

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

METAL LEVHA TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS

Abdulsamet KELEŞ

HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**METAL TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**MECHANICAL PROPERTIES INVESTIGATION OF METAL SHEET
REINFORCED POLYMER COMPOSITES**

YÜKSEK LİSANS

Abdulsamet KELEŞ

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**METAL TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF METAL SHEET
REINFORCED POLYMER COMPOSITES**

YÜKSEK LİSANS

Abdulsamet KELEŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Filiz KARABUDAK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Metal Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması**” İsimli tez bütünüyle bana ait, alıntı yaptığım her bilgiye kaynak gösterip ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

21/06/2023

.....
Abdulsamet KELEŞ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini ve maddi/manevi desteğini esirgemeyen, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Sayın Dr. Öğr. Üyesi Filiz KARABUDAK'a, numunelerin üretiminde yardımcı olan Karadeniz Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mustafa ASLAN'a, testlerin yürütülmesi aşamasında yardımcı olan Atatürk Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Dr. Öğr. Üyesi Volkan ACAR'a ve AZ91 Mg alaşımının temini için Nur Plastik Kalıp firması Satış Pazarlama Müdürü Sayın Muammer DİKMEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hayatım boyunca beni destekleyen, haklarını asla ödeyemeyeceğim annem, babam ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (GÜBAP, Proje Numarası:23.E0117.07.02) tarafından desteklenmiştir.

Abdulsamet KELEŞ
GÜMÜŞHANE-2023

ÖZET

Teknolojinin gelişmesiyle değişen ihtiyaçlar daha fonksiyonel ve farklı özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur. Mukavemet, tokluk ve hafiflik gibi özelliklerde rekabet edilen uzay havacılık, otomotiv, savunma, rüzgar enerjisi, tekstil ve inşaat gibi birçok sektörde çok önemli bir yere sahip olan kompozit malzemelerin farklı hibrit dizilimlere sahip istenilen özellikte metal takviyeli polimer kompozit çalışmaları da gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda kompozit malzemelerin gelişen özellik ve performansları, talepte hızlı bir artış meydana getirmiştir.

Bu çalışmada; AZ91/karbon elyaf, AZ91/cam elyaf, Al1050/karbon elyaf ve Al1050/cam elyaf takviye elemanı ve Hexion MGS LR 635 reçine/MGH LH 635 sertleştirici (ağırlıkça 70:30) kullanılarak VARTM tezgahında metal takviyeli polimer kompozit üretimi yapılmıştır. Çekme ve üç nokta eğme testleriyle metal takviye elemanlarının kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi mukayese edilmiştir.

Sonuç olarak AZ91 takviyeli karbon elyaf kompozitlerin cam elyaf kompozitlere kıyasla %28,8 daha yüksek ortalama çekme mukavemetine sahip olduğu, benzer şekilde Al1050 takviyeli karbon elyaf kompozitlerin cam elyaf kompozitlere kıyasla %17,2 daha yüksek ortalama çekme mukavemeti performansı gösterdiği gözlenmiştir. Eğilme testi sonuçlarına bakıldığında ise AZ91 takviyesinin her iki elyaf için de daha yüksek ortalama eğilme mukavemetine sahip kompozitler meydana getirdiği anlaşılmıştır. AZ91 takviyeli kompozitlerde, cam elyaf kompozitlerine kıyasla, karbon takviyeli kompozitlerin % 32,6 daha yüksek ortalama eğilme mukavemetine sahip olduğu anlaşılmıştır. Al1050 takviyeli kompozitlerde tam tersi bir trend gözlenmiş ve cam elyaf kompozitlerinin karbon elyaf kompozitlerinden % 19,02 daha yüksek ortalama eğilme mukavemeti performansı gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Al1050, AZ91, Çekme, Eğme, Kompozit

SUMMARY

The changing needs with the development of technology have led to the need for materials with more functional and different properties. Studies of metal-reinforced polymer composites with different hybrid arrangements of composite materials, which have a very important place in many sectors such as aerospace, automotive, defense, wind energy, textile and construction, which compete in properties such as strength, toughness and lightness, are increasing day by day. In this context, the developing properties and performances of composite materials have created a rapid increase in demand.

