

T.C.  
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EPDM VE KARBON FİBER KATKILI ALÜMİNYUM VE BAKIR  
KOMPOZİT PLAKALARIN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan HAN

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Şerif ÇİTİL

ADİYAMAN, 2024

## ÖZET

### EPDM VE KARBON FİBER KATKILI ALÜMİNYUM VE BAKIR KOMPOZİT PLAKALARIN İNCELENMESİ

İrfan HAN

Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı

Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran/2024, Sayfa: 57

Danışman: Doç. Dr. Şerif ÇİTİL

Kompozit malzemeler, ayrı ayrı bileşenlerin tek başına kullanıldığından daha iyi özellikler ile sonuçlanan iki veya daha fazla malzemenin kombinasyonundan oluşan malzemelerdir. Günümüzde havacılık, savunma sanayi, otomobil, inşaat vs. gibi alanlarda kullanımı gittikçe yaygınlaşan kompozit malzemeler yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek ısıl dayanımı ve ekonomik olması bakımından kullanımı artmıştır. Bu tez çalışmasında metal ve metal olmayan malzemeleri bir araya getirerek mukavemet etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen malzemenin günümüzde savunma sanayi alanında kullanılan insansız hava aracı (İHA) ve silahlı insansız hava araçlarının (SİHA) gövde imalatında kullanılmak üzere hafif ve yüksek mukavemetli bir malzeme elde edilerek hava araçlarında yakıt tasarrufuna gidilmesi ve daha uzun bir menzilde uçuşu sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmalar için alüminyum (AL-1050-H18), bakır (CuCrZr) levhalar, karbon fiber plaka ve EPDM Kauçuk malzemeler bir araya getirilerek kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Özel olarak hazırlanan kalıplarda katman dizilimi gerçekleştirilen plakalar 300x300 mm ölçülerinde kesilip yüksek sıcaklıklı silikon DHS yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına göre oluşturulan bulk numuneleri elde edilmiş çekme, kayma ve darbe testlerine tabi tutularak mekanik özellikleri incelenmiştir. Testlerin sonunda alınan veriler sonucunda grafikler oluşturulup, tablolar hazırlanarak sonuçlar birbiriyle karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit malzeme; EPDM kauçuk; Savunma sanayi.

## ABSTRACT

### EXAMINATION OF EPDM AND CARBON FIBER-ENHANCED ALUMINUM AND COPPER COMPOSITE PLATES

İrfan HAN

Department of Mechanical Engineering

Adıyaman University, Graduate Education Institute, June/2024, Page: 57

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şerif ÇİTİL

Composite materials are materials composed of two or more components that result in better properties than when the individual components are used alone. Nowadays, the use of composite materials is becoming increasingly widespread in various fields such as aerospace, defense industry, automotive, construction, etc., due to their high strength, low density, high heat resistance, and economic advantages. This thesis aims to investigate the effects of combining metal and non-metal materials on strength. The goal is to obtain a lightweight and high-strength material for use in the manufacturing of unmanned aerial vehicles (UAVs) and armed unmanned aerial vehicles (UCAVs) in the defense industry, thereby achieving fuel savings and enabling longer range flights in aircraft. Composite materials were produced by combining aluminum (AL-1050-H18), copper (CuCrZr) sheets, carbon fiber plates, and EPDM rubber materials. Layer stacking was performed in specially prepared molds, and the plates were cut into 300x300 mm dimensions and bonded together with high-temperature silicone DHS adhesive. Bulk specimens were obtained according to ASTM (American Society for Testing and Materials) standards and subjected to tensile, shear, and impact tests to examine their mechanical properties. Data obtained from the tests were used to create graphs and tables, and the results were compared and interpreted.

**Keywords:** Composite material; EPDM rubber; Defense industry.

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın gerekleőtirilmesinde bana her konuda yardımcı olan, önerileri ile beni yönlendiren, deneylerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesinde desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Şerif ÇİTİL' e saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bütün hayatım boyunca bana maddi manevi yönden desteklerini esirgemeyen, çalıőmalarım boyunca bana sabırla destek olan aileme ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan arkadaşlarıma teşekkür ederim.



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Adıyaman Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İrfan HAN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK SAYFASI .....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
GÖRSELLER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kauçuk Malzeme .....	3
1.2. Kompozit Malzemelerin Birleştirme Yöntemleri .....	3
1.2.1. Mekanik birleştirme yöntemi .....	3
1.2.2. Fiziksel birleştirme yöntemi .....	4
1.2.3. Kimyasal birleştirme yöntemi .....	4
1.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları .....	5
1.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları.....	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	12
3.1. Kompozit Plakaların Üretimi .....	12
3.2. Yapıştırıcı Malzemenin Özellikleri .....	14
3.3. Yüzey Hazırlanması ve Malzemelerin Üretimi .....	15
3.3.1. Çekme deneyi.....	17
3.3.2. Kayma deneyi .....	18
3.3.3. Darbe deneyi .....	19
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	21
4.1. Deneysel Sonuçlar .....	21
4.1.1. Çekme testi deneysel sonuçları.....	21

	Sayfa
4.1.2. Kayma testi deneysel sonuçları .....	26
4.1.3. Darbe testi deneysel sonuçları .....	30
5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	38
KAYNAKÇA.....	40
ÖZGEÇMİŞ	



## TABLULAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 3.1.</b> AL-1050-H18 malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri .....	13
<b>Tablo 3.2.</b> CuCrZr malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri .....	14
<b>Tablo 3.3.</b> Karbon fiber malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri .....	14
<b>Tablo 3.4.</b> EPDM kauçuk malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri .....	14
<b>Tablo 3.5.</b> DHS yapısal yapıştırıcının mekanik ve fiziksel özellikleri .....	14
<b>Tablo 4.1.</b> Darbe testi sonucunda numunelerin ortalama değerleri .....	36
<b>Tablo 4.2.</b> Oluşturulan kompozit plakaların ortalama yoğunlukları .....	37



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 1.1.</b> Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	2
<b>Şekil 1.2.</b> Mekanik, fiziksel ve kimyasal birleştirme yöntemlerinde oluşan gerilme yığılmaları .....	5
<b>Şekil 3.1.</b> Tip-I katman dizilimi .....	13
<b>Şekil 3.2.</b> Tip-II katman dizilimi .....	13
<b>Şekil 3.3.</b> Tip-III katman dizilimi .....	13
<b>Şekil 3.4.</b> Tip-IV katman dizilimi .....	13
<b>Şekil 4.1.</b> AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	22
<b>Şekil 4.2.</b> AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği ....	22
<b>Şekil 4.3.</b> AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	23
<b>Şekil 4.4.</b> AL1050-KarbonFiber-EPDM-CuCrZr ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	23
<b>Şekil 4.5.</b> CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	24
<b>Şekil 4.6.</b> CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği ....	24
<b>Şekil 4.7.</b> CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	25
<b>Şekil 4.8.</b> CuCrZr-KarbonFiber-EPDM-AL-1050-H18 ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	25
<b>Şekil 4.9.</b> AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	26
<b>Şekil 4.10.</b> AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr ortalama kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	27
<b>Şekil 4.11.</b> AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	27
<b>Şekil 4.12.</b> AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr ortalama kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	28
<b>Şekil 4.13.</b> CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	28
<b>Şekil 4.14.</b> CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 ortalama kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	29

<b>Şekil 4.15.</b>	CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	29
<b>Şekil 4.16.</b>	CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 ortalama kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	30
<b>Şekil 4.17.</b>	AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr kuvvet- deplasman grafiği.....	32
<b>Şekil 4.18.</b>	AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr ortalama kuvvet-deplasman grafiği.....	33
<b>Şekil 4.19.</b>	AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr enerji-zaman grafiği .....	33
<b>Şekil 4.20.</b>	AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr kuvvet-deplasman grafiği .....	33
<b>Şekil 4.21.</b>	AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr ortalama kuvvet-deplasman grafiği .....	34
<b>Şekil 4.22.</b>	AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr enerji-zaman grafiği .....	34
<b>Şekil 4.23.</b>	CuCrZr-EPDM-AL1050-H18 kuvvet-deplasman grafiği .....	34
<b>Şekil 4.24.</b>	CuCrZr-EPDM-AL1050 ortalama kuvvet-deplasman grafiği .....	35
<b>Şekil 4.25.</b>	CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 enerji-zaman grafiği .....	35
<b>Şekil 4.26.</b>	CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL1050-H18 kuvvet-deplasman grafiği .....	35
<b>Şekil 4.27.</b>	CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL1050-H18 ortalama kuvvet-deplasman grafiği .....	36
<b>Şekil 4.28.</b>	CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 enerji-zaman grafiği .....	36

## GÖRSELLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Görsel 3.1.</b> Kompozit plaka üretimi ve pres makinesi .....	12
<b>Görsel 3.2.</b> Yapıştırıcı malzemenin levhalara uygulanmış hali.....	15
<b>Görsel 3.3.</b> Malzemelerin kesilmesi ve yüzeyin hazır hale getirilmesi .....	16
<b>Görsel 3.4.</b> Malzemelerin yapıştırıcı uygulamaları ve pres makinesi kalıbına konulup presleme işlemi .....	16
<b>Görsel 3.5.</b> Malzemelerin preslenip oda sıcaklığındaki ortamda bekletilmesi.....	17
<b>Görsel 3.6.</b> ASTM ölçülerine göre kesimi yapılan plakalar .....	17
<b>Görsel 3.7.</b> Shimadzu mekanik çekme deney cihazına yerleştirilen numuneden bir görünüm .....	18
<b>Görsel 3.8.</b> Kayma bulk numune ölçüleri.....	18
<b>Görsel 3.9.</b> Kayma test cihazına yerleştirilen numune kesitinden bir görünüm.....	19
<b>Görsel 3.10.</b> Darbe deney cihazı ve deney cihazına yerleştirilen numuneden bir görünüm .....	20
<b>Görsel 4.1.</b> AL1050-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yandan görünümü.....	21
<b>Görsel 4.2.</b> CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL 1050 numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yandan görünümü.....	21
<b>Görsel 4.3.</b> Kayma test cihazında testi yapılan numuneler.....	26
<b>Görsel 4.4.</b> Darbe testi sonucunda CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yan yüzeyinden görünümü .....	31
<b>Görsel 4.5.</b> Darbe testi sonucunda AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yan yüzeyinden görünümü .....	32

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MMK	: Metal Matrisli Kompozit
ASTM	: American Society form Testing and Materials
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra
NBR	: Nitrile Butadiene Rubber
EPDM	: Etylene Propylene Dianene Monomere



## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemelerin tanımı esnektir ve belirli tanımlara uyacak şekilde genişletilebilir. En genel anlamda kompozit malzemeler, ayrı ayrı bileşenlerin tek başına kullanıldığında daha iyi özellikler ile sonuçlanan iki veya daha fazla malzemenin kombinasyonundan oluşan malzemeler olarak tanımlanır. Geleneksel mühendislik malzemeleri (çelik, alüminyum vb.) aynı malzemenin farklı malzemelerini temsil edebilen ve bir kompozitin geniş tanımına uyan safsızlıklar içerir, ancak safsızlık fazının elastik modülü veya mukavemeti saf malzemeninkiyle neredeyse aynı olduğu için kompozit malzeme olarak kabul edilmez (Staab, 2015: 1).

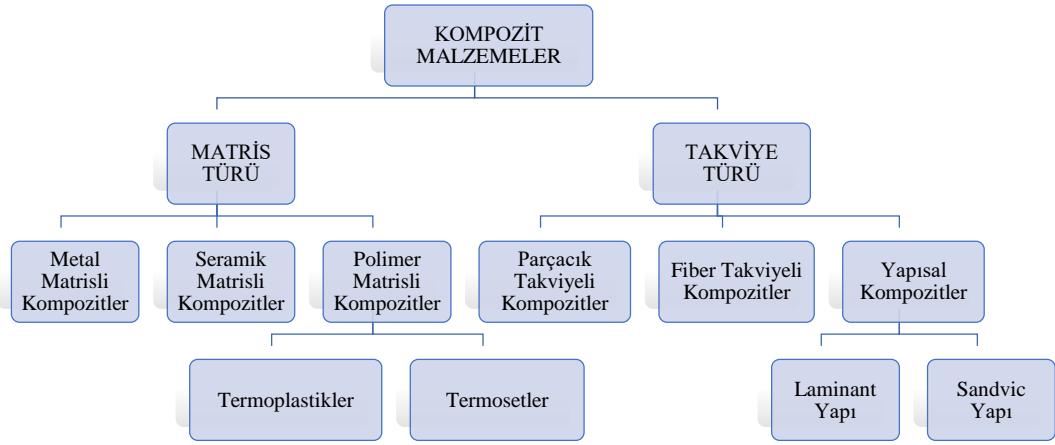
Bir kompozitin bileşenleri genellikle bir veya daha fazla süreksiz faz sürekli bir faza gömülecek şekilde düzenlenir. Süreksiz faz takviye olarak adlandırılır ve sürekli faz matristir. Genel olarak, takviyeler matristen çok daha güçlü ve serttir. Matris malzeme kompozit malzemeye şeklini verir ve takviye elamanını çevresel etkilere karşı korur. Takviye elemanı ise kompozit malzemeye dayanım, rijitlik ve diğer mekanik özellikleri verir (Kabir vd. 2023: 4) . Kompozit malzemeler metal, metal olamayan veya diğer mevcut malzemelere göre avantajları, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, süneklik ya da sertlik ve yoğunluğun azalması gibi özellikler katmaktadır. Kompozit malzemelerin üretilmesindeki temel amaç malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirilmesidir.

Kompozit malzemeler genel olarak temel malzemelerin bir veya birkaçının özelliklerinden yararlanarak bir araya getirilmesi amacıyla daha güçlü bir malzeme elde etmeyi sağlamak için üretilirler. Bu avantajlar;

- ✓ Yüksek mukavemet
- ✓ Darbeye karşı dayanım
- ✓ Düşük yoğunluk
- ✓ Isıl dayanım
- ✓ Maliyet
- ✓ Sünek davranış

olarak sınıflandırılabilir (Kaya, 2016: 39).

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Şekil 1.1):



**Şekil 1.1.** Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Metal matrisli kompozitleri (MMK) makro veya mikro boyutlu metal veya seramik partiküller, lifler, polimerler vb. ile güçlendirilmiş bir grup metal veya alaşımlardan oluşur. Saf metal muadillerinden nispeten hafif olan yüksek özgül mukavemetli bir sınıftır. MMK'ların fonksiyonel özellikleri, bir matris, takviye ve imalat tekniklerinin kombinasyonuna dayanarak tanımlanır ve üretilir. Genellikle, MMK'lar bakır alaşımları, demir alaşımları, titanyum alaşımları, alüminyum alaşımları vb. alaşımlarından oluşur. MMK'ların yüksek mukavemet, daha yüksek süneklik, gelişmiş tokluk, termal iletkenlik, darbe ve termal şok direnç özellikleri ve şekillendirilebilirlik vb. özellikleri ile diğer kompozitlere göre temel avantajları olarak değerlendirilir (Kabir vd. 2023: 2).

Bakır bazlı MMK'lar düşük yoğunluk, yüksek yorulma, özgül mukavemet, yüksek elektrik ve termal iletkenlik ve iyi aşınma direnci özelliği nedeniyle elektronik, otomobil, havacılık, termal yönetim ve toz iletim sektörlerinde yoğun kullanıma sahiptir (Kabir vd. 2023: 4).

Alüminyum bazlı MMK'lar yüksek aşınma, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, spesifik modül, korozyon direnci özellikleri ve paslanmaz çelikten nispeten düşük maliyet hacim oranı gibi üstün mekanik özellikleri ile yapısal bir malzemeler olarak ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle alüminyum bazlı MMK'lar özellikle otomobil ve havacılık endüstrisinde yoğun kullanıma sahiptir (Kabir vd. 2023: 5).

Polimer matris kompozitleri, takviye edici bir maddeye sahip bir matris olarak polimerik bir reçineden oluşur. Bu kompozitlerin özellikleri, geniş uygulama alanları, ortam sıcaklığında iyi özellikleri, üretim kolaylığı ve düşük üretim maliyetleri içerir. Bu tip kompozitler cam, karbon ve aramid olmak üzere 3'e ayrılır (Kasiri ve Brabazon, 2021: 837).

Seramik esaslı kompozitler seramik ve diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, seramikler yüksek sıcaklıklarda kolayca kullanılabilir ve yüksek sertlik ile mukavemet sağlar. Ayrıca düşük yoğunluğa, termal genleşme katsayısına ve düşük elektriksel ve termal iletkenliğe sahiptirler (Kasiri ve Brabazon, 2021: 838).

