 11192 - 5012 ) / 36 = 171,67 \text{ MPa olarak bulunmuştur.}$$

(5.3) eşitliğinde hesaplanan değerlerin yerine yazılmasıyla;

$$E_1 = 171,67 / ( 0,00388 - 0,0017) = 78,75 \text{ GPa elde edilmiştir.}$$

Dolayısıyla fiber yönündeki esneklik modülü ( $E_1$ );

$$E_1 = (78,75 + 81,89 + \dots + 69,68) / 10 = 76,23 \text{ GPa olarak bulunmuştur.}$$

E-cam/epoksi elyaf doğrultusunda ( $0^0$ ) yapılan çekme deneyi sonuçları Tablo-6'da verilmiştir.

**Tablo 6: E-cam/Epoksi Elyaf Doğrultusunda ( $0^0$ ) Çekme Deneyi Verileri**

Deney No	Uzaması (mm)	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi $\sigma_c$ (Mpa)	Kopma Gerilmesi $\sigma_k$ (Mpa)	Esneklik Modülü $E_1$ (GPa)
1	3,55	25284	702,35	572,95	30,50
2	3,90	26948	748,58	538,54	29,65
3	4,24	27967	776,89	539,27	29,12
4	4,65	30727	853,53	660,40	28,90
5	4,62	30787	791,19	720,19	29,24
6	4,32	26884	746,80	698,11	27,21
7	4,28	29600	822,23	761,65	31,36
8	4,64	31032	862,00	776,36	28,97
9	4,00	27687	769,10	750,89	30,75
10	4,11	28644	795,67	792,02	30,59
11	4,62	30727	853,53	836,92	29,18
<b>Ort.</b>	<b>4,27</b>	<b>28754</b>	<b>792,90</b>	<b>695,21</b>	<b>29,59</b>
Std.	0,36	1959,41	51,09	104,50	1,15
Var.	0,13	3839293,65	2610,92	10920,82	1,33

Çekme deneyi 11 adet E-cam/epoksi kompozit numunesine uygulanmıştır. Tablo-6'da elde edilen uzamalar ve maksimum kuvvetler çekme deneyinde kullanılan bilgisayar programından alınan verilerden oluşmuştur. Diğer bulgular hesaplanarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ortalama olarak numuneler 4,27 mm uzamıştır. Ortalama maksimum çekme kuvveti 28754 N olarak gerçekleşmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu çekme gerilmesi 792,90 MPa olarak ve kopma gerilmesi ise 695,21 MPa olarak bulunmuştur. Buradan elyaf doğrultusundaki ortalama  $E_1$  değeri 29,59 GPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo-7’de Karbon/epoksi kompozit örneklerinin elyaf doğrultusunda yapılan çekme deneyi sonuçları verilmiştir.

**Tablo 7: Karbon/Epoksi Elyaf Doğrultusunda (0°) Çekme Deney Verileri**

Deney No	Uzaması (mm)	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi $\sigma_c$ (Mpa)	Kopma Gerilmesi $\sigma_k$ (Mpa)	Esneklik Modülü $E_1$ (GPa)
1	4,08	57323	1592,30	1592,17	78,75
2	3,44	52987	1471,85	1421,57	81,89
3	3,05	44276	1229,88	1173,57	73,81
4	3,64	50830	1411,94	1400,34	71,92
5	2,95	41570	1154,72	1145,25	75,75
6	3,02	48664	1351,79	1351,79	79,18
7	3,30	48748	1354,11	1352,70	68,93
8	2,31	39569	1099,15	1094,11	80,66
9	3,47	51314	1425,37	1389,74	81,68
10	3,24	46845	1301,24	1290,45	69,68
<b>Ort.</b>	<b>3,25</b>	<b>48212</b>	<b>1339,24</b>	<b>1321,17</b>	<b>76,23</b>
Std.	0,47	5363,67	148,99	149,68	4,91
Var.	0,22	28773029,82	22200,16	22406,24	24,14