In this study; Metal reinforced polymer composite was produced on the VARTM bench by using AZ91/carbon fiber, AZ91/glass fiber, Al1050/carbon fiber and Al1050/glass fiber reinforcement and Hexion MGS LR 635 resin/MGH LH 635 hardener (70:30 by weight). The effects of metal reinforcement elements on the mechanical properties of composites were compared with tensile and three-point bending tests.

As a result, it was observed that AZ91 reinforced carbon fiber composites had 28.8% higher average tensile strength compared to glass fiber composites, and similarly, Al1050 reinforced carbon fiber composites showed 17.2% higher average tensile strength performance compared to glass fiber composites. When the bending test results are examined, it is understood that AZ91 reinforcement creates composites with higher average bending strength for both fibers. Carbon reinforced composites have 32.6% higher average bending strength in AZ91 reinforced composites compared to glass fiber composites. The opposite trend was observed in Al1050 reinforced composites and glass fiber composites showed 19.02% higher average bending strength performance than carbon fiber composites.

Keywords: Bending, Composite, Al1050, AZ91, Tensile

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ	2
2.1. Kompozit Malzemeler.....	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	5
2.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj Ve Dezavantajları	6
2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	7
2.4.1. Karma Kompozitler.....	7
2.4.2. Tabakalı (Lamine) Kompozitler.....	7
2.4.3. Elyaf takviyeli kompozitler.....	7
2.4.4. Partikül (Parçacık) Esaslı Kompozitler	8
2.4.5. Polimer Kompozitler	8
2.4.5.1. Termoset Matrisler	9
2.4.5.2. Polyester	9
2.4.5.3. Epoksi Reçine.....	9
2.4.6. Metalik Matrisli Kompozitler	10
2.4.7. Seramik Matrisli Kompozitler.....	10
2.4.8. Polimer Matrisli Kompozitler	11
2.4.8.1. Polimer Matrisli Kompozitlerin Elemanları.....	11
2.4.8.2. Matris Elemanı	11
2.4.8.3. Polyester Reçine.....	12
2.4.8.4. Vinilester Reçine	12
2.4.8.5. Epoksi Reçine.....	13
2.4.8.6. Takviye Elemanı	13
2.4.9. Parçacık Takviyeli Kompozitler	14

2.5. Karbon Elyaf	14
2.6. Cam Elyaf.....	15
2.7. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	16
2.7.1. El Yatırması Yöntemi	16
2.7.2. Püskürtme Yöntemi.....	17
2.7.3. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi	17
2.7.4. Vakumlama Yöntemi	17
3. KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILAN METAL TAKVİYELER	23
3.1. AZ91 Mg ve Özellikleri	23
3.1.1. %kalan.....	23
3.1.2. Şekillenebilirlik	19
3.1.3. Korozyon Direnci.....	23
3.2. Kullanım Alanları.....	24
3.2.1. Havacılıkta Mg.....	24
3.2.2. Otomotivde Mg	24
3.3. AL1050 Alaşımı.....	24
3.3.1. 1050AL Alaşım Karakteristik Özellikleri (Elvan ve EL-Nikhaily, 2020).....	25
4. MATERYAL VE YÖNTEM	26
4.1. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması	26
4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	27
4.3. Çekme Testi	28
4.4. Eğme Testi	28
5. BULGULARI VE TARTIŞMA.....	30
5.1. Eğme Testi	32
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	36
KAYNAKÇA.....	37
ÖZGEÇMİŞ	46