Fiber takviyeli kompozitler, aralarında net bir arayüz bulunan, düşük mukavemetli bir matrise gömülü yüksek mukavemetli, liflerden oluşur. Fiber takviyeli kompozitlerin tasarımı, aynı veya daha düşük kütle miktarı için sıkıştırma ve çekme gerilmesi gibi mekanik özellikleri geliştirmek için uygulamalara göre belirli bölgelerin güçlendirilmesine olanak sağlayan esnekliktir. Hafif yoğunlukları sebebiyle, kompozit malzemelerin yorulma mukavemeti ve arıza hasarı durumunda, metalik malzemelerden daha üstündür (Grujović ve Slavkovic, 2021: 244).

## **1.1. Kauçuk Malzeme**

Doğal kauçuk, çok iyi düzeyde mukavemeti, esnekliği ve elastikiyeti nedeniyle en yaygın kullanılan genel kauçuk hammaddelerinden biridir. Doğal kauçuk kendi kendini iyileştirme performansının donatılması, kaynakların korunması ve çevrenin korunması için büyük öneme sahiptir. Bununla birlikte doğal kauçuk kovalent olmayan etkileşimler oluşturmak için aktif gruplardan yoksun olup doğal kauçuk zincirleri, kendi kendini iyileştirmeyi sağlamak için kimyasal modifikasyonlarla gerekli fonksiyonel gruplarla donatılır (Wu vd. 2023: 3).

## **1.2. Kompozit Malzemelerin Birleştirme Yöntemleri**

Kompozit malzemelerin birleştirme yöntemleri 3 başlıkta incelenir. Bu yöntemler şu şekildedir:

- Mekanik birleştirme yöntemi
- Fiziksel birleştirme yöntemi
- Kimyasal birleştirme yöntemi

olmak üzere 3 yöntem ile yapılır.

### **1.2.1. Mekanik birleştirme yöntemi**

Mekanik birleştirme, iki veya daha fazla nesneyi mekanik olarak birleştirmek için bir cihazın kullanılmasını sağlayan bir işlemdir. Mekanik bağlantılar, bileşenleri temas halinde tutmak ve sistemdeki gerilme gerilmesinin dengesini sağlamak için eklem boyunca basınç

kalıntısı gerilmeleri kullanır. Bağlantı elemanları, tamir edilebilirlikleri ve değiştirilebilirlikleri nedeniyle yüksek yük taşıma kabiliyetine sahip yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. En çok kullanılan bağlantı elemanları vidalar, perçinler ve cıvatalardır. Mekanik birleştirme yöntemi bazı avantajlar sunar. Bunlar:

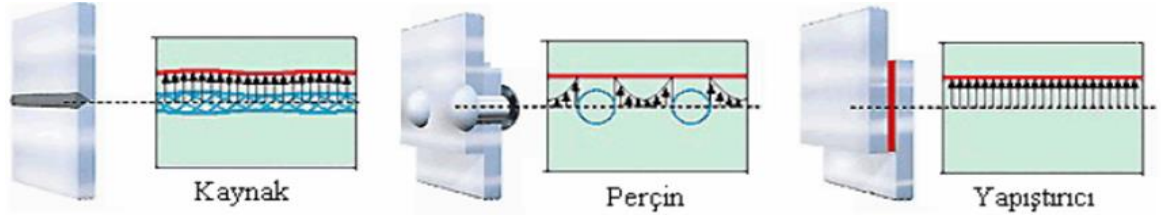
- Yüzey hazırlığı gerektirmezler
- Termal döngü ve yüksek nemli ortamlardan olumsuz etkilenmemeleri
- Yapısal ve yüzey hasarı olmadan sökülebilirler
- Hasar / Aşınma açısından görsel olarak kontrol edilmeleri kolaydır (Astarita vd. 2021: 305).

### **1.2.2. Fiziksel birleştirme yöntemi**

Fiziksel birleştirme yöntemi, enerjii parçalara bağ veya üçüncü bir malzemeye (lehimleme) aktararak birleştirme malzemelerine izin veren işlemlerdir ve genellikle kaynak teknikleri olarak bilinirler. Fiziksel birleştirme işleminde, parçalar ısı ve basınç veya her ikisinin uygulanması yoluyla temas yüzeyleri boyunca birleştirilecek şekilde yapılır. Enerji, malzemelerin erimesine veya erime sıcaklığına ulaşmadan yumuşamasına neden olabilir. Bu yöntemin temel özelliği, parçalar arasındaki enerji transferinin, malzemelerin arayüzde karışmasına neden olması ve güçlü bir bağı garanti etmesidir (Astarita vd. 2021: 306).

### **1.2.3. Kimyasal birleştirme yöntemi**

Yapışma ile birleştirme, geleneksel birleştirme yöntemlerine göre yapılar içindeki yük ve gerilmelerin dağılımının sürekliliği ve daha düşük ağırlık ve maliyet gibi çeşitli avantajlar sağlar. Yapıştırıcılar, sunulan tüm birleştirme yöntemleri arasında en çok yönlü olanıdır. Yapıştırıcılar, metaller, seramik ve bunların bir kombinasyonu dahil olmak üzere farklı malzeme türleri için uygun olabilir. Havacılık, otomotiv ve inşaat endüstrilerinde yaygın olarak kullanılırlar. Yapıştırıcı kullanılarak kimyasal birleştirme işlemine adezyon bonding denir. Yapışkan olarak adlandırılan iki malzemeyi birleştirmek için, ilgili bölgeye bir yapıştırıcı tabakası yerleştirilir ve kürlenmesine izin verilir (Astarita vd. 2021: 306).



**Şekil 1.2.** Mekanik, fiziksel ve kimyasal birleştirme yöntemlerinde oluşan gerilme yığılmaları (Kaynak: Wake, 1971: 201)

### 1.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelere geçmenin başlıca nedenleri, metaller, plastikler ve ahşap gibi geleneksel malzemelerle karşılaştırılabilir özellikleri ve performanslarından kaynaklanırken, hafiflik, korozyon direnci ve parça konsolidasyonu gibi kendi avantajlarını göstermektedir. Kompozit malzemelerin bir diğer avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Sapuan, 2017: 29):

- Hafiflik
- Yüksek darbe dayanımı
- Kimyasal korozyon direnci
- Parça konsolidasyonu
- Kolay bir şekilde onarımı olması
- Karmaşık şekillerin kolayca üretilebilmesi
- İyi düzeyde kalıplanabilir olması
- Yüksek özgül mukavemete sahip olması
- Daha uzun bir yorulma ömrüne sahip olması
- Özelliklerini yüksek sıcaklıkta koruyabilir olması
- İyi düzeyde elektrik ve ısı yalıtımına sahip olması
- Yüksek özgül sertlik değerine sahip olması
- Ağır yük altında iyi aşınma direncine sahip olması
- Manyetik olmayan bir yapıda olması
- Bakımları ve üretimi kolay bir şekilde yapılması

### 1.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları olup bunlarda aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Süneklik eksikliğinin olması
- İmalatın doğası gereği parçaların özelliklerinde değişiklik göstermesi

- Delaminasyon ve bölünmeye karşı hassastır
- Kütleme işlemi sırasında büzülme nedeniyle oluşan gerilme yığılmaları
- Solventler ve nemlenme durumunda parçalanmaları

Bu yönleri bakımından kompozitler dezavantaj olarak sıralanır (Sapuan, 2017: 32).



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kompozit malzemeler yüzyıllardır kullanılmaktadır. MÖ 3400 civarında, insan kontrplak oluşturmak için ahşap çizgileri farklı açılarda yapıştırdı. Mısırlılar, kartonaj oluşturmak için M.Ö. 2181-2055'te sıvaya batırılmış keten veya papirüs katmanları kullandılar. Başlangıçtan itibaren kompozit terimi ise M.Ö.1500'de kullanılmıştır. M.Ö.1500 civarında mısırlılar, toz tuğlaları, çanak çömlekleri ve tekneleri güçlendirmek için çim kullandılar. Erken Mezopotamyalı, Mısırlı tasarımcılar ve zanaatkarlar, saman ve çamur karışımı ile sağlam ve sert yapılar yaptılar (Kataria vd. 2023: 2).

M.Ö.25'ten sonra, mimarlık üzerine 10 kitap kompozitler ile ilgili gelişmeyi tanımladı ve çeşitli kireç, harçları ve karışımları tasvir etti. Geçmiş dönemde araştırmalar sonucunda mühendisler, üreticiler, zanaatkarlar ve yaratıcılar kompozit malzemelerin belirli bir alanda kullanımını daha sade bir şekilde ilerletmek için çaba sarf ettiler (Kataria vd. 2023: 6).

M.S.1200'de Moğollar, 14. yüzyıla kadar keskin silahlar olan sıradan bitkisel çam reçinesi ile bağlanmış ahşap, bambu, kemik, sığır tendonları, boynuzlar, bambu ve ipek kombinasyonundan yapılan ilk kompozit yayları icat ettiler. Daha sonra, 1870'ten 1890'a kadar kompozit malzemenin ilerlemesi, mühendislik sıkıntısı nedeniyle değişmeye başladı (Kataria vd. 2023: 7). Modern döneme gelindiğinde ise, kompozit malzemelerin ilerlemesi bilim adamlarının plastiklerin geliştirilmesine odaklanana kadar devam etmiyordu.

1900'lü yılların başlarında vinil, fenolik, polistiren ve polyester gibi plastik malzemeler geliştirildi. 1907'de Bakalit gibi en önde gelen plastiklerden üretilen parçalar geliştirildi. Daha sonrasında reçineler geliştirilerek 1930'lardan itibaren devam eden ve bugün kompozit işinde hangi tekniklerin kullanıldığına dair her şeyi hesaplayıp kaleme alan Owens corning, birincil cam elyafını tanıtarak polimer endüstrisine bir destek veren cam elyafı üretmeyi başardı. 1936'da doymamış polyester reçinelerin patenti alındı. Diğer daha iyi reçine yapıları 1938'den itibaren kullanım girmeye başlamıştır (Sapuan, 2017: 33).

1947 yılına gelindiğinde, tamamen kompozit çerçeveli bir araç yapıldı ve test edildi.

1950'lerin başında kapalı pultrusion, vakum torbası kalıplama ve büyük ölçekli filament sargısı gibi üretim yöntemleri ileriye taşınmıştır. Filament sargısı, altmışlı yıllarda ve sonrasında uzayın keşfedilmesini sağlayan devasa ölçekli roket araçlarının fikri haline geldi. 1961'de birincil karbon fiber patentli hale geldi ve karbon fiber kompozitler birkaç yıl sonra ticari olarak kullanıldı. Denizcilik pazarı, 1960'lı yıllarda kompozit malzemelerin en büyük müşterisi haline geldi. 1990'lı yılların ortalarına gelindiğinde, kompozitler geleneksel

malzemelere göre ücreti bakımından güçlü bir alternatif olarak piyasada yer alamaya başladı (Sapuan, 2017: 35). 2000'li yılların ortalarında, 787 Boeing Dreamliner'ın geliştirilmesi, yüksek enerjili ve esnek olmayan uygulamalar için kompozitleri test etti.

Günümüzde, kompozit maddelerin geliştirilmesi, araçlarda, ev aletlerinde ve yapı endüstrilerinde uygulamasını sürekli olarak arttırmaktadır. Ve şimdi kompozitler nanoteknolojiye girmeye yeni başlıyorlar.

Pir İ (2022), halloysite nanotüp ve nano kauçuk parçacık takviyeli epoksi imalatı ve mekanik karakterizasyonu adlı çalışmasında çeşitli partikül takviyeli kompozitlerin imalatını yaparak birim şekil değiştirme hızlarına bağlı olarak kompozitlerin mekanik karakterizasyonu ve darbe performanslarını incelemiştir. Çalışmalarında saf epoksi, HNT ve Albipox 1000 takviyeli epoksileri tüm malzemeler ile kombinasyonlayarak malzemelerin imalatını gerekli prosedürlerde gerçekleştirmiştir. Daha sonra imalatı yapılan numuneler, çekme deneyi, üç nokta eğme deneyi, Charpy darbe deneyi ve taramalı elektron mikroskobu gibi deneysel yöntemlere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda ise, farklı özelliklere sahip takviye elemanları kullanılarak epoksi matris üzerinde, rijitlik, süneklik ve tokluk gibi parametreler göz önünde tutularak kompozit malzemelerin üretimi için faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Albayrak M (2022), çalışmasında, farklı yüzey geometrilerine sahip eğri yüzeyli kauçuk ara tabakalı cam fiber kompozitleri vakum infüzyon yöntemiyle üretmiştir. Daha sonra üretmiş olduğu sandviç plakların darbe tepkileri ve hasar yüklerini incelemiştir. Elde edilen sonuçları karşılaştırdığında ise sayısal verilerin deneysel sonuçlar ile uyum içinde olduğu sonucuna varmıştır.

Balkı İ (2023), bu tez çalışmasında farklı miktarlarda takviye edilmiş kauçuk silindirleri basma yükü altında sıkıştırarak malzemenin mekanik etkilerini sonlu elemanlar analiz yöntemiyle incelemiştir. Deneysel yöntemler ile elde ettiği sonuçlar ile sonlu elemanlar analiz yöntemi ile girilen veri sonucunda elde edilen sonuçların birbirine yakın olmasıyla yapılan çalışmanın verimli sonuçlandığı gözlemlenmiştir.

Gideroğlu K (2022), tez çalışmasında metal ve metal olmayan malzemeleri bir araya getirerek oluşturduğu kompozit malzemeyi mekanik yönden deneysel olarak incelemiştir. Üretmiş olduğu malzemeyi dünyada kullanımını giderek artan SİHA ve İHA'ların imalatında kullanımının uygunluğunu test etmek amacıyla çeşitli deneylere tabi tutarak incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda malzemenin yeterli koşulları sağladığı gözlemlenmiştir.

Dinç Ö (2022), kauçuk malzemeye belli oranlarda sisal elyaf ekleyerek yapmış olduğu bu tez çalışmasında ürettiği kompozit malzemeleri mekanik testlere tabi tutarak elde ettiği sonuçları yorumlamıştır. Bu çalışmasında kauçuk olarak NBR kauçuk tercih ederek bu kauçuğun içerisine belli oranlarda sisal elyafı belirli ölçülerde keserek kauçuk malzemeyle hamur şeklinde sarmalayıp daha sonra belirli ölçüler haline getirerek deneylere tabi tutmuştur. Yapmış olduğu mekanik deneyler neticesinde malzeme yoğunluk analizi, sertlik analizi, üç nokta eğme analizi, izod darbe test analizi olumlu sonuçlanmış olup, çekme mukavemet analizi, aşınma analizinin olumsuz sonuçlandığı gözlemlenmiştir.

Şahin B (2022), çalışmalarında hidrofobik yapıdaki EPDM kauçuk karışımı ile polimerleri karıştırarak elde etmiş olduğu hidrofolik kauçuk karışımının fiziksel ve mekaniksel etkilerini incelemiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda hacimce saf sudan yaklaşık 7 kat, musluk suyundan yaklaşık 6 kat ve tuzlu suda yaklaşık 2 kat şişebilen bir polimer kullanarak hazırlamış olduğu EPDM kauçuk karışımını elde etmiştir. Bu tez çalışmasındaki amacı metro veya deniz altı su tünellerinin inşaatında meydana gelen boşluklardaki su sızıntısını ortadan kaldırıp tünel çalışmalarındaki bu temel problemi ortadan kaldırmayı amaçlamıştır.

Çitil Ş (2012), bu çalışmasında kapakları dışarıda çift takviyeli yapıştırma bağlantılarıyla kapakları gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantılarını ortası boş ve ara elemanlı olacak şekilde birleştirip bunların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli deneylere tabi tutmuştur. Bu deneyler sonucunda kapakları dışarıda ortası boş ve ara elemanlı bağlantıları karşılaştırıp, ortası boş yapıştırma bağlantılarının daha fazla yük çektiğini gözlemlemiştir. Kapak kalınlığının yükselmesi ile şekil değişiminin azaldığını gözlemlemiştir, bunun sonucunda gerilme yükünün artmasına ve kapaklar üzerinde taşınan yükün azaldığı sonucuna varmıştır. Bu çalışmanın amacı hasarlı bölgenin tamir edilmesinin kapaklı veya ortası boş ve ara elemanlı olması durumlarını göz önünde bulundurarak tamir bakımından uygun olan bir yöntemin seçilmesi amaçlanmıştır.