Çekme deneyi 10 adet numuneye uygulanmıştır. Tablo-7’de elde edilen uzamalar ve maksimum kuvvetler bilgisayar programından alınan verilerden oluşmuştur. Diğer bulgular hesaplanarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ortalama olarak numuneler 3,25 mm uzamıştır. Maksimum çekme kuvveti 48212 N olarak gerçekleşmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu çekme gerilmesi 1339,24 MPa olarak ve kopma gerilmesi ise 1321,17 MPa olarak bulunmuştur. Buradan elyaf doğrultusundaki ortalama  $E_1$  değeri 76,23 GPa olarak hesaplanmıştır. Tablo-6 ve Tablo-7’deki veriler karşılaştırılacak olursa Karbon/epoksi kompozitlerin esneklik modülü  $E_1$ , E-cam/epoksi kompozitlerinkinden daha yüksek çıkmıştır. Buna göre elyaf doğrultusunda Karbon/epoksi kompozitlerin E-cam/epoksi kompozitlere göre daha rijit ve mukavemetli olduklarını göstermektedir. E-cam/epoksi malzemelerinin ise çekme deneyindeki uzama miktarları Karbon/epoksi malzemelere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu da E-cam/epoksi malzemelerin daha elastik fakat daha kırılğan bir yapıya sahip olduklarını göstermektedir.

Tablo-8'de E-cam/epoksi kompozit örneklerinin elyaf doğrultusuna dik olarak ( $90^0$ ) yapılan çekme deneyi sonuçları verilmiştir.

**Tablo 8: E-cam/Epoksi Elyaf Doğrultusuna Dik ( $90^0$ ) Çekme Deneyi Verileri**

Deney No	Uzaması (mm)	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi $\sigma_c$ (Mpa)	Kopma Gerilmesi $\sigma_k$ (Mpa)	Esneklik Modülü $E_2$ (GPa)
1	2,28	5674	75,65	75,47	10,32
2	2,21	5887	78,50	78,38	9,91
3	2,46	6439	85,85	84,76	11,36
4	2,30	6370	84,94	84,25	11,57
5	2,49	6247	83,30	83,08	11,03
6	2,15	6065	80,87	79,47	11,40
7	2,08	6179	82,39	81,94	10,90
8	1,74	5669	75,58	74,98	11,08
9	2,23	6430	85,74	85,15	11,11
10	1,89	5530	73,73	72,28	10,23
<b>Ort.</b>	<b>2,18</b>	<b>6049</b>	<b>80,66</b>	<b>79,98</b>	<b>10,82</b>
Std.	0,23	339,50	4,53	4,58	0,55
Var.	0,05	115254,67	20,52	20,97	0,30

Çekme deneyi 10 adet numuneye uygulanmıştır. Tablo-8'de yer alan uzamalar ve maksimum kuvvetler bilgisayar programından alınan verilerden oluşmuştur. Diğer bulgular hesaplanarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ortalama olarak numuneler 2,18 mm uzamıştır. Maksimum çekme kuvveti ortalama 6049 N olarak gerçekleşmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu ortalama çekme gerilmesi 80,66 MPa olarak ve ortalama kopma gerilmesi ise 79,98 MPa olarak bulunmuştur. Buradan elyaf doğrultusuna dik ( $90^0$ ) olan  $E_2$  değeri 10,82 GPa olarak hesaplanmıştır. Tablo-6 ve Tablo-8'deki verilere göre yani elyaf doğrultusundaki ortalama  $E_1$  değeri 29,59 GPa iken elyaf doğrultusuna dik  $E_2$  değeri 10,82 GPa olarak bulunmuştur. Bu da, E-cam/epoksi kompozit malzemelerin elyaf yönünde daha dayanıklı olduklarını göstermektedir.

Tablo-9’da Karbon/epoksi kompozit örneklerinin elyaf doğrultusuna dik olarak gerçekleştirilen çekme deneyi sonuçları verilmiştir.