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. AZ91 kimyasal bileşim.....	23
-------------------------------------	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 . Matris Elemanları(Black ve Foudoulis, 2004).....	11
Şekil 2. Kompozit İç Yapısı (Balch, 1996)	14
Şekil 3. El Yatırması Yöntemi(Smith, 2011)	16
Şekil 4. Püskürtme Yöntemi(Zhang ve Whu, 2012)	17
Şekil 5. Metal takviyeli kompozit plakaların üretimi	27
Şekil 6. Çekme ve eğme testi numune örnekleri.....	27
Şekil 7. Çekme test cihazı	28
Şekil 8. Eğme test cihazı	29
Şekil 9. Metal takviyeli kompozit plakaların çekme testi hasar görüntüleri.....	30
Şekil 10. Metal takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri	31
Şekil 11. Metal takviyeli kompozitlerin temsili gerilme ve yer değiştirme (%) eğrileri	31
Şekil 12. Metal takviyeli kompozit plakaların eğme testi hasar görüntüleri.....	32
Şekil 13. Metal takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme mukavemetleri	33
Şekil 14. Metal takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modülü değerleri	34
Şekil 15. Metal takviyeli kompozitlerin temsili kuvvet (N) ve yer değiştirme (mm) eğrileri.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
ASTM	: American Society for Testing and Materials
Cu	: Bakır
GPa	: GigaPascal
km	: kilometre
LRTM	: Hafif Reçine Transfer Yöntemi
m	: Metre
md.	: Madde
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
MPa	: MegaPascal
MS	: Milâttan sonra
ör.	: Örnek
p	: Korelasyon katsayısı
r	: Serbestlik derecesi
R	: Direnç
R	: Reuter matrisi
RTM	: Reçine Transfer Yöntemi
Si	: Silisyum
VARTM	: Vakum İnfüzyon Yöntemi
W	: Kütle Kütle oranı
Zn	: Çinko
P	: Yoğunluk

1. GİRİŞ

Kompozitler arasında en yaygın kullanım alanına sahip olan tabakalı kompozit malzemeler aynı veya farklı özelliklere sahip birden fazla plakanın farklı yöntemler kullanılarak birleştirilmesiyle üretilmektedirler. Kompozitlerin özellikleri içerdikleri elementlerin özelliklerine ilave olarak geometrik dizaynlarına da bağlıdır. Farklı tür elyaf yönlenmelerine sahip; nem ve ısıya dayanıklı metallere kıyasla daha hafif tabakaların birleşimi ile çok yüksek dayanım elde edilir (Gu, 2018). Bu kompozitlerin karmaşık mekanik davranışlarını incelemek için çok kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın kullanıma sahip olan hibrit kompozitler üretim aşamasında birbirlerinin eksiklerini tamamlayacak şekilde belirlenmelidir.

Esneyebilir bir metal matris ile takviye malzemelerden meydana gelen kompozitler ise metal matris kompozitlerdir. Takviye malzeme olarak ise sürekli ve süreksiz fiberler, partiküller ve whiskerler olabilir (Foltz, 1998).

Amerikan Hava Kuvvetleri'nin 1974 yılında "Hasar Toleranslı Tasarım" fikrini ortaya atmasıyla ilk kez kompozit malzemeye metal katmanın takviye elemanı olarak katılması fikri ortaya çıkmıştır (Fredell, 1994). Amerikan Federal Havacılık Dairesinin (FAA), 1978 yılında ticari uçaklara yorulma ömrü ve hasar toleransı için serifikasyon zorunluluğu getirmesiyle bir takım çalışmalar yürütülmüştür. 1978 yılında Delft Teknoloji Üniversitesi (Holanda) alüminyum-aramid elyafı ARALL'ı ve alüminyum-cam elyafı "GLARE"'i tanıtmıştır (Vermeeren, 2003).

Bu çalışmada farklı mekanik özelliklere sahip AZ91, Al1050 metal takviye elemanı kullanılarak cam ve karbon elyaf kumaşlarla metal takviyeli polimer tabakalı kompozit üreterek karşılaştırmalı olarak daha iyi çekme ve eğme dayanımı amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

19. yüzyılın başlarında cam elyaf üretimi ile birlikte elyaf takviyeli polimer (FRP) endüstrisi başlamıştır. 1938 yılında epoksi gibi yüksek performanslı reçineler kullanılmaya başlandı. O dönemde savaşların patlak vermesiyle cam elyafı sektörü araştırmadan üretime geçmiştir. Radar kuleleri, bu malzemenin sadece güçlü olmakla kalmayıp aynı zamanda radyo frekansları da yaydığı fiberglastan yapılmaya başlandı. Biraz daha ileri giderek tamamen kompozit gövdeden yapılmış bir araba test edildi (El-Ghaoui vd., 2019). Bu malzemeler çok hızlı evrimleşmiş ve hızla gelişmeye devam eden bir özelliğe sahiptir (Simpson, 1953).