Yılmaz D (2017), çalışmasında farklı dizilimlere sahip olan karbon fiber tabakalı levhalarda darbe dayanımını test etmek üzere darbe deneyleri gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarında tüm deney numunelerinde darbeye maruz kalan ön yüzeyin arka yüzeydeki hasardan daha az olduğunu gözlemlemiştir. Farklı sıcaklıklarda numunelere uygulanan darbe testlerinde numunelerdeki sıcaklığın azalmasıyla tabakalar arasında ayrışmanın arttığı gözlemlenmiştir. Darbe deneylerinde temas yüzeylerine etki eden kuvvetin hertz kriterindeki

temas yüzey kuvvetini geçtiğinde numuneler üzerinde daha fazla hasar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Erkek S (2016), çalışmasında kauçuk stoperin sonlu elemanlar yöntemi ile hiper elastik modelleme, statik ve dinamik analizlerini gözlemlemiştir. Analizler sonucunda kauçuk malzemenin z eksenine yönünde sıkıştırılması sonucunda oluşan gerilmeler ve yer değişim değerleri incelenerek statik rijitlik eğrisi çıkarılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlara göre kauçuğun sıkıştırılmaz özelliğinden dolayı yer değişim değerinin artması sonucunda rijitliğin de aynı oranda arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda diğer veriler ışığında viskoelastik analizler ile gerilme gevşeme grafiği elde edilmiştir. Bu grafik sonucuna göre sıkıştırılan stoperin içindeki gerilimin zamanla azaldığı tespit edilmiştir.

Erdem İ (2015), tez çalışmasında alüminyum esaslı bakır elyaf takviyeli kompozit malzemelerin sıcak presleme yöntemi ile üretiminin yapılabildiği araştırılmıştır. Kompozit malzemenin üretiminde farklı hacim oranlarında ve sabit çapta bakır elyafları folyo halindeki alüminyum malzemenin içerisine yerleştirilmiştir. Ara yüzeye yerleştirilen malzemeler farklı sıcaklıklarda numuneler üretilerek numunelerin mekanik ve kimyasal bağlanmalarının olduğu sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Bu veriler ışığında malzemenin optimum üretim parametresi belirlenmiştir.

Güney A (2017), tez çalışmasında fiber takviyeli kauçuk katkılı bir kompozit plaka üretimi yaparak, üretilen plakaya farklı yükler altında teste tabi tutup mekanik davranışlarını incelemiştir. Bu çalışmada ilk önce deneysel ortamda kompozit malzemedan oluşturulan numuneler test edilmiştir. Daha sonra SolidWorks programı ile numuneler iki ve üç boyutlu şekilde çizimi yapılabildiği, ANSYS Workbench programı ile çizilen bu numuneler analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalardan sonra deneysel veriler ile ANSYS Workbench programından elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar analiz edildiğinde sabit yük altında fiber açılarının artması durumunda, çap ve mesafelerin arttığı, normal gerilmelerin ise azaldığı gözlemlenmiştir. ANSYS programında elde edilen verilerde fiber çaplarının küçük olduğu durumlarda, yük uygulandığında fiber ile kauçuk arasındaki yapışma birliktir durumları sıkıntıya girmektedir. Dolayısıyla test edilen analizler hata vermekte olduğu gözlemlenmiştir.

Penekli U (2021), çalışmasında araçlardaki triger kayışı ve motora hareket sağlayan kasnak parçalarını sonlu elemanlar yöntemiyle mekanik analizlerini inceleyip deneysel veriler ile karşılaştırılıp en iyileme çalışması yapılmıştır. Deneysel sonuçlarda kauçuk numune deneylerinde elde edilen kuvvet-uzama grafikleri ile Mooney-Rivlin hiperelastik

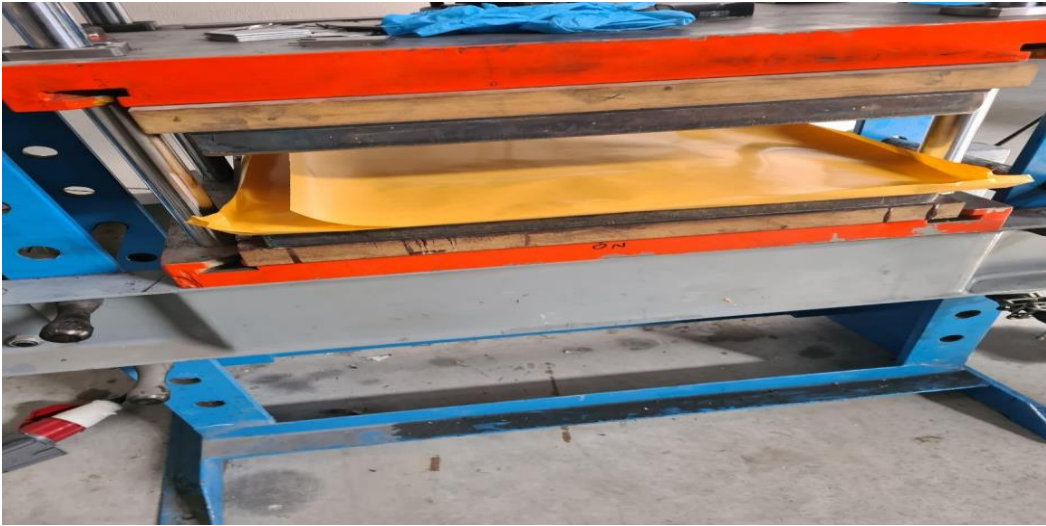
katsayılarını burulma deneyleri sonuçlarını numerik olarak başarılı bir şekilde göstermiştir. Kasnak parçaları üzerinde en iyileme çalışmaları ile kesit geometrisinde yapılan değişimler sonucunda maksimum gerilmeye sahip kasnak geometrisi elde etmiştir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Kompozit Plakaların Üretimi

Bu tez çalışmasında, levha şeklinde 0,5 mm kalınlığında alüminyum (AL-1050-H18), bakır (CuCrZr), karbon fiber ve kauçuk (EPDM) malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin eni ve boyu eşit uzunluklarda kesilerek yapısal yapıştırıcı (silikon DHS) ile birleştirilip kompozit malzeme üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan malzemeler 300 mm en, 300 mm boy ve 0,5 mm kalınlığında kesilmiş olup ara yüzeylerine yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Tabaka halinde dizilmiş olan malzemeler sıcak pres makinesinde (Görsel 3.1) preslenerek plaka haline getirilmiştir. Yapıştırıcı malzemesi olarak yüksek sıcaklıklara dayanımlı silikon DHS yapıştırıcı tercih edilmiştir. Yapıştırıcı malzemenin kürleşmesi için 100°C sıcaklıkta 0,10 MPa basınç altında 120 dakika boyunca bekletilmiştir.



**Görsel 3.1.** *Kompozit plaka üretimi ve pres makinesi*

Üretilen her bir kompozit plakanın içerisindeki malzemelerin katman dizilimleri, Tip-I (AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr), Tip-II (AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr), Tip-III (CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18), Tip-IV (CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18) şeklinde dizilmiş olup Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 gösterilmiştir.

AL-1050-H18
DHS yapısal yapıştırıcı
AL-1050-H18
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
CuCrZr
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
AL-1050-H18
DHS yapısal yapıştırıcı
AL-1050-H18

Şekil 3.1. Tip-I katman dizilimi

AL-1050-H18
DHS yapısal yapıştırıcı
Karbon Fiber
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
CuCrZr
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
Karbon Fiber
DHS yapısal yapıştırıcı
AL-1050-H18

Şekil 3.2. Tip-II katman dizilimi

CuCrZr
DHS yapısal yapıştırıcı
CuCrZr
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
AL-1050-H18
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
CuCrZr
DHS yapısal yapıştırıcı
CuCrZr

Şekil 3.3. Tip-III katman dizilimi

CuCrZr
DHS yapısal yapıştırıcı
Karbon Fiber
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
AL-1050-H18
DHS yapısal yapıştırıcı
EPDM kauçuk
DHS yapısal yapıştırıcı
Karbon Fiber
DHS yapısal yapıştırıcı
CuCrZr

Şekil 3.3. Tip-IV katman dizilimi

Kompozit plakaların imalatında kullanılan alüminyum AL-1050-H18, bakır CuCrZr, karbon fiber ve EPDM kauçuk malzemenin mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4 olacak şekilde aşağıda verilmiştir.

**Tablo 3.1.** AL-1050-H18 malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-1)

Özellikler	Değer
Yoğunluk	2,71 g/cm <sup>3</sup>
Çekme dayanımı	155 MPa
Akma dayanımı	130 MPa (min)
Uzama	%6
Kesme modülü	85 MPa (min)
Elastisite modülü	690000 MPa
Sertlik değeri	34 HB

**Tablo 3.2.** *CuCrZr malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-2)*

Özellikler	Değer
Yoğunluk	8,9 g/cm <sup>3</sup>
Çekme dayanımı	500 MPa
Akma dayanımı	320 MPa (min)
Uzama	% 18
Elastisite modülü	1220000 MPa
Sertlik değeri	140 HB

**Tablo 3.3.** *Karbon fiber malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-3)*

Özellikler	Değer
Yoğunluk	1,5 g/cm <sup>3</sup>
Çekme dayanımı	775 MPa
Akma dayanımı	475 MPa (min)

**Tablo 3.4.** *EPDM kauçuk malzeme için fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-4)*

Özellikler	Değer
Yoğunluk	0,86 g/cm <sup>3</sup>
Çekme dayanımı	190 MPa
Isıl dayanımı	-45, +150 C <sup>0</sup>
Uzama	% 130
Sertlik değeri	50 HB

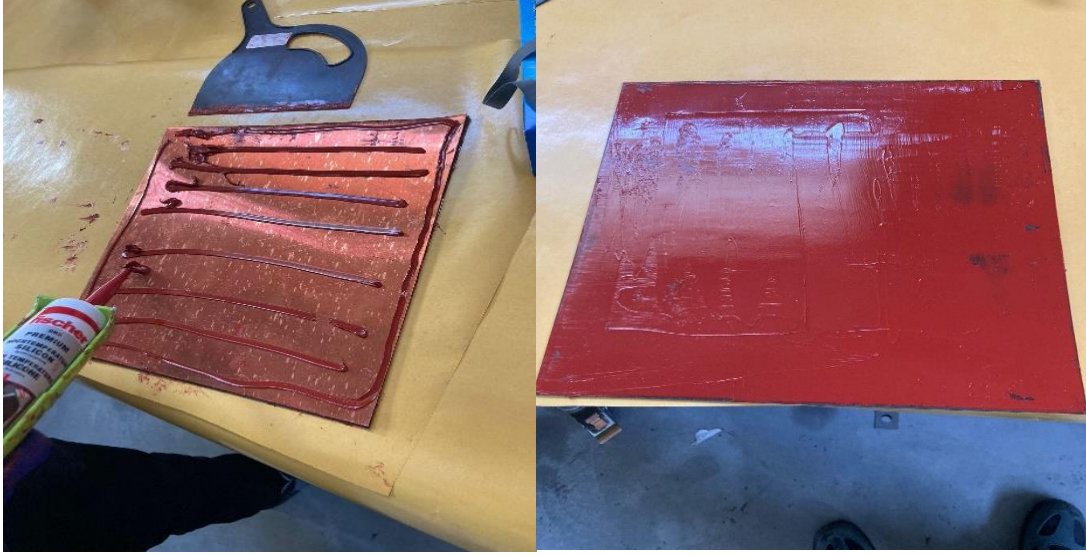
### 3.2. Yapıştırıcı Malzemenin Özellikleri

Yapıştırıcı malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.5.** *DHS yapısal yapıştırıcının mekanik ve fiziksel özellikleri*

Özellikler	Değer	Birim	Yöntem/Açıklamalar
Renk	Kırmızı		
Yoğunluk	1,03	g/cm <sup>3</sup>	
Serbest Zaman	10-15	Dakika	23 °C, 50 % RH
Uygulama Sıcaklığı	40 ve üzeri	°C	
Kürleme Hızı	2-3	mm/h	23 °C, 50 % RLF
Raf Ömrü	24	Ay	+5°C ve +25 °C
Ortak Hareket Kabiliyeti	25	%	
Sertlik	25	HB	
Sıcaklık Dayanımı	-40 ve +300	°C	
Gerilme Direnci	0,3	MPa	DIN 53504
Kopma Uzaması	150	%	DIN 53504

Yapıştırıcı malzemenin levhalara uygulanmış hali (Görsel 3.2.)'de gösterilmiştir.



**Görsel 3.2.** *Yapıştırıcı malzemenin levhalara uygulanmış hali*

### **3.3. Yüzey Hazırlanması ve Malzemelerin Üretimi**

Yüzey hazırlamadan önce malzemeler 300x300 mm boyutlarında kesilip, kesilen levha parçaları yüzeylerini her türlü kirlere arındırarak malzemenin daha iyi bir şekilde yapışmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır.

Yapıştırma öncesinde yapılan işlemler;

- Malzemeler üretilecek boyutta kesiminin yapılması (Görsel 3.3)
- Kesilen malzemelerin musluk suyu ve toz deterjan ( $C_{12}H_{25}OSO_3Na$ ) kullanılarak temizleme işlemi gerçekleştirilip daha sonra su ile tekrar yıkanıp, kurutma makinesinde kurutulmuştur.
- Kurutulan malzemeler aseton ile temizlenmiştir.
- Aseton işleminden sonra tekrar kurutularak temizlenip yüzey hazır hale getirilmiştir.

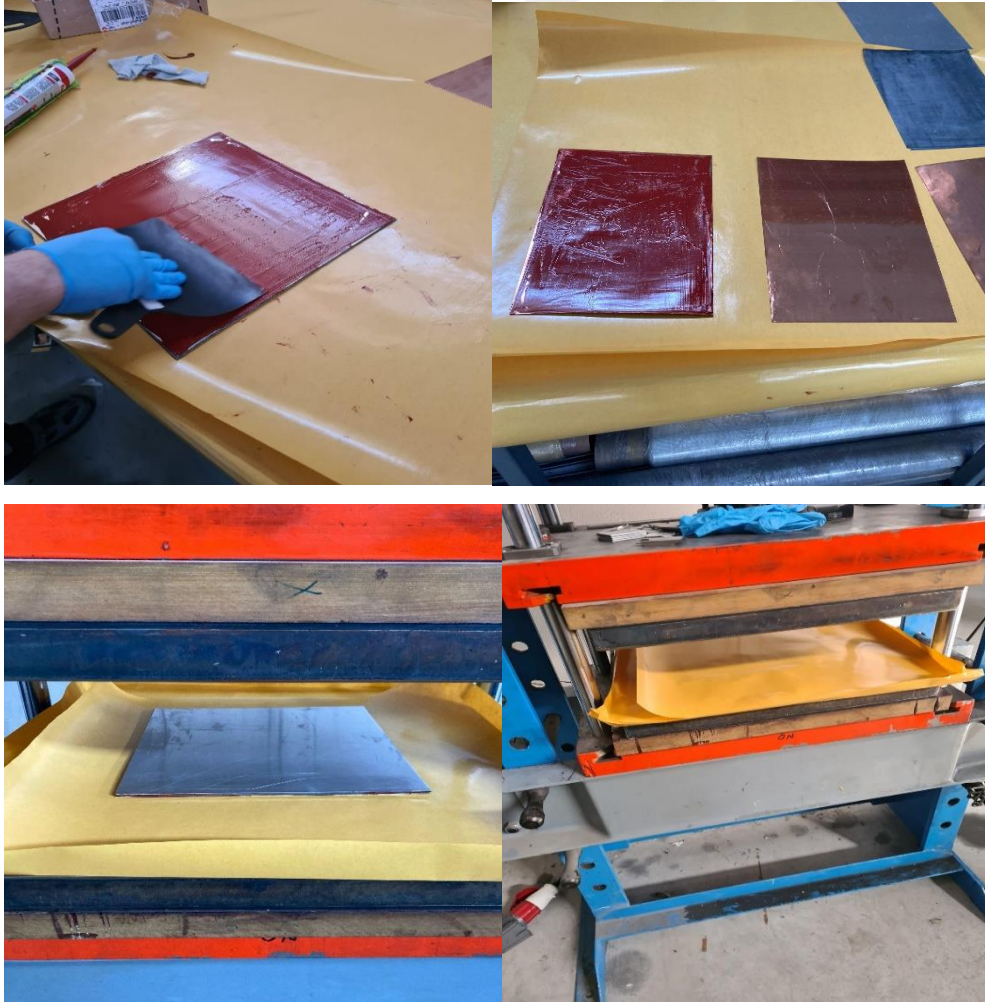
Malzemenin yapıştırma sürecinde yapılan işlemler;

- Yüzeye yapıştırıcı malzeme uygulanıp malzemeler katman dizilimi yapıp, sıcak pres makinesindeki kalıba yerleştirilmiştir. (Görsel 3.4)
- Sıcak pres makinesinde  $100^{\circ}C$  sıcaklıkta 0,10 MPa basınç altında 120 dakika boyunca bekletilmiştir.