**Tablo 9: Karbon/Epoksi Elyaf Doğrultusuna Dik (90<sup>0</sup>) Çekme Deneyi Verileri**

Deney No	Uzaması (mm)	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi $\sigma_c$ (Mpa)	Kopma Gerilmesi $\sigma_k$ (Mpa)	Esneklik Modülü E <sub>2</sub> (GPa)
1	0,61	2828	37,70	35,88	8,59
2	0,57	2632	35,09	33,27	8,50
3	0,59	2790	37,21	34,36	8,70
4	0,61	3014	40,19	40,18	9,03
5	0,64	3243	43,24	43,23	9,29
6	0,60	2726	36,35	34,23	8,29
7	0,70	3122	41,63	38,98	8,39
8	0,65	2927	39,03	39,02	8,33
9	0,48	2295	30,60	29,45	8,54
10	0,55	2753	36,70	36,58	9,29
<b>Ort.</b>	<b>0,60</b>	<b>2833</b>	<b>37,77</b>	<b>36,52</b>	<b>8,70</b>
Std.	0,06	267,25	3,56	3,97	0,37
Var.	0,003	71420,67	12,70	15,73	0,14

Çekme deneyi 10 adet numuneye uygulanmıştır. Tablo-9’daki uzamalar ve maksimum kuvvetler bilgisayar programından alınan verilerden oluşmuştur. Diğer bulgular hesaplanarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ortalama olarak numuneler 0,60 mm uzamıştır. Maksimum çekme kuvveti ortalama 2833 N olarak gerçekleşmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu çekme gerilmesi ortalama 37,77 MPa olarak ve kopma gerilmesi ise ortalama 36,52 MPa olarak bulunmuştur. Buradan elyaf doğrultusuna dik olan Esneklik Modülü E<sub>2</sub> değeri 8,70 GPa olarak hesaplanmıştır. Tablo-8 ve Tablo-9’daki veriler karşılaştırılacak olursa Karbon/epoksi kompozitlerin Esneklik Modülü E<sub>2</sub>, E-cam/Epoksi kompozitlerinininkinden daha düşük çıkmıştır. Buna göre E-cam/Epoksi kompozitler, Karbon/epoksi kompozitlere göre daha rijit ve mukavemetli olduklarını göstermektedir. E-cam/Epoksi malzemelerinin çekme deneyindeki uzama miktarları da Karbon/epoksi malzemelere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu da E-cam/Epoksi malzemelerin daha elastik olduğunu göstermektedir.

Tablo-10’da hesaplanan Poisson Oranı ( $\nu_{12}$ ) değerleri yer almaktadır.

**Tablo 10: Malzemelerin Poisson Oranı Değerleri**

MALZEME	HESAPLANAN POISSON ORANI ( $\nu_{12}$ )
E-cam/Epoksi	0,236
Karbon Epoksi	0,40

Tablo-10’a göre E-cam/epoksi kompozitlerin Poisson oranı 0,236 iken Karbon/epoksi kompozitlerin Poisson oranı değeri 0,40 olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki tablolarda yer alan ve çekme deneyinde ölçülen ve hesaplanan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo-11’de özet olarak verilmiştir.

**Tablo 11: Malzemelerin Deneylerle Ölçülen ve Hesaplanan Mekanik Özellikleri**

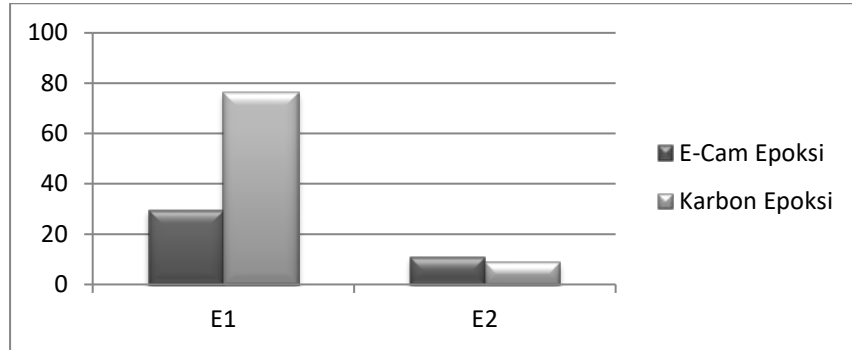
KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	E-CAM	KARBON
Elyaf Yönünde Çekme Mukavemeti (MPa)	792,90	1339,24
Elyaf Yönüne Dik Çekme Mukavemeti (MPa)	80,66	37,77
Elyaf Yönünde Esneklik Modülü $E_1$ (GPa)	29,59	76,23
Elyaf Yönüne Dik Esneklik Modülü $E_2$ (GPa)	10,82	8,70
Poisson Oranı $\nu_{12}$	0,236	0,40