Bu malzeme sadece modern bir malzeme değil, aynı zamanda geleceğin malzemesi olarak da biliniyor. Bilinenin aksine günümüzde her alanda popüler olan ve kullanılan kompozit malzemelerin geçmişi çok eski yüzyıllara dayanmaktadır. Kompozit malzemeler çok eski çağlardan beri kullanılmaktadır ve ilk örnekleri çok eski zamanlara dayanmaktadır (Gu, 2018) İnsanlığın ilk zamanlarından itibaren insanlar gevrek malzemelerin içerisine bitkisel veya hayvansal ana maddeli lifler katarak bu kırılgan malzemeleri dayanıklı hale getirmeye çalışmışlardır. Buna örnek en bilinen kerpiçtir. Çamura saman ilave edilerek yapılan kerpişte saplar bu malzemeye dayanım katmış ve göçebe yaşayan insanlara dayanıklı barınak yapma şansı sunmuştur (Friesem ve Shahack, 2011).

İnsanlık bu geçen zamanla kompozit malzemelerin sağladığı pozitif kolaylıkları farketmiş ve kullanım alanlarını genişletmiştir. Savaş alanındaki teknoloji daima yeni üretilen malzemelerin sürekli tercih edildiği kısımlar olmuştur. Normal batılı yaylarda oldukça görülen, yayın belli bir güç değerinden sonra kırılması sorununu çözmek isteyen Moğollar, yayın esnek olan bölümlerini farklı lif yönlerine sahip hayvansal kaslar ve tendonlardan faydalanarak bu problemi çözmüşlerdir. Aynı dönemlerde Spartalılar ve Emeviler keneviri elyaf olarak kullanarak ağaçta üreyen reçineyle karıştırıp zırh, miğfer ve kalkan gibi savaş malzemeleri meydana getirmişlerdir. Bu malzemelerin kullanımına bir başka örnek de Mısır'da görülmektedir.

XVIII. Farklı kalınlık ve renklerde hanedan amforalar, M.Ö. Bu, Mısır'da 17. yüzyılda iyi fiberglas üretildiğini gösterir (Reddy ve Rao, 2017).

Tarih boyunca çeşitli rollerde kullanılan kompozit örnekleri olsa da, modern kompozitler olarak bilinen kompozitlerin yaygın kullanımının kökleri, aslında 1930'da Owens Corning'de çalışan bir mühendisin tesadüfen gördüğü cam elyaflarına kadar uzanabilir. 1937 yılında yapısal ürünlerde kullanımı uzun sürmemiştir (Agarwal, vd.,1990)

1920'lerin başında ilk modern sentetik plastikler geliştirildi ve 1930'larda plastik malzemeler diğer malzemelerle rekabet edebilir hale geldi. Plastikler çoğalmaya başladı ve avantajları, kalıplanma kolaylığı, yüksek yüzey kalitesi, korozyon direnci ve metallere göre düşük yoğunluktur. Ancak dayanıklılığı ve sertliği düşük olduğundan plastik malzemelerin güçlendirilmesi gerekir (Elias, 2003).

Plastiklerin yapısal fonksiyonlarını tam olarak yerine getirememesinden dolayı takviye ihtiyacı, aynı zamanda keşfi düşen fiberglass'ın plastiklerle birlikte uygulanması için uygun bir ortam yaratmıştır. Yeni keşfedilen bu ürün özellikle havacılık sektörünün ilgisini çekmiştir. Çünkü birçok küçük ve kurumsal uçak markası, birçoğu geleneksel malzemelerin sağlamadığı özellikleri ekleyen yeni malzemeler gerektiren farklı modeller ve yenilikçi konseptler üretti. Douglas ve Owens Corning Fiberglas işbirliği ile fenolik matris ve cam elyaf takviyeli kalıplar üretilmiş ve başarıya ulaşılmıştır