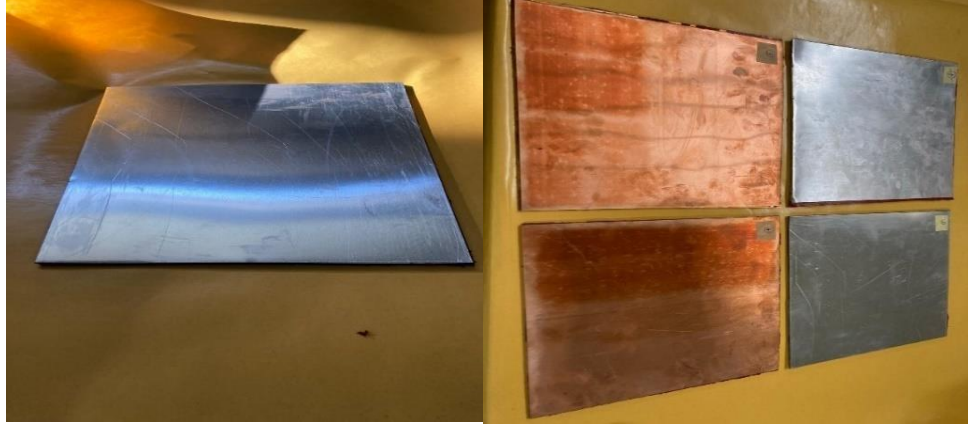
Pres makinesinden çıkarılan malzeme dinlenmek üzere oda sıcaklığındaki ortamda bekletilmiştir (Görsel 3.5)



**Görsel 3.3.** *Malzemelerin kesilmesi ve yüzeyin hazır hale getirilmesi*



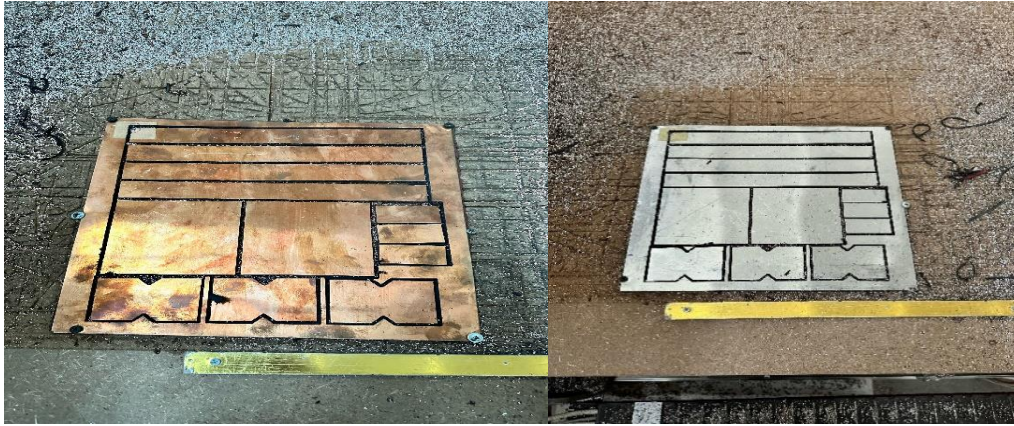
**Görsel 3.4.** *Malzemelerin yapıştırıcı uygulamaları ve pres makinesi kalıbına konulup presleme işlemi*



**Görsel 3.5.** *Malzemelerin preslenip oda sıcaklığındaki ortamda bekletilmesi*

### 3.4. Deneysel Yöntemler

Hazırlanan kompozit plakalar çekme, kayma ve darbe deney testlerine tabi tutulmak için ASTM 3039 (Sülü, 2014: 11), ASTM 7078 (Sülü, 2014: 12) ve ASTM 7136 (Yağbasan, 2019: 12) ölçülerine göre bulk numunelerinin CNC kesim makinasında kesimleri yapılmıştır. (Görsel 3.6)



**Görsel 3.6.** *ASTM ölçülerine göre kesimi yapılan plakalar*

#### 3.4.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi için bulk numuneleri ASTM 3039 (Sülü, 2014: 11) standartlarına göre, 25 mm genişliğinde, 260 mm uzunluğunda ve kalınlıkları sırasıyla Tip-I (AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr), Tip-II (AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr), Tip-III (CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18), Tip-IV (CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18) için 7,1 mm kalınlığında üretilmiş olup, her bir kompozit plaka için dört adet bulk numunesi üretilmiştir. Üretilen bulk numuneleri çekme deney testleri İnönü Üniversitesi Mühendislik

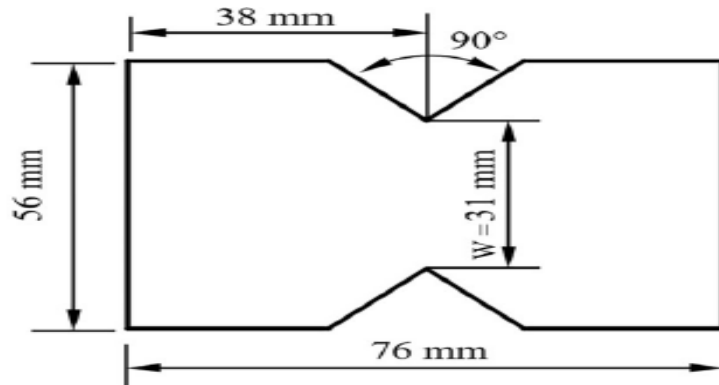
Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında 5 mm/s hızla Shimadzu marka çekme cihazında çekilerek sonuçlar elde edilmiştir (Görsel 3.7).



**Görsel 3.7.** Shimadzu mekanik çekme deney cihazına yerleştirilen numuneden bir görünüm

### 3.4.2. Kayma deneyi

Kayma testleri için bulk numuneleri ASTM 7078 (Sülü, 2014: 12) standartlarına göre, 76 mm genişliğinde 56 mm yüksekliğinde ve kalınlıkları sırasıyla Tip-I (AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr), Tip-II (AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr), Tip-III (CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18), Tip-IV (CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18) için 7,1 mm olup, her bir kompozit plaka için üç adet bulk numunesi üretilmiştir. Kayma mukavemet testleri için üretilmiş olan bulk numuneleri ölçüleri (Görsel 3.8) 'deki gösterilmiştir.



**Görsel 3.8.** Kayma bulk numune ölçüleri

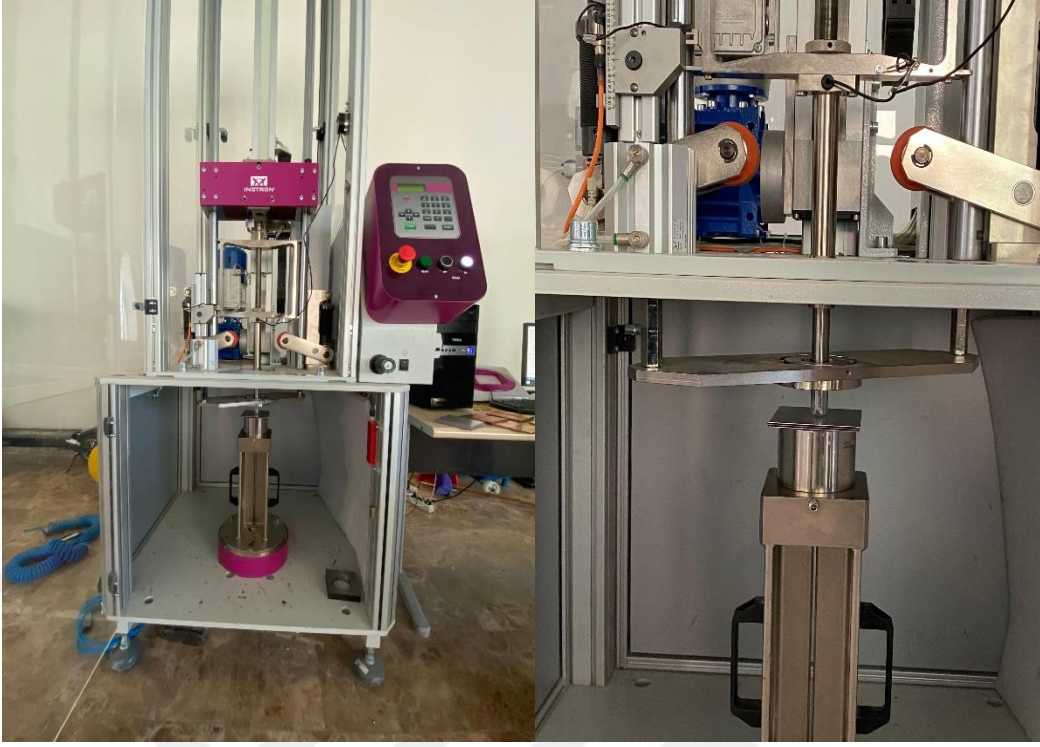
Kayma deneyini Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarındaki Shimadzu AG-210 marka cihazda üretilen bulk numuneleri 5 mm/s hızla, kaymaya maruz bırakılarak sonuçlar elde edilmiştir (Görsel 3.9).



**Görsel 3.9.** *Kayma test cihazına yerleştirilen numune kesitinden bir görünüm*

### **3.4.3. Darbe deneyi**

Darbe testleri için bulk numuneleri ASTM 7136 (Yağbasan, 2019) standartlarına göre 100 mm genişlikte 100 mm yüksekliğinde ve kalınlıkları sırasıyla Tip-I (AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr), Tip-II (AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr), Tip-III (CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18), Tip-IV (CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18) için 7,1 mm kalınlığında olup, her bir kompozit plaka için iki adet bulk numunesi üretilmiştir. Üretilen bulk numuneleri 800 J kapasiteli Instron Ceast 9350 marka test cihazında Adıyaman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında darbe testine maruz bırakılarak sonuçlar elde edilmiştir (Görsel 3.10).



**Görsel 3.10.** *Darbe deney cihazı ve deney cihazına yerleştirilen numuneden bir görünüm*

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Deneysel Sonuçlar

#### 4.1.1. Çekme testi deneysel sonuçları

Uzunluğu 260 mm genişliği 25 mm olan deney numunelerini çekme testlerinde test edilmiştir. Numunelerin genelde uç kısımlarda çok eksenli gerilmelerden kaynaklı olarak (Görsel 4.1, Görsel 4.2) hasar uç kısımlarda olduğu gözlemlenmiştir.

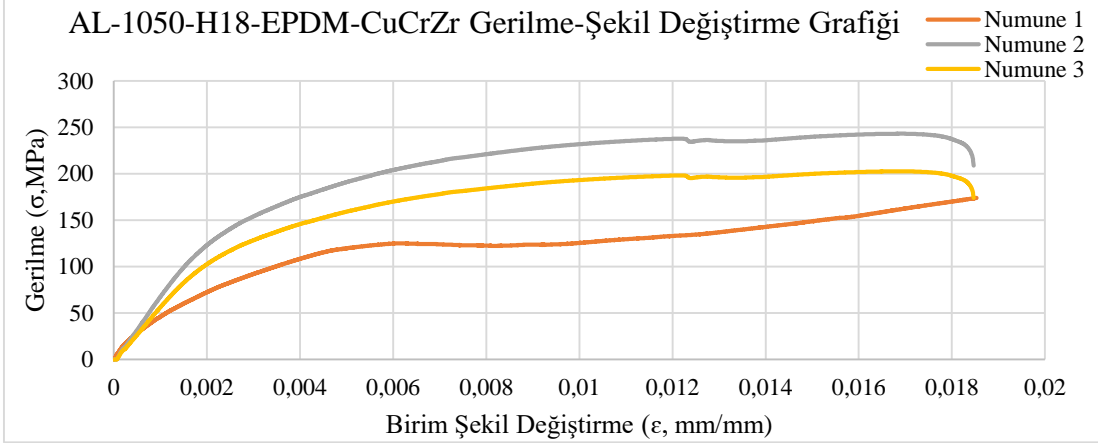


**Görsel 4.1.** AL1050-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yandan görünümü

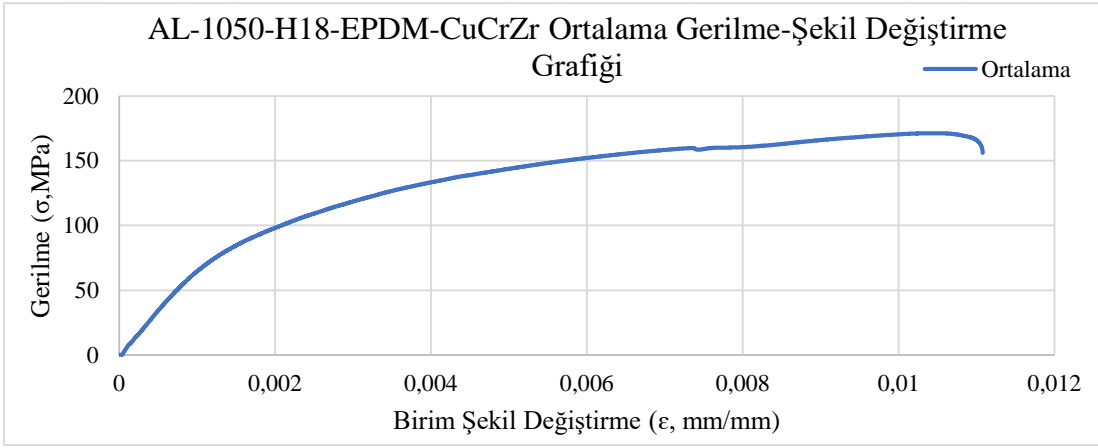


**Görsel 4.2.** CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL 1050 numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yandan görünümü

Çekme deneylerinde her bir numune için kuvvet ve uzama değerleri elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre, gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8).

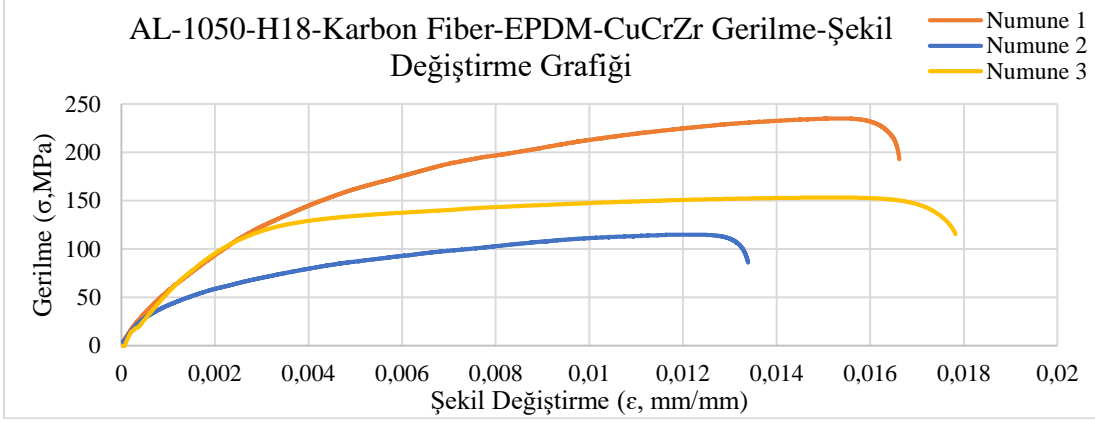


**Şekil 4.1.** AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr gerilme-şekil değişirme grafiği

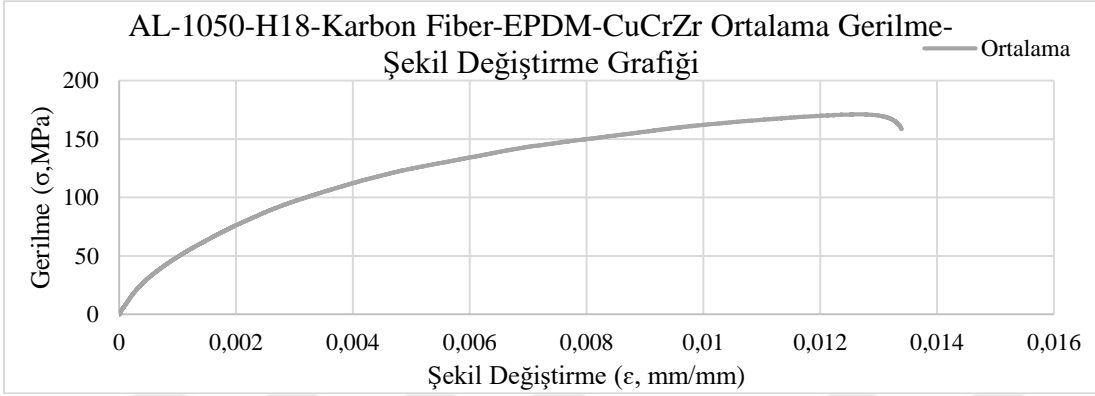


**Şekil 4.2.** AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr ortalama gerilme-şekil değişirme grafiği

Tip-I katman tabakalı kompozit malzemenin gerilme-şekil değişirme grafiği (Şekil 4.1, Şekil 4.2) gösterilmiştir. Gerilme-şekilde değişirme grafiği incelendiğinde Tip-I kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı ( $\sigma$ ) 170 MPa olduğu buna karşılık gelen yaklaşık birim şekil değişirme değeri ( $\epsilon$ ) 0,011% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-I kompozit plakada 4 adet AL-1050-H18 tabaka kullanılmış olup, AL-1050-H18 çekme dayanımı ( $\sigma$ ) 155 MPa olup karşılık gelen birim şekil değişirme değeri ( $\epsilon$ ) 0,06%'dir. Tip-I kompozit malzeme 2 adet kauçuk tabaka ve 1 adet bakır tabaka kullanılmasının etkisiyle çekme dayanımında ve şekil değiştirmede, AL-1050-H18 malzemesine göre iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