Tablo-12’de E-cam/epoksi ve Karbon/epoksi kompozit için hesaplanan ortalama esneklik modülü ( $E_1$  ve  $E_2$ ) değerleri yer almaktadır. Ayrıca Şekil-13’de bu  $E_1$  ve  $E_2$  değerleri grafik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 12: E-cam/Epoksi ve Karbon/Epoksi Kompozit için x ve y Eksenlerinde Hesaplanan Ortalama Esneklik Modülü ( $E_1$  ve  $E_2$ ) Değerleri**

KOMPOZİTLER	$E_1$ (GPa)	$E_2$ (GPa)
E-cam/Epoksi	29,59	10,82
Karbon/Epoksi	76,23	8,70

**Şekil- 13: Malzemelerin x ve y Doğrultularındaki Esneklik Modülleri Grafiği**



Tablo-12 ve Şekil-13'te görüleceği üzere, E-cam/epoksi kompozit malzemenin esneklik modülleri x doğrultusunda 29,59 GPa iken y doğrultusunda 10,82 GPa'a düşmüştür. Karbon/epoksi kompozitin ise esneklik modülleri x doğrultusunda 76,23 GPa iken y doğrultusunda 8,70 GPa'a düşmüştür. Bu bulgulara göre, her iki kompozit malzemede de Young modülü değeri x doğrultusunda daha büyük ve y doğrultusunda ise çok daha küçük çıkmıştır.

Bu deneyde kullanılan aynı malzemelerin çekme deneyi ve ultrasonik yöntemle elde edilen esneklik sabitleri Tablo-13'te verilmiştir.

**Tablo 13: Çekme Deneyi ve Ultrasonik Yöntem Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Mekanik özellikler	Çekme Deneyi Sonuçları	Ultrasonik Yöntem Sonuçları <sup>(1)</sup>	Karşılaştırma %
<b>E<sub>1</sub> (E-cam/Epoksi) GPa</b>	29,59	33,51	88
<b>E<sub>2</sub> (E-cam/Epoksi) GPa</b>	10,82	14,94	72
<b><math>\nu_{12}</math> (E-cam/Epoksi)</b>	0,236	0,17	72
<b>E<sub>1</sub> (Karbon/Epoksi) GPa</b>	76,23	101,59	75
<b>E<sub>2</sub> (Karbon/Epoksi) GPa</b>	8,70	9,38	92
<b><math>\nu_{12}</math> (Karbon/Epoksi)</b>	0,40	0,92	43

Kaynak: <sup>(1)</sup> İşler,2015:100

Tablo-13'te görüldüğü gibi bu araştırmada elde edilen çekme deneyi sonuçları ve ultrasonik yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çekme deneyi

ve ultrasonik yöntemle elde edilen sonuçlara göre en yakın oran %88 ile E-cam/epoksi kompozitin  $E_1$  değeri olmuştur. E-cam/epoksi kompozitin  $E_2$  değeri %72 yakın çıkmıştır. E-cam/epoksi kompozitin Poisson değeri ( $\nu_{12}$ ) olarak %72 yakınlıkta bulunmuştur. Karbon/epoksi değerlerine gelince  $E_1$  değeri %75 yakın olmuştur. En fazla yakınlık ise %92 ile Karbon/epoksi kompozit malzemenin  $E_2$  değeri olarak hesaplanmıştır. Karbon/epoksi kompozit malzemenin  $\nu_{12}$  (Poisson oranı) ise %43 yakın çıkmıştır. Tablo-13'ten de görüleceği üzere çekme testi ile ultrasonik yönteminde elde edilen sonuçlar birbirlerine uyum sağlamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen çekme deneyinden elde edilen sonuçlar ile daha önce benzer malzemelerle yapılan çalışmalardaki sonuçlar karşılaştırılmış ve Tablo-14'te verilmiştir.