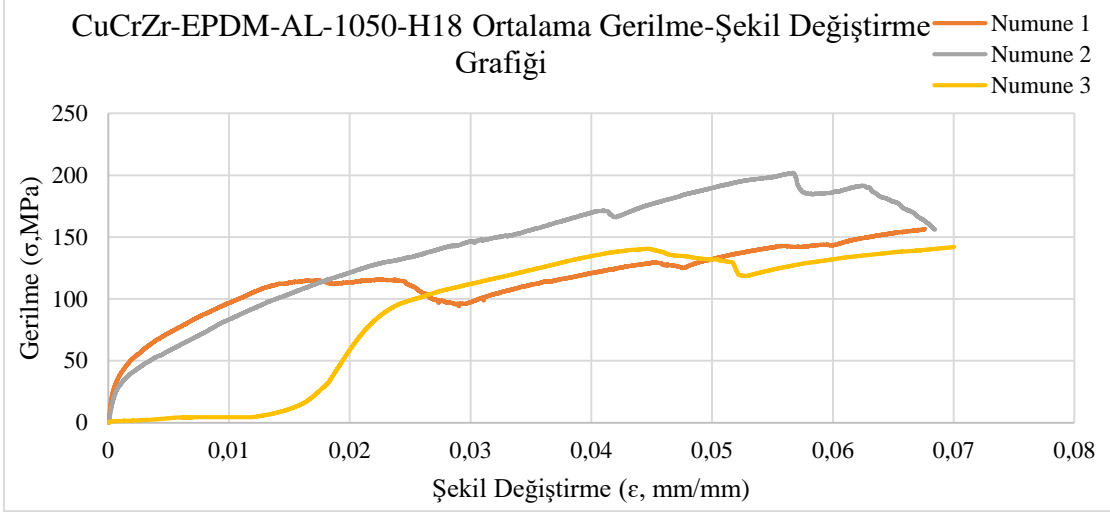


Şekil 4.3. AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr gerilme-şekil değiştirme grafiği

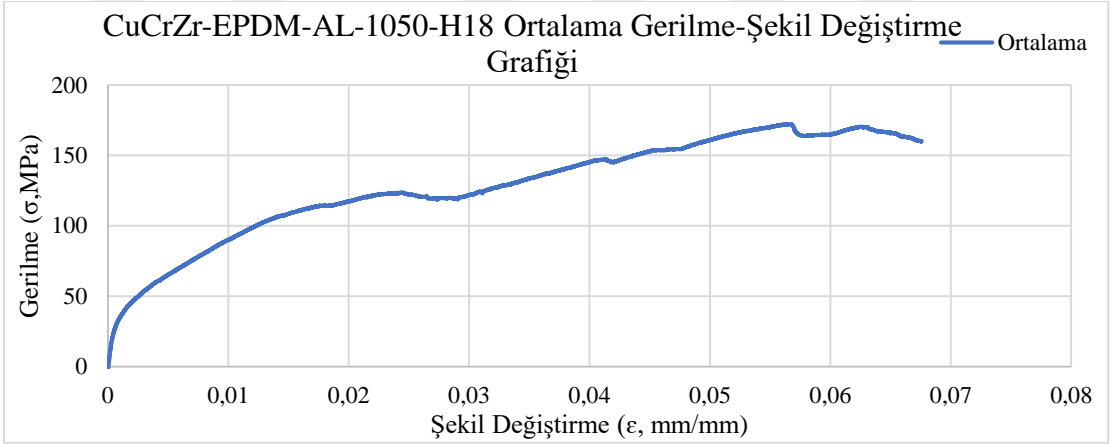


Şekil 4.4. AL1050-KarbonFiber-EPDM-CuCrZr ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği

Tip-II katman tabakalı kompozit malzemenin gerilme-şekil değiştirme grafiği (Şekil 4.3, Şekil 4.4) gösterilmiştir. Gerilme-şekil değiştirme değeri incelendiğinde Tip-II kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı( $\sigma$ ) 175 MPa olduğu buna karşılık gelen yaklaşık şekil değiştirme değeri ( $\epsilon$ )0,013% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-II kompozit plakada 2 adet AL-1050-H18 tabaka kullanılmış olup, AL-1050-H18 çekme dayanımı( $\sigma$ )155 MPa olup şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) 0,06%'dir. Tip-II kompozit malzeme 2 adet karbon fiber tabaka, 2 adet kauçuk tabaka ve 1 adet bakır tabaka kullanılmasının etkisiyle, AL-1050-H18 malzemesine göre çekme dayanımının arttığı ve uzama değerinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

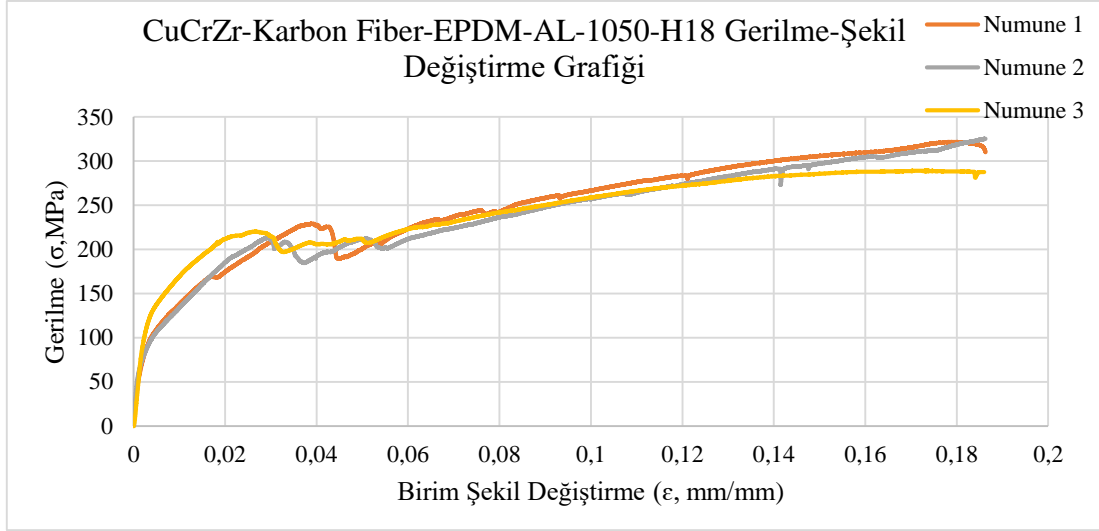


**Şekil 4.5.** *CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 gerilme-şekil değişirme grafiği*

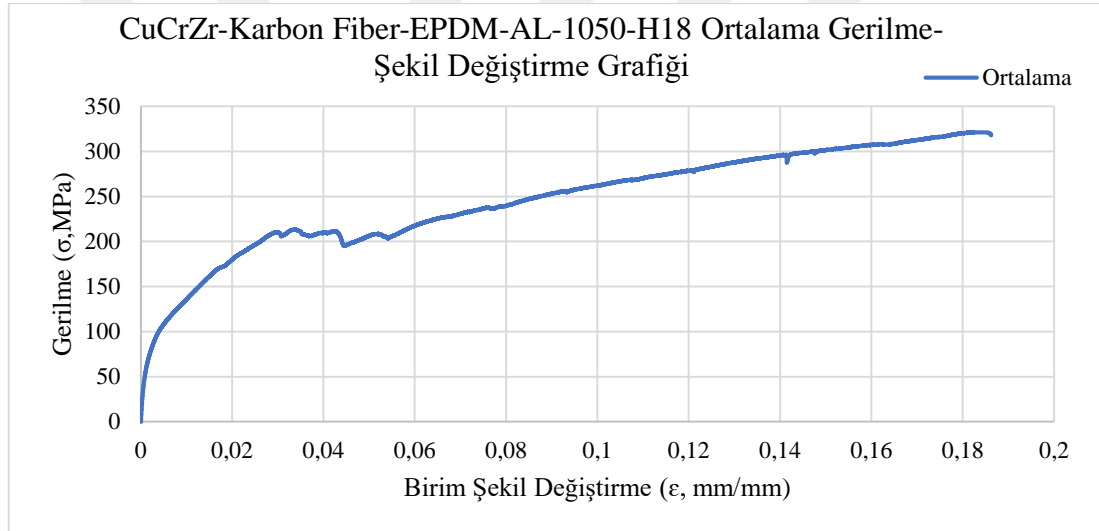


**Şekil 4.6.** *CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 ortalama gerilme-şekil değişirme grafiği*

Tip-III katman tabakalı kompozit malzemenin gerilme-şekil değişirme grafiği (Şekil 4.5, Şekil 4.6) gösterilmiştir. Gerilme-şekilde değişirme grafiği incelendiğinde Tip-III kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı( $\sigma$ )180 MPa olduğu buna karşılık gelen şekil değişirme ( $\epsilon$ ) 0,06% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-III kompozit plakada 4 adet CuCrZr tabaka kullanılmış olup, CuCrZr çekme dayanımı( $\sigma$ ) 500 MPa olup karşılık gelen şekil değişirme ( $\epsilon$ ) 0,18%'dir. Tip-III kompozit malzeme 2 adet kauçuk tabaka ve 1 adet alüminyum tabaka kullanılmasının etkisiyle, CuCrZr malzemesine göre mukavemet değerinde ciddi şekilde azalma olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.7.** *CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 gerilme-şekil değişirme grafiği*

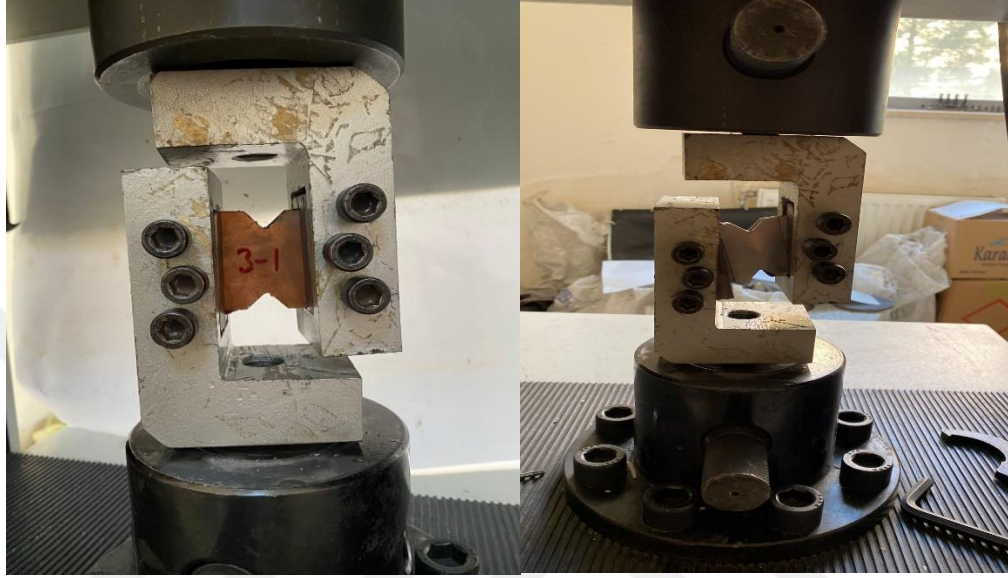


**Şekil 4.8.** *CuCrZr-KarbonFiber-EPDM-AL-1050-H18 ortalama gerilme-şekil değişirme grafiği*

Tip-IV katman tabakalı kompozit malzemenin gerilme-şekil değişirme grafiği (Şekil 4.7, Şekil 4.8) gösterilmiştir. Gerilme-şekilde değişirme grafiği incelendiğinde Tip-IV kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı( $\sigma$ ) 310 MPa olduğu buna karşılık gelen şekil değişirme değeri ( $\epsilon$ ) 0,19% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-IV kompozit plakada 2 adet CuCrZr tabaka kullanılmış olup, CuCrZr çekme dayanımı( $\sigma$ ) 500 MPa olup karşılık gelen şekil değişirme ( $\epsilon$ ) 0,18%'dir Tip-IV kompozit malzeme 2 adet karbon fiber tabaka, 2 adet kauçuk tabaka ve 1 adet alüminyum tabaka kullanılmasının etkisiyle, CuCrZr malzemesine göre kıyaslandığında çekme dayanımında düşüş sergilemesine rağmen uzama değerinde etkili bir değişme olmadığı gözlemlenmiştir.

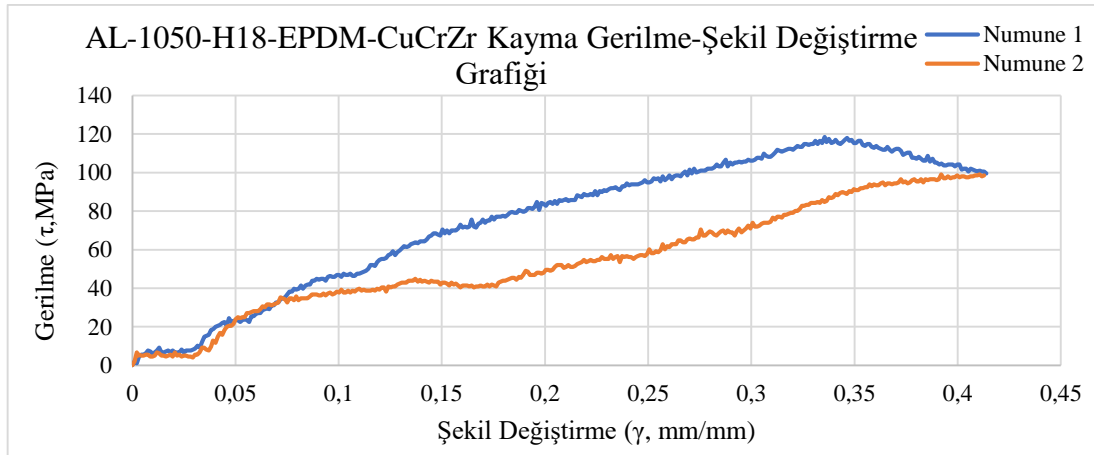
#### 4.1.2. Kayma testi deneysel sonuçları

Kayma testinde ASTM 7078 (Sülü, 2014) ölçülerine göre hazırlanan numuneler Shimadzu AG-210 marka test cihazında (Görsel 4.3) test yapılmıştır. Testi yapılan numunelerin genel olarak çentiğin olmuş olduğu bölgede hasar oluşmuştur.

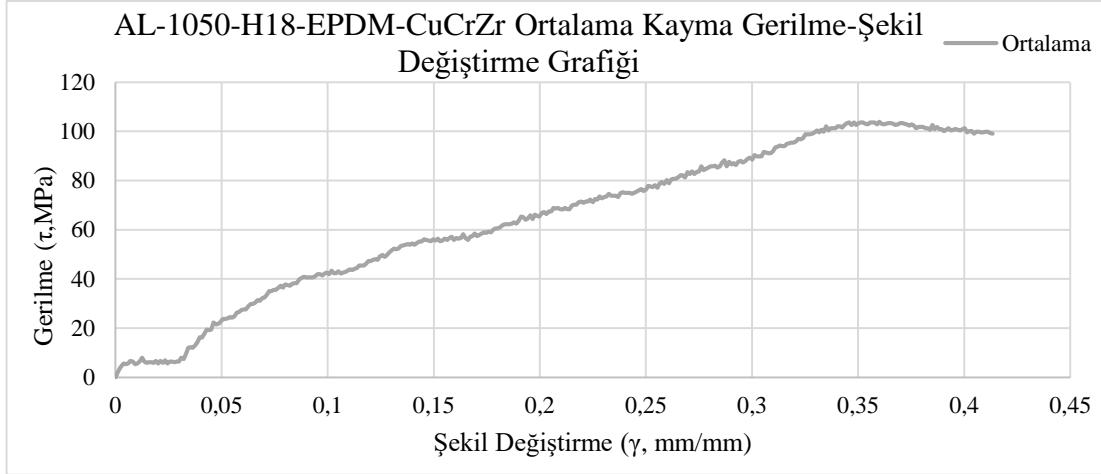


Görsel 4.3. Kayma test cihazında testi yapılan numuneler

Kayma testleri sonucunda her bir numune için kuvvet ve uzama değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerin ortalaması alınarak kayma gerilmesi ona karşılık gelen kayma şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Kayma gerilme-şekil değiştirme grafikleri her bir numune için şekillerde (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16) gösterilmiştir.

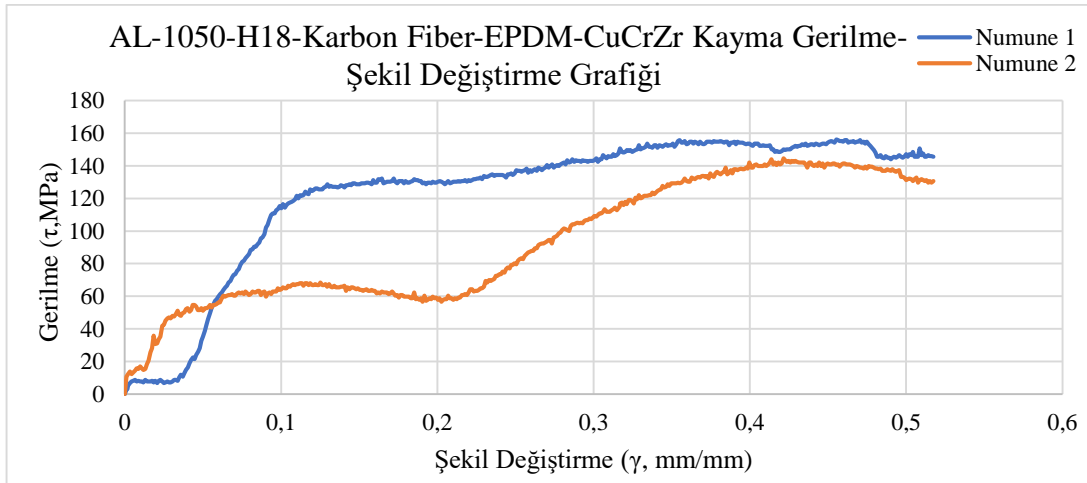


Şekil 4.9. AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr kayma gerilme-şekil değiştirme grafiği

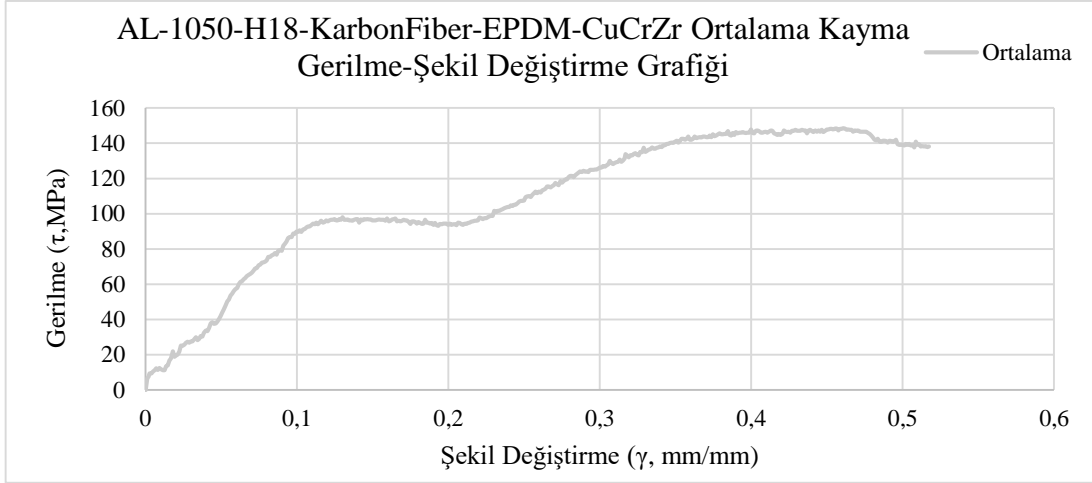


**Şekil 4.10.** AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr ortalama kayma gerilme-şekil değişirme grafiği

Tip-I tabakalı kompozit plakanın kayma gerilme-şekil değişimi grafiğini (Şekil 4.9, Şekil 4.10) verilmiş olup grafiği incelediğimizde, gerilme değerinin Al-1050-H18 malzemene göre yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Tip-I malzemesinin kayma dayanımı ( $\tau$ ) 105 MPa olup karşılık gelen kayma şekil değişirme ( $\gamma$ ) 0,35%'dir. Bu durumda bakır ve kauçuk malzemenin çekme ve kayma gerilme şekil değiştirmede önemli ölçüde iyileştirme yaptığı gözlemlenmiştir. Yeni oluşan kompozit plakada AL-1050-H18 malzemesine göre önemli ölçüde kayma mukavemetine karşı direnç elde edilmiş olup, aynı zamanda malzemenin sünek davranışında iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

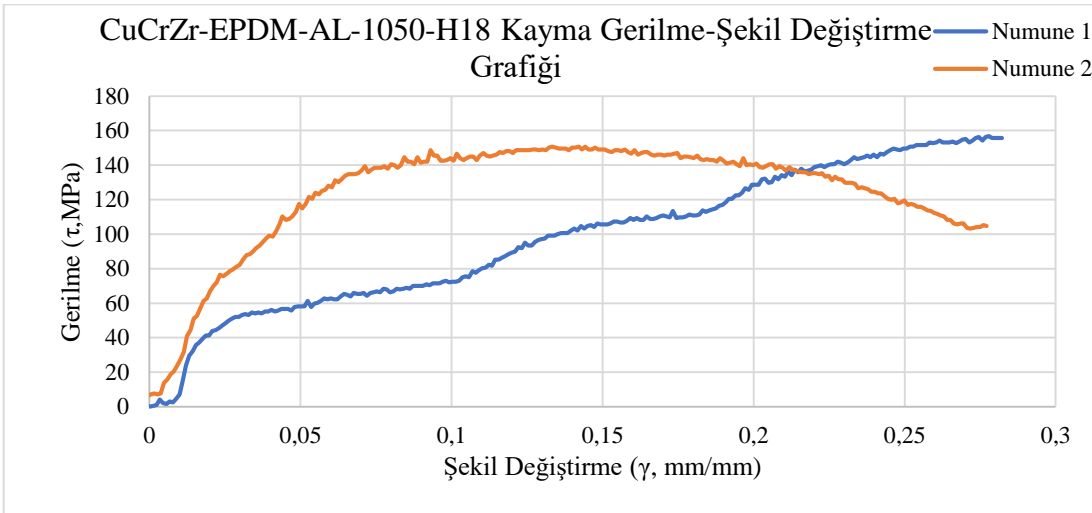


**Şekil 4.11.** AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr kayma gerilme-şekil değişirme grafiği

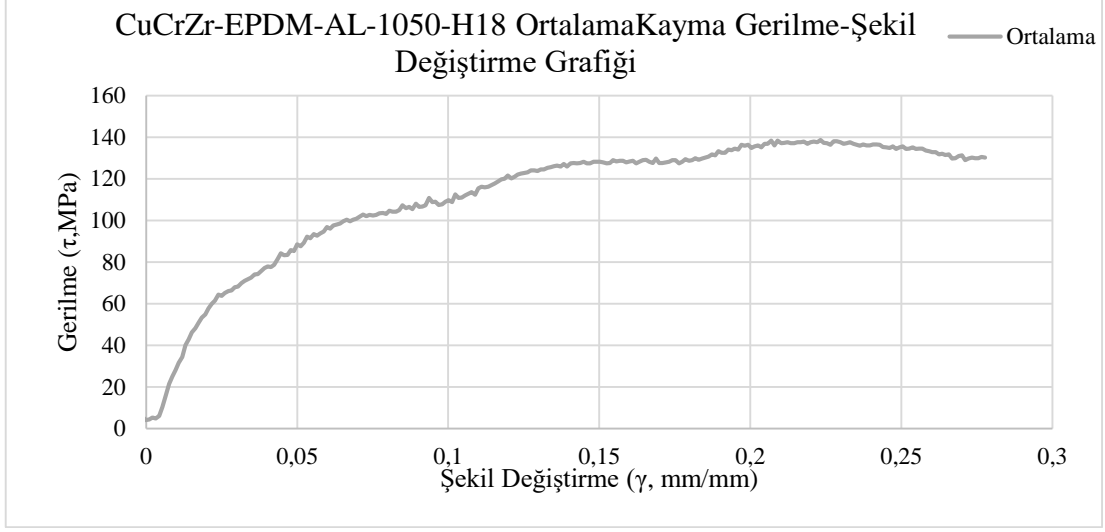


**Şekil 4.12.** AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr ortalama kayma gerilme-şekil değişirme grafiği

Tip-II tabakalı kompozit plakanın kayma gerilme-şekil değişimi grafiği (Şekil 4.11, Şekil 4.12) verilmiş olup grafiği incelediğimizde, gerilme değerinin Al-1050-H18 malzemene göre yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Tip-II malzemesinin kayma dayanımı ( $\tau$ ) 150 MPa olup karşılık gelen şekil değişirme ( $\gamma$ ) 0,45%'dir. Yeni oluşan kompozit plakanın önemli ölçüde kayma mukavemet değerinin ve sünek davranışın arttığı görülmektedir.

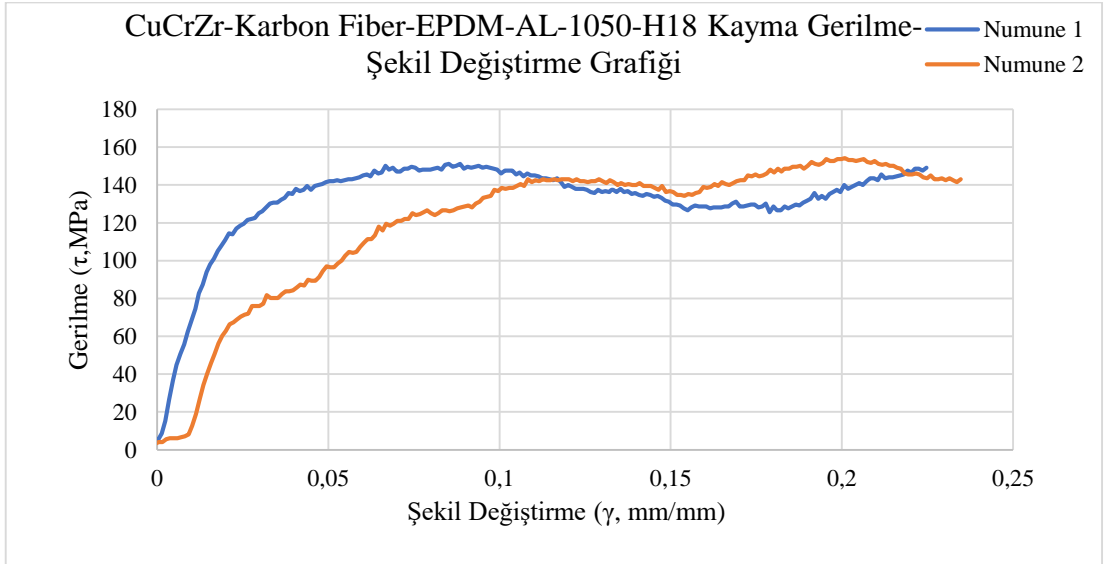


**Şekil 4.13.** CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 kayma gerilme-şekil değişirme grafiği

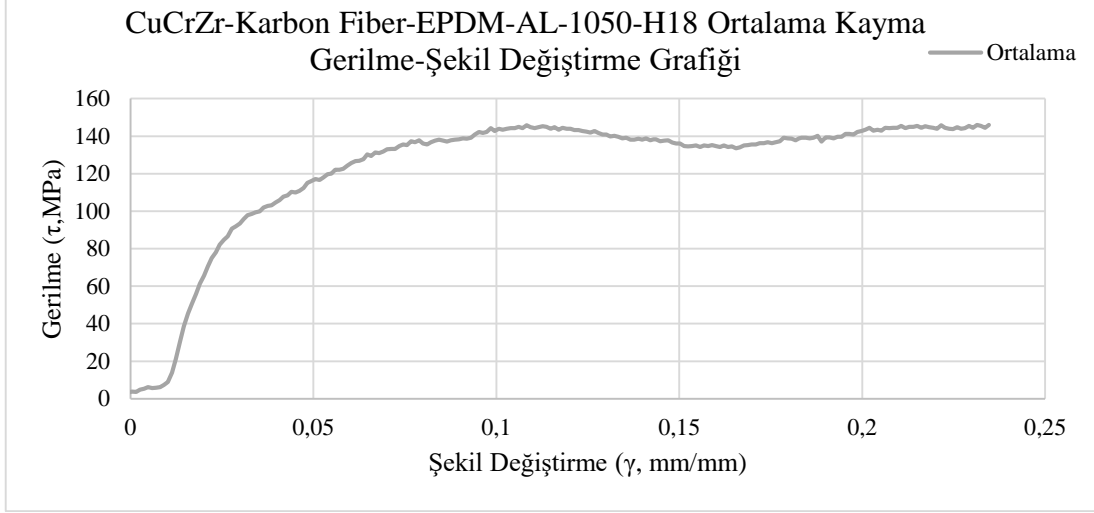


**Şekil 4.14.** *CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 ortalama kayma gerilme-şekil değişirme grafiği*

Tip-III tabakalı kompozit plakanın kayma gerilme-şekil değişimi grafiği (Şekil 4.13, Şekil 4.14) verilmiş olup grafiği incelediğimizde, gerilme değerinin CuCrZr malzemene göre düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Tip-III malzemesinin kayma dayanımı ( $\tau$ ) 140 MPa olup karşılık gelen şekil değişirme ( $\gamma$ ) 0,25%'dir. Bu durumda AL-1050-H18 ve kayma mukavemet değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.15.** *CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 kayma gerilme-şekil değişirme grafiği*

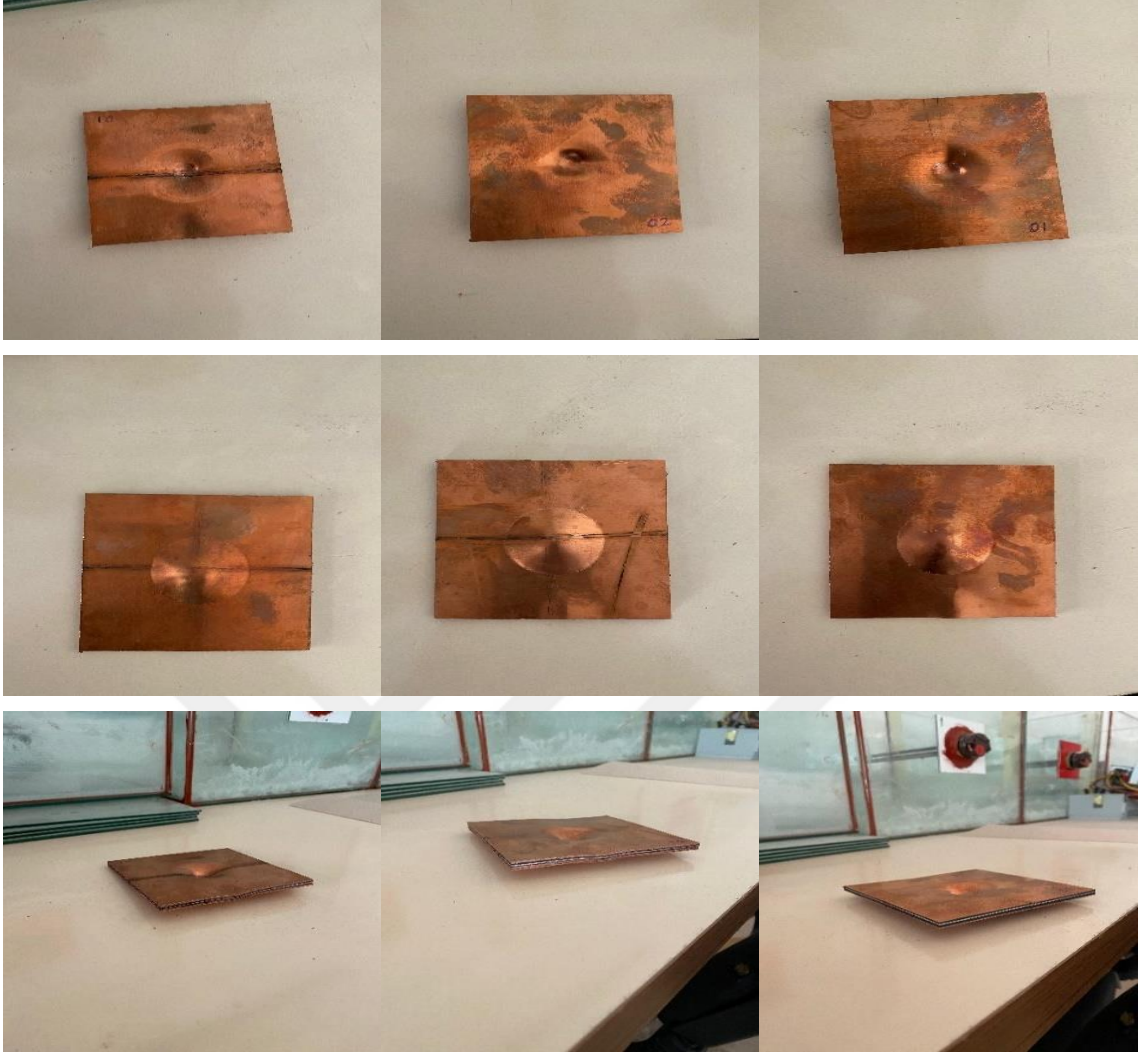


**Şekil 4.16.** *CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 ortalama kayma gerilme-şekil değişirme grafiği*

Tip-IV tabakalı kompozit plakanın kayma gerilme-şekil değişimi grafiği (Şekil 4.15, Şekil 4.16) verilmiş olup grafiği incelediğimizde, gerilme değerinin CuCrZr malzemene göre yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Tip-IV malzemesinin kayma dayanımı 145 MPa olup karşılık gelen kayma şekil değişirme ( $\gamma$ ) 0,13%'dir. Tip-IV tabakalı kompozit plaka CuCrZr malzemesine göre kıyaslandığında, kayma mukavemetinin uzama değerinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir.