**Tablo 14: Çekme Deneyi ve Daha Önce Yapılmış Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Mekanik özellikler	Çekme Deneyi	Literatür	Karşılaştırma%
$E_1$ (E-cam/Epoksi) GPa	29,59	35,94 <sup>(1)</sup>	82
$E_2$ (E-cam/Epoksi) GPa	10,82	11,24 <sup>(1)</sup>	96
$\nu_{12}$ (E-cam/Epoksi)	0,236	0,30 <sup>(1)</sup>	87
$E_1$ (Karbon/Epoksi) GPa	76,23	67 <sup>(2)</sup>	88
$E_2$ (Karbon/Epoksi) GPa	8,70	7,60 <sup>(2)</sup>	87
$\nu_{12}$ (Karbon/Epoksi)	0,40	0,35 <sup>(2)</sup>	88

Kaynak: <sup>(1)</sup> Poyraz,2010:43 , <sup>(2)</sup> AL-Qrimli, Mahdi, and Alnaimi, 2015:33-41

Tablo-14'de görüldüğü gibi bu çalışmada elde edilen çekme testi sonuçları ile literatürdeki sonuçlar yüksek oranda benzerlik göstermiştir.

## BÖLÜM 5

### 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada E-cam/epoksi ve Karbon/epoksiden oluşan ortotropik kompozit malzemelerin Young modülleri ve Poisson oranları mekanik testlerle ölçülmüştür. Daha önce aynı malzemelerin tahribatsız yöntem olan ultrasonik yöntemle ölçülen esneklik sabitleri karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Fiberlerle takviye edilmiş polimer matrisli kompozit malzemeler üretilmekte ve birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dayanıklılığı, hafifliği, aşınma direnci gibi üstün özellikleri nedeniyle diğer malzemelere alternatif olarak tercih edilmektedir. Özellikle hava, otomobil, deniz, taşımacılık ve inşaat sektörleri ile askeri alanda karbon elyaf veya cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler metallere oranla mukavemet/ağırlık oranlarının büyük olması ve korozyona uğramamaları sebebiyle tercih edilmektedir. Bu yüzden kompozit malzemeleri tasarlamak ve analizlerini yapmak için mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Ortotropik kompozit malzemeler, elyaf yönlerine göre farklı mekanik özellik değerlerine sahip olabilmektedir. Young modülünün daha yüksek olduğu yönde cisim gerilim ve basınca daha fazla dayanmaktadır yani katılığı ve dayanımı daha yüksek olmaktadır. Young modülünün daha küçük olduğu yönde ise maddenin bozulması daha kolaydır. Atom düzeyinde ise esneklik modülü arttığında atomlar arası bağ daha kuvvetlenirken, bu modül azaldığında ise atomlar arası bağlar da daha zayıflamaktadır. Yani malzemelerin elastikiyet özelliklerinin bilinmesi o malzemelerin atom ve moleküller arasında oluşan bağ kuvvetleriyle ilgili daha fazla bilgi verebilir.

Elyaf takviyeli kompozit numunelere ait esneklik katsayılarına ve Poisson değerlerine ait veriler bir önceki bölümde belirtilmiştir. Yapılan analiz ve hesaplamalarda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo-2’de verilen her iki kompozit malzemenin matris kısmını oluşturan epoksi reçinenin esneklik (Young) modülü 3,5 GPa iken Young modülü 73 GPa olan E-cam elyaf takviye edilince oluşan E-cam/epoksi kompozitin en büyük Young modülü değeri çekme testinde ortalama olarak 29,59 GPa olarak ölçülmüştür. Young modülü 240 GPa olan karbon elyaf takviye edilince ise oluşan Karbon/epoksi kompozitin ortalama Young modülü değeri 76,23 GPa olarak bulunmuştur. Sonuç olarak Tablo-2 ve Tablo-11’de görüldüğü gibi her iki kompozit örneğinin çekme testiyle ölçülen esneklik modülü değerleri, numuneyi oluşturan matris ile elyafın Young modülü değerleri arasında çıkmıştır ve zayıf olan reçineye fiber takviye edilerek dayanıklılığının arttırıldığı gözlemlenmiştir.