#### 4.1.3. Darbe testi deneysel sonuçları

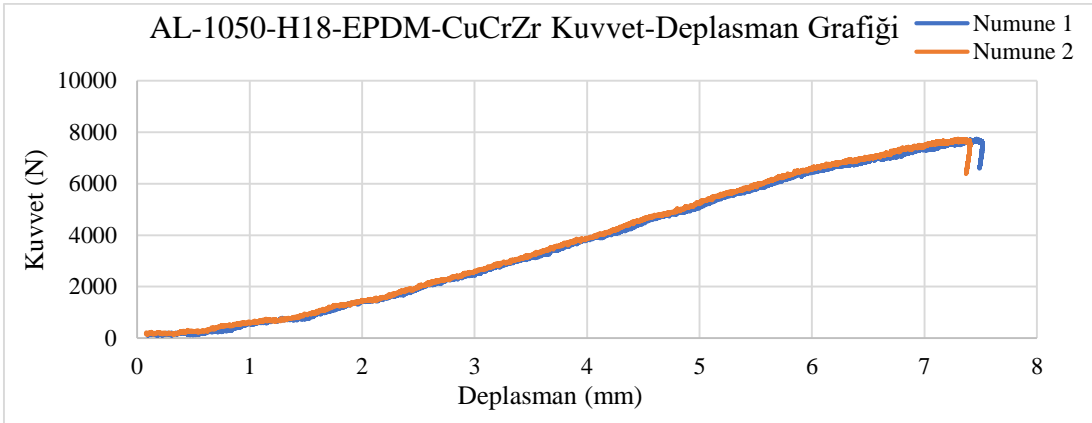
Darbe testinin deneysel çalışmasında ASTM 7136 (Yağbasan, 2019: 18) ölçülerine göre kesilen tabakalı kompozit numuneler test düzeneğinde 30 J darbe enerjisine maruz bırakılmıştır. Deneyde kullanılan vurucu, yarı küresel geometriye sahip olup 20mm çapında ve 5,5 kg ağırlığındadır. Vurucu 0,5 m yükseklikten düşürülüp, malzemeye çarpma anındaki hızı 3,30 m/s olarak ölçülmüştür. Her bir numune için ayrı ayrı testler yapılmıştır. Testler sonucunda numunelerdeki malzeme homojen olarak dağılım göstermiş olup, tüm numunelerde malzemelerin ön ve arka yüzeylerinde deformasyona uğradığı fakat numunelerin delinmediği gözlenmiştir. (Görsel 4.4, Görsel 4.5).



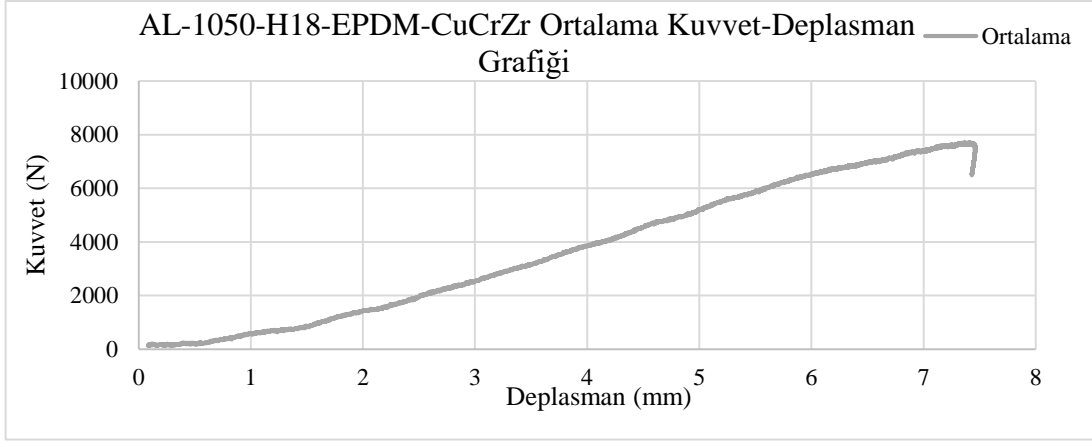
**Görsel 4.4.** Darbe testi sonucunda CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yan yüzeyinden görünümü



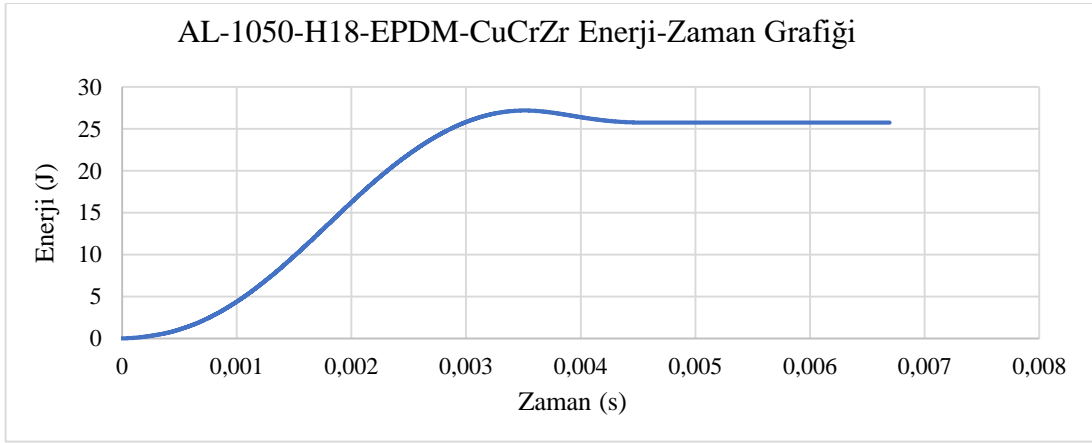
**Görsel 4.5.** Darbe testi sonucunda AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr numunelerinde oluşan hasarın ön, arka ve yan yüzeyinden görünümü



**Şekil 4.17.** AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr kuvvet- deplasman grafiği

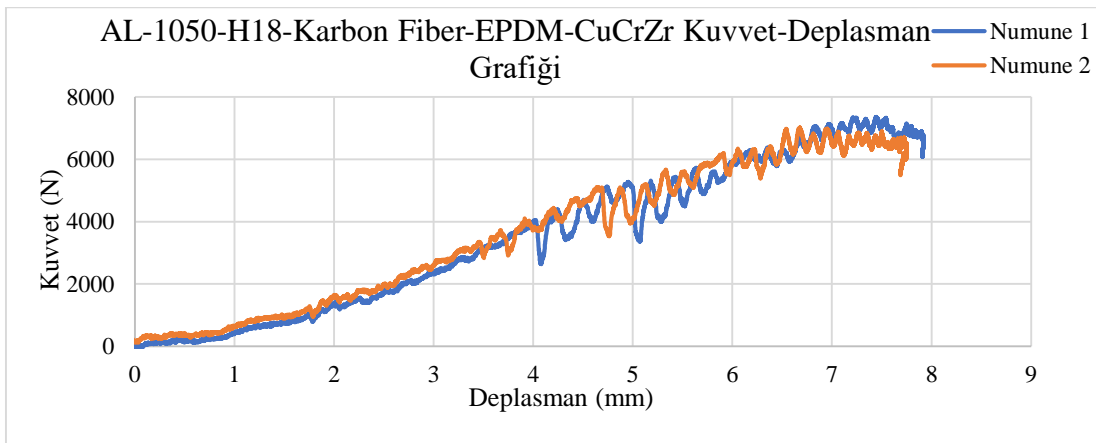


Şekil 4.18. AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr ortalama kuvvet-deplasman grafiği

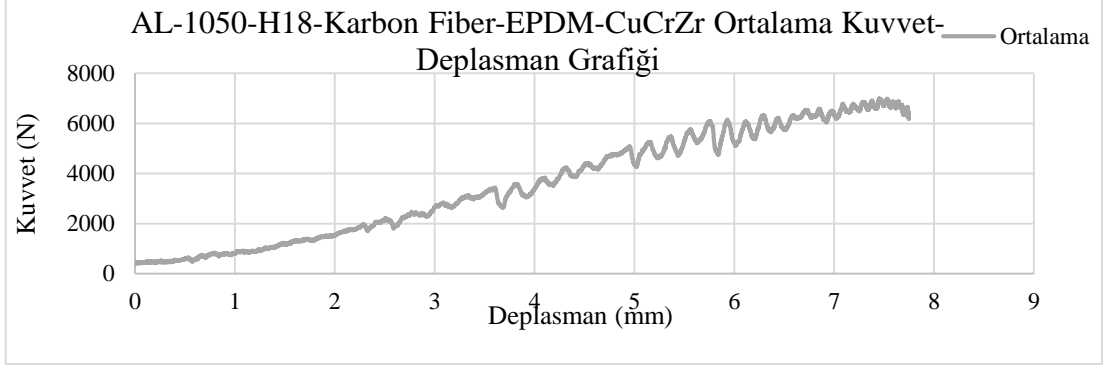


Şekil 4.19. AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr enerji-zaman grafiği

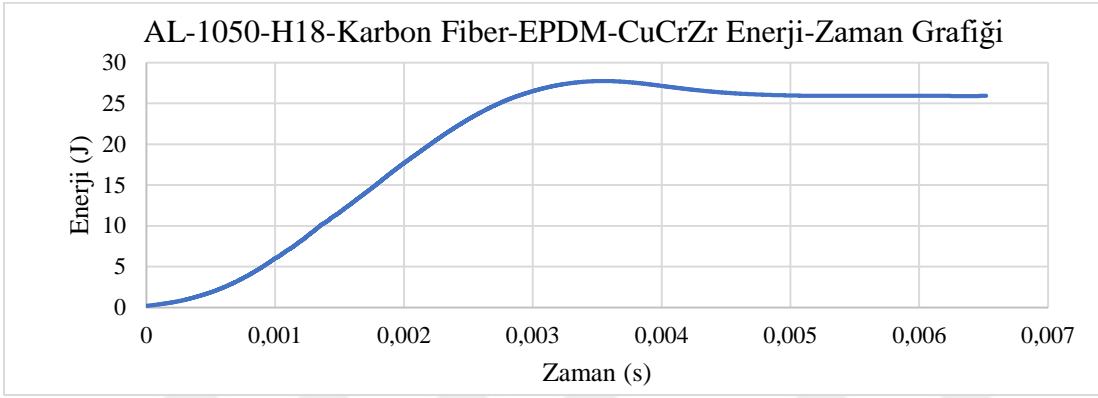
Tip-I için, Şekil 4.17, Şekil 4.18, ve Şekil 4.19’da darbe test sonuçları incelendiğinde Tip-I için 7644 N bir yüke maruz kaldığı numunelerde 7,45 mm bir deformasyona uğradığı absorbe edilen enerji miktarı yaklaşık 25,75 J görülmektedir.



Şekil 4.20. AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr kuvvet-deplasman grafiği

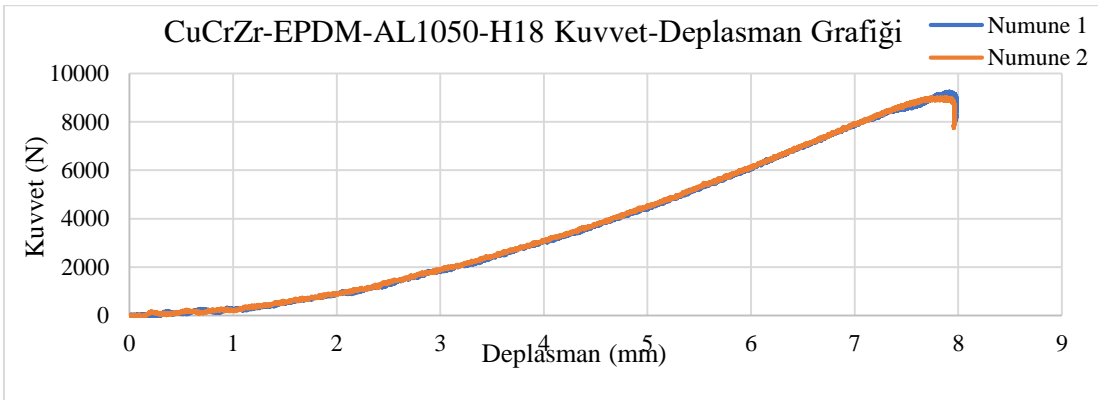


Şekil 4.21. AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr ortalama kuvvet-deplasman grafiği

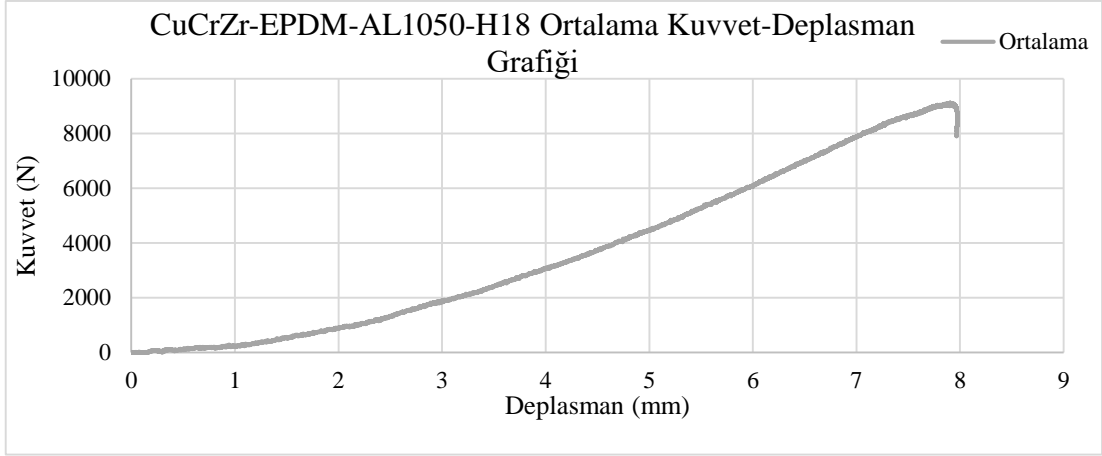


Şekil 4.22. AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr enerji-zaman grafiği

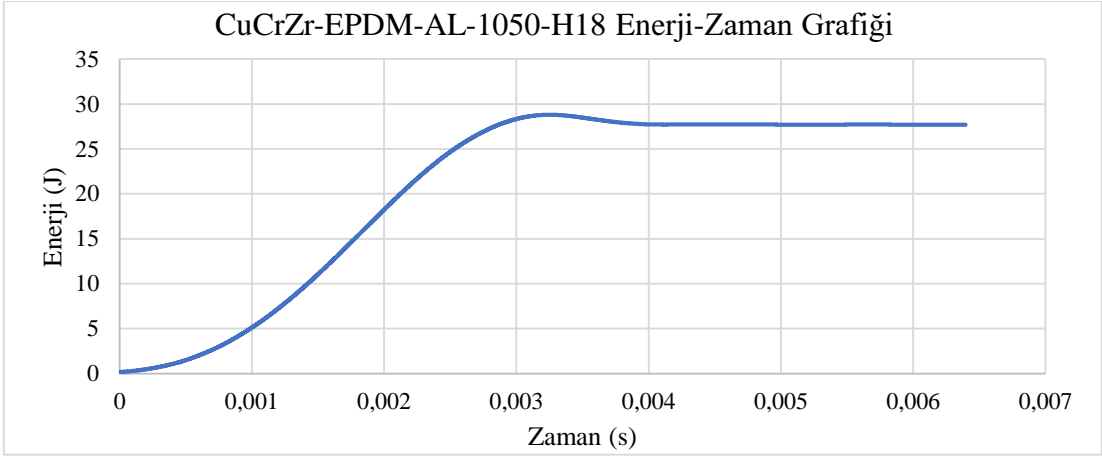
Tip-II için, Şekil 4.20, Şekil 4.21, ve Şekil 4.22 incelendiğinde, 6980 N bir temas yüküne maruz kaldığı numunelerde 7,46 mm bir deformasyona uğradığı, absorbe etmiş olduğu enerji miktarı yaklaşık 26,20 J görülmektedir.