Tablo-12’de görüldüğü gibi her iki malzeme örneğinde de fiber takviyesinin fazla olduğu doğrultuda  $0^0$ , Young modülü  $E_1$  Karbon/epoksi için 76,23 GPa ve E-cam/epoksi için 29,59 GPa olarak, fiber takviyesinin az olduğu doğrultuda  $90^0$  Young modülü  $E_2$  Karbon/epoksi için 8,70 ve E-cam/epoksi için 10,82 GPa olarak daha küçük bulunmuştur. Yani fiber doğrultusunda Esneklik modülü büyük değer alırken, elyaf doğrultusuna dik yönde ise küçük değer almıştır ve buna göre fiber yönelimine göre esneklik modülünün değiştiği tespit edilmiştir.

Karbon/epoksi ve E-cam/epoksi malzeme örneklerinden çekme testinde elde edilen paralel ve dik doğrultularda esneklik modülleri birbirleriyle oranlayarak karşılaştırıldığında; Tablo-12’de görüldüğü üzere x, y doğrultuları için sırasıyla 2,58; 0,80 bulunmuştur. y doğrultusundaki oranın 1’den küçük çıkmasının nedeninin dik doğrultuda Karbon/epoksi kompozitte yok denecek kadar az elyafla takviye edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Esneklik modülü değerlerinin x doğrultusunda ise üç katı çıktığı görülmektedir. Young modülü oranın üç kat fazla olması, Tablo-3’te de görüleceği üzere karbon fiber takviyeli kompozitin E-cam fiber takviyeli kompozite göre daha sağlam ve daha hafif olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmadaki sonuçlar ile ultrasonik yöntemle yapılan ölçümlerin karşılaştırma sonuçları Tablo-13'te verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde E-cam/epoksi malzemelerde elyaf doğrultusuna paralel Young modülü  $E_1$  için %88'lik bir uyum söz konusu iken, elyaf doğrultusuna dik Young modülü  $E_2$  için bu oran %72'ye düşmektedir. Karbon/epoksi malzemelerde ise elyaf doğrultusuna paralel esneklik modülü olan  $E_1$ 'de %75'lik bir uyum varken, elyaf doğrultusuna dik  $E_2$  için %92'lik bir yakınlık elde edilmiştir. Poisson oranlarına gelince E-cam/epoksi için %72'lik bir uyum söz konusu iken Karbon/epoksi için bu oran %43'te kalmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde Karbon/epoksi kompozitin Poisson oranı hariç diğer elde edilen sonuçlar ultrasonik yöntemle elde edilen sonuçlarla uyum sağlamaktadır.

Ultrasonik yöntemde bulunan değerler ile çekme testinde ölçülen değerler arasında ortaya çıkan az bir farklılığın sebebi malzemelerin üretilmesi sürecindeki şartlardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca kompozitlerin üretilmesi esnasında polimer küreleştiği için küreleşmeye bağlı mekanik özelliklerde farklılıkların ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

Tablo-14'te de bu çalışmada elde edilen sonuçlar, aynı malzemelerin Poyraz (2010) ve Al-Qrimli ve diğ. (2015) tarafından yapılan çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Buna göre yakınlık oranları %82 ile %96 arasında uyumlu çıkmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla büyük oranda uyum sağlamaktadır.

Poisson oranlarında ise bu çalışmada çekme testiyle elde edilen E-cam/epoksi kompozitin Poisson oranı yöntemle elde edilen Poisson oranı benzer bulunmuştur.

Bu çalışmada E-cam/epoksi ve Karbon/epoksi malzemeler için elde edilen esneklik sabitleri değerleri ultrasonik yöntem ile elde edilen esneklik sabitleri değerlerine benzerlik göstermektedir.

Sonuç olarak daha ucuz ve kolay ve aynı zamanda da tahribatsız yöntem olan ultrasonik yöntemle malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi tahribatlı ve daha zahmetli yöntem olan ve aynı zamanda malzemeye de zarar veren çekme testi yerine kullanılabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda daha fazla mekanik deneyler yapılarak ultrasonik yöntemle elde edilen verilerle karşılaştırmalar yapılabilir.



## KAYNAKÇA

- Abi, Erdiñç (2007). *Yapı Seramiklerinde Ultrases Geçim Hızıyla Malzeme Parametreleri İlişkisinin İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- AL-Qrimli, Haidar, Mahdi, Fadhil A. and Alnaimi, Firas B. I. (2015). Carbon/epoxy woven composite experimental and numerical simulation to predict tensile performance. *Advances in Materials Science and Applications*, June 2015, Vol. 4 Iss. 2, 33-41
- Asi, Dilek (2008). *Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Aslan, Züleyha ve Karakuzu, Ramazan (2002). Transient dynamic analysis of laminated composite plate subjected to low-velocity impact. *Mathematical & Computational Applications*. Vol. 7, No.1, 73-82.
- Aslan, Züleyha, Karakuzu, Ramazan ve Okutan, Buket (2003). The response of laminated composite plates under low-velocity impact loading. *Composite Structures*. Vol. 59, 119-127.
- ASTM D3039 / D3039M-17, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org
- Baucom, Jaret N. and Zikry, M.A. (2005). Low velocity impact damage progression in woven e-glass composite system. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing* 36(5), 658-664.
- Belingardi, Giovanni. and Vadori, Roberto (2002). Low velocity impact tests of laminate glass-fiber-epoxy matrix composite material plates. *International Journal of Impact Engineering*, 27, 213-229.
- Çolak, Fatih (2004). *Kimyasal Metotla Nikel Kaplanmış Tungsten Karbür Tozları Kullanılarak Seramik-Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ Metal Eğitim Anabilim Dalı, Afyon.
- Dinçer, Nihan (2004). *Hegzagonal Kristallerin Esneklik Özellikleri Üzerine Araştırma*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Güneş, Aydın ve Şahin, Ömer S. (2017). Tabakalı kompozitlerde farklı tabaka dizilimlerinin eğilme rijitliğine etkisi. *International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development. Isparta. September 21-24, 2017.* 100.
- İşler Hüseyin (2015). *Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Esneklik Katsayılarının Ultrasonik Ölçümü*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaya, Kerim D. ve Kılınç, Servet S. (2008). *Kompozit Malzemelerin Kayma Testi İçin Aparat Tasarımı, İmalatı Ve Kayma Gerilmesi Analizi*, Bitirme Projesi, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Kılıç, Erdoğan (2006). *Kompozit Malzemedeki Yapılan Yaprak Yayıların Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 71.
- Kinet, Ayhan (2008). *Tabakalı Kompozit Malzemelerin Serbest Titreşim Analizi Araştırma Projesi*, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 31.
- Mallick, P.K. (1993). *Fiber Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design*. Second Edition. New York, USA. Marcel Dekker.
- Mili, Fayçal ve Necib, Brahimi. (2001). Impact behavior of cross-ply laminated composite plates under low velocities. *Composite Structures*, 51, 237-224.
- Murugan, Ramasamy, Ramesh, R., and Padmanabhan, Krishan (2014). Investigation on static and dynamic mechanical properties of epoxy based woven fabric glass/carbon hybrid composite laminates. *Procedia Engineering*, 97, 459-468.
- Onaran, Kaşif (2006). *Mazeme Bilimi*. Ankara. Bilim Teknik Yayınevi.
- Oral, İmran (2011). *Çeşitli Polifonksiyonel Gruplu Modifiye Polistirenler ile Epoksi Reçinelerin Sentezi ve Bunlardaki Ultrases Hızlarının Ölçülmesi*, Doktora Tezi, SELÇUK ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Postacıoğlu, Bekir (1981). *Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, Cilt1, İç Yapı ve Mekanik Özellikleri*. İstanbul, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi. İ.T.Ü. Matbaası.
- Poyraz, Mehmet (2010). *Kompozit Malzemelerin Yay Elemanı Olarak Kullanılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 43s.