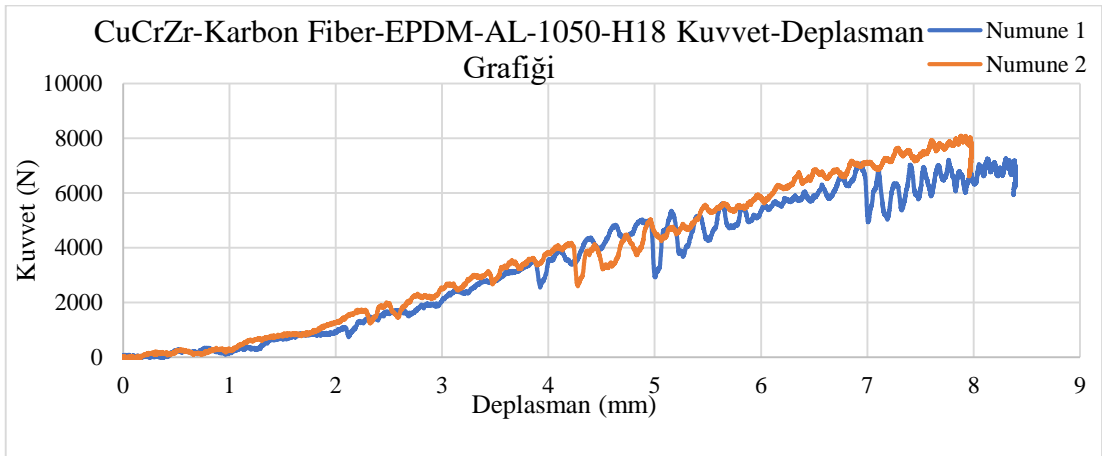
Şekil 4.23. CuCrZr-EPDM-AL1050-H18 kuvvet-deplasman grafiği



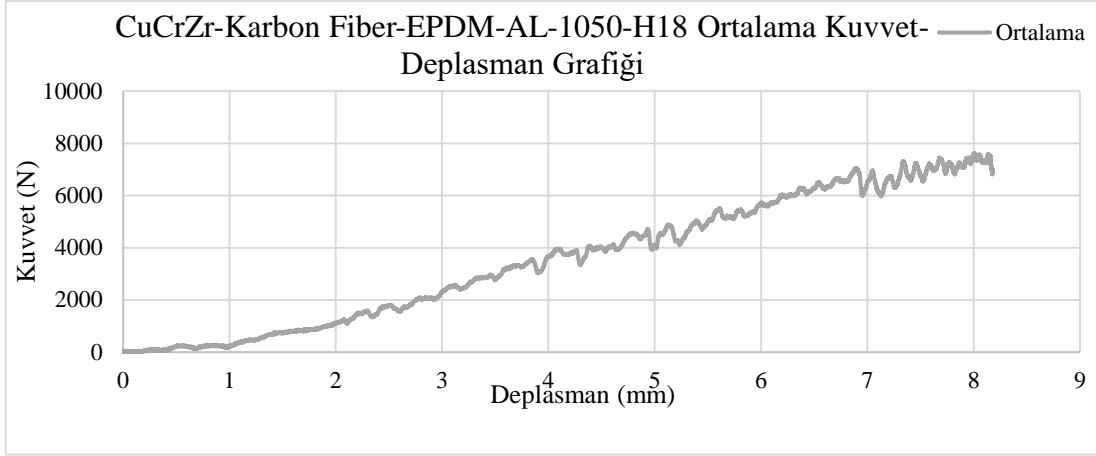
Şekil 4.24. CuCrZr-EPDM-AL1050 ortalama kuvvet-deplasman grafiği



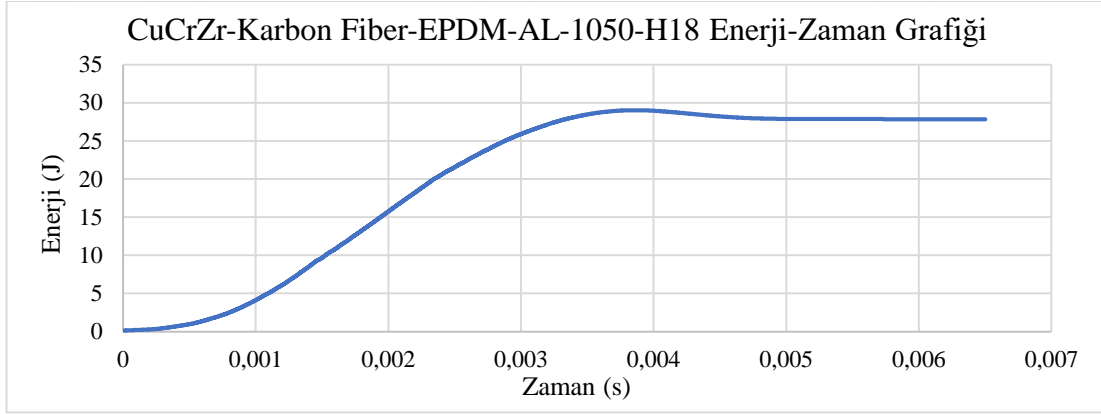
Şekil 4.25. CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 enerji-zaman grafiği



Şekil 4.26. CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL1050-H18 kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.27. CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL1050-H18 ortalama kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.28. CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 enerji-zaman grafiği

Tip-IV için, Şekil 4.26, Şekil 4.27, ve Şekil 4.28 incelendiğinde 7569 N bir temas yüküne maruz kaldığı numunelerde yaklaşık 8,13 mm bir deformasyona uğradığı, absorbe etmiş olduğu enerji miktarı yaklaşık 28,04 J görülmektedir.

Tablo 4.1. Darbe testi sonucunda numunelerin ortalama değerleri

Malzeme	Ortalama Temas Kuvveti (N)	Ortalama Deformasyon (mm)	Absorbe Edilen Enerji (J)
Tip-I	7644	7,45	25,75
Tip-II	6980	7,46	26,20
Tip-III	9106	7,93	27,72
Tip-IV	7596	8,13	28,04

Tablo 4.1 incelendiği zaman, Tip-I ve Tip-IV hemen hemen aynı temas yüküne maruz kalmalarına rağmen Tip-IV daha fazla deformasyona maruz kalmıştır ve Tip-IV daha sünek bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Tip-III ve Tip-IV kompozit

malzemelerin Tip-I ve Tip-II' ye göre daha yüksek enerji absorbe ettiği görülmektedir. Tip-III' e uygulanan temas kuvveti Tip-IV' de göre yüksek olmasına rağmen deformasyon Tip-IV' de daha fazla meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı durum Tip-I ve Tip-II' de görülmektedir. Karbon fiber malzemenin deformasyon üzerinde büyük etkisinin olduğu ve engellediği ayrıca enerjii daha iyi absorbe ettiği gözlenmektedir. Karbon fiber malzemenin sünek yapısı, tabakadaki sayısı ve yoğunluğuna bağlı olarak temas kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir.

**Tablo 4.2.** *Oluşturulan kompozit plakaların ortalama yoğunlukları*

Malzeme	Ortalama Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
AL-1050-H18-EPDM-CuCrZr (Tip-I)	2,12 g/cm <sup>3</sup>
AL-1050-H18-Karbon Fiber-EPDM-CuCrZr (Tip-II)	1,94 g/cm <sup>3</sup>
CuCrZr-EPDM-AL-1050-H18 (Tip-III)	3,55 g/cm <sup>3</sup>
CuCrZr-Karbon Fiber-EPDM-AL-1050-H18 (Tip-IV)	2,41 g/cm <sup>3</sup>

Tablo 4.2'de oluşturulan plakaların ortalama yoğunluk değerleri verilmiştir. Tablo incelendiği zaman en düşük yoğunluk değerine sahip olan numunenin Tip-II olduğu görülmektedir. Yoğunluk artıkça temas kuvvetinin arttığı aynı zamanda deformasyonunda arttığı görülmektedir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Hazırlanan bu tez çalışmada alüminyum plaka (AL-1050-H18), bakır plaka (CuCrZr), kauçuk malzeme (EPDM) ve karbon fiberden oluşan farklı katman dizilimli kompozit malzemelerin çekme, kayma ve darbe testleri yapıp hasar yükleri incelenmiştir. Deneysel olarak elde edilen numuneler incelenerek, karşılaştırmalar yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin mukavemet etkileri, gerilmeleri, şekil değişimleri, absorbe ettikleri enerji miktarları ve üretilen malzemelerin ortalama yoğunlukları incelenmiştir. Araştırma sonuçları göstermiştir ki;

- ✓ Çekme mukavemetlerine göre; Tip-I kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı ( $\sigma$ ) 170 MPa birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon$ )0,011% olduğu gözlemlenmiştir, Tip-II kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı( $\sigma$ ) 175 MPa olduğu buna karşılık gelen yaklaşık şekil değiştirme değeri ( $\epsilon$ )0,013% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-III kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı( $\sigma$ )180 MPa olduğu buna karşılık gelen şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) 0,063% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-IV kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı( $\sigma$ ) 310 MPa olduğu buna karşılık gelen şekil değiştirme değeri ( $\epsilon$ ) 0,019% olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Kompozit plakalarda çekme mukavemetlerine baktığımızda en yüksek çekme dayanımı Tip-IV malzemesinde, en düşük çekme dayanımı Tip-I malzemesinde olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Kayma mukavemetlerine göre; Tip-I malzemesinin kayma dayanımı ( $\tau$ ) 105 MPa olup karşılık gelen kayma şekil değiştirme ( $\gamma$ ) 0,35% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-II malzemesinin kayma dayanımı ( $\tau$ ) 150 MPa olup karşılık gelen şekil değiştirme ( $\gamma$ ) 0,45% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-III malzemesinin kayma dayanımı ( $\tau$ ) 140 MPa olup karşılık gelen şekil değiştirme ( $\gamma$ ) 0,25% olduğu gözlemlenmiştir. Tip-IV malzemesinin kayma gerilmesinin 145 MPa olup karşılık gelen kayma şekil değiştirme ( $\gamma$ ) 0,13% olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Kompozit plakalarda kayma mukavemetlerine baktığımızda en yüksek kayma gerilmesi Tip-II malzemesinde, en düşük kayma gerilmesi Tip-I malzemesinde olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Düşen ağırlıklı darbe test sonuçları göre; Tip-I için 7644 N bir yüke maruz kaldığı

numunelerde 7,45 mm bir deformasyona uğradığı, 27,17 J' lük bir enerjiye maruz kalarak pik yaptığı ve daha sonra yatay bir seyir alarak 25.75 J enerji absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Tip-II için 6980 N bir yüke maruz kaldığı numunelerde 7,46 mm bir deformasyona uğradığı, 27,73 J' lük bir enerjiye maruz kalarak pik yaptığı ve daha sonra da yatay bir seyir alarak 26.20 J enerji absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Tip-III için 9106 N bir yüke maruz kaldığı numunelerde yaklaşık 7,93 mm bir deformasyona uğradığı, 28,77 J' lük bir enerjiye maruz kalarak pik yapmış, daha sonra da yatay bir seyir alarak 27.72 J enerji absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Tip-IV için 7569 N bir temas yüküne maruz kaldığı numunelerde yaklaşık 8,13 mm bir deformasyona uğradığı, 29,02 J' lük bir enerjiye maruz kalarak pik yapmış, daha sonra da yatay bir seyir alarak 28.04 J enerji absorbe ettiği gözlemlenmiştir.

- ✓ Kompozit plakalarda darbe yüklerine baktığımızda Tip-I ve Tip-IV hemen hemen aynı temas yüküne maruz kalmalarına rağmen Tip-IV daha fazla deformasyona maruz kalmıştır, Tip-IV daha sünek bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tip-III' e uygulanan temas kuvveti Tip-IV' de göre yüksek olmasına rağmen deformasyonun Tip-IV üzerindeki etkisi daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Darbe sonuçları göstermiştir ki; Karbon fiber malzemenin kullanıldığı plakalarda deformasyon üzerinde büyük etkisinin olduğu ve deformasyonu engellediği ayrıca enerjiyi daha iyi absorbe ettiği gözlenmektedir.

Ortalama yoğunluk tablosunu incelediğimizde en düşük yoğunluğa sahip malzemenin Tip-II olduğu gözlemlenmiştir.

## KAYNAKÇA

Albayrak, M. (2022). Eğri Yüzeyle Sahip Kauçuk Takviyeli Kompozitlerin Darbe Davranışlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Astarita, A., Della Gatta, R. ve Perna, A.S. (2021). "Introduction to the Joining of Composites." Encyclopedia of Materials: Composites, 3, 303–308.

Balkı, T. İ. (2023). Sürekli Fiber Takviyeli Kauçuk Silindirlerin Bası Yükü Altındaki Mekanik Davranışlarının Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Samsun: On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çitil, Ş. (2010). Kapakları Parça İçine Gömülü Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Diñç, Ö. (2022). Farklı Oranlarda Sisal Elyaf Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin ve Mikro Yapılarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Aksaray: Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erdem, İ. (2015). Alüminyum Esaslı Bakır Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erkek, S. (2016). Kauçuk Kapı Stoperinin Hiperelastik ve Viskoelastik Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gideroğlu, K. (2022). Metal Kumaş İçerikli Kompozit Levhaların Mukavemet Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman: Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Grujović, N. ve Slavkovic, V. (2021). "Modeling of Mechanical Behaviour of Fiber Reinforced Composites". Encyclopedia of Materials: Composites, 2, 242–267.

Güney, O.A. (2017). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Fiber Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Üç Boyutlu Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kabir, S., Shahed, C. A. Ador, M. S. H., Choudhury, I. A. ve Ahmad, F. (2023). "Review of the developments in composite materials over the last 15 years," in Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.

Kasiri A., Brabazon, D. (2021). "Materials Used Within Polymer Matrix Composites (PMCs) and PCM Production Via Additive Manufacturing, Encyclopedia of Materials". Composites, 2, 837–846.

Kataria A. et al., (2023). “Cellulose fiber-reinforced composites—History of evolution, chemistry, and structure”. Cellulose Fibre Reinforced Composites, 1–22.

Kaya, A.İ. (2016). “Kompozit Malzemeler ve Özellikleri, Poliüretan ve Kompoz”. Sanayi Dergisi, 8, 38–45.

Penekli, U. (2021). Metal-Kauçuk Bileşenli Parçaların Torsiyonel Yük Altında Mekanik Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Pir, I. (2022). Halloysite Nanotüp ve Nano Kauçuk Parçacık Takviyeli Epoksi İmalatı ve Mekanik Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sapuan, S. M. (2017). Composite Materials: Concurrent Engineering USA, Boston: Butterworth-Heinemann.

Staab, G. H. (2015). “Introduction to composite materials”, In G. H. Staab (Ed.) Lamina composites (pp. 1–16). USA, Boston: Butterworth-Heinemann.

Sülü, İ. Y. (2014). İç Basınca Maruz Tabakalı Kompozit Boruların Farklı Birleştirme Yöntemleri İle Yapıştırılması ve Gerilme Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Malatya: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şahin, B. (2022). Epdm Kauçuk Esaslı Hidrofilik Kompozitler. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

URL-1: “<https://referansmetal.com/upload/files/aluminyum-mekanik-ozellikler.pdf>,”  
*Erişim tarihi:24.01.2024.*

URL-2: “<https://aydinlarmakinametal.com.tr/urunler/demir-disi-metaller/bakir/cucrzr-bakir-krom-zirkonyum/>,”  
*Erişim tarihi:24.01.2024.*

URL-3: “<https://www.dostkimya.com/tr/urunler/karbon-fiber-plakalar//karbon-fiber-plaka-t1mm>,”  
*Erişim tarihi:24.01.2024.*

URL-4: “<https://ozparkaucuk.com.tr/tr/anasayfa/>,”  
*Erişim tarihi:24.01.2024.*

Wake, W.C. (1971). Adhesives Handbook, J. Shields. pp. 355, 1970. London: Butterworths. £8, Br. Polym. J., 3(4), 201–202.

Wu, M., Luo, T., Lu, J., Wang, Y., Lin, B. ve Xu, C. (2023). “Fabricating robust natural rubber composites with photothermal conversion and near-infrared light-actuated remote-controlled accurate self-healing”. Compos. Sci. Technol., 235, 1-11.

Yağbasan, M. (2019). Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Plakaların Çarpma Açısına Bağlı Olarak Düşük Hızlı Darbe Davranışının ve Darbe Sonrası Basma Mukavemetinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Milli Savunma Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, D. (2017). Karbon Fiber Takviyeli Plakaların Düşük Hızlı Darbe Davranışına Düşük Sıcaklıkların Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