- Savaşkan, Temel (1999). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*. Trabzon. Derya Kitabevi.
- Serway, A.R. and Brichner, R. (2002). *Fen ve Mühendislik için Fizik 1*. Ankara.
- Song, Jun H. (2015). Pairing effect and tensile properties of laminated high-performance hybrid composites prepared using carbon/glass and carbon/aramid fibers. *Composites Part B: Engineering*, 79, 61-66.
- Tekalur, Srinivasan A., Shivakumar, Kunigal and Shukla, Arun (2007). Mechanical behavior and damage evolution in e-glass vinyl ester and carbon composites subjected to static and blast loads. *Composites: Part B: Engineering*, 39,57-65.
- Tuncel, Sabri (1987). *Ultrasonik Muayene Transduserleri Proje Sonuç Raporu*. Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Malzeme Araştırma Bölümü. Gebze.
- Valença, Silvio L., Griza, Sandro, Oliveira, Vandalucia G., Sussuchi, Eliana M., and Cunha, Frederico G. (2014). Evaluation of the mechanical behavior of epoxy composite reinforced with kevlar plain fabric and glass/kevlar hybrid fabric. *Composites Part B: Engineering*, 70, 1-8.
- Wrobel, Gabriel and Pawlak, Sebastian (2006). Ultrasonic evaluation of the fiber content in glass/epoxy composites. *Journal Of Achievements In Materials And Manufacturing Engineering*. Volume 18, Issues 1-2.
- Wrobel, G. and Pawlak, S.(2007). The effect of fiber content on the ultrasonic wave velocity in glass/polyester composites. *Journal of Achivements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol.20, Issues 1-2.
- Wang, Y., Li, J. and Zhao, D. (1994). Mechanical properties of fiber glass and kevlar woven fabric reinforced composites. *Composites Engineering*. 5: 1159-1175.
- Yılmaz, M. ve Altıntaş, S. (1997). Al-sicp kompozitinin ısı çevrim koşulu altında davranışının teorik ve deneysel incelenmesi. 9. *Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi. İstanbul*. 721-726.
- Zor, M. (2018). *Kompozit Malzeme Mekaniği - Ders Notları*. [http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel\\_bilgiler.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf). Erişim Tarihi: 30.01.2019.



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü**



**Özgeçmiş**

Adı Soyadı:	Mehmet KARABULUT	İmza:	
Doğum Yeri:	Konya		
Doğum Tarihi:	02.08.1975		
Medeni Durumu:	Evli		

**Öğrenim Durumu**

Derece	Okulun Adı	Program	Yer	Yıl
İlköğretim	Alparslan İlkokulu	.....	Konya	1985
Ortaöğretim	Meram A.T. M.L.	.....	Konya	1989
Lise	Meram A.T. M.L.	Bilgi İşlem	Konya	1993
Lisans	O.D.T.Ü Fen Ed.	Fizik Bölümü	Ankara	1998
Yüksek Lisans	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Fizik Eğitimi	Konya	2019
Becerileri:	Bilgisayar programlama, İngilizce, Eğitimde teknolojinin kullanımı, Web 2.0 Araçları			
İlgi Alanları:	Bilgisayar, Sinema, Futbol, Satranç			
İş Deneyimi:	M.E.B. İngilizce Öğretmeni Bozkır Anadolu Lisesi (1998-2002) Adil Karaağaç M.T.A.L. (2002-2017) Atatürk M.T.A.L.(2017- )			
Aldığı Ödüller:	M.E.B Teşekkür Belgesi			
Hakkımda bilgi almak için önerebileceğim şahıslar:	Prof. Dr. Hatice GÜZEL Prof. Dr. Mesut UYANER Doç. Dr. İmran ORAL Zafer SONEL (Atatürk MTAL Müdürü)			
Tel:	05052719596			
Adres	Yazır Mh. Akkonak Sk. Menekşe Konutları K/51 Selçuklu/Konya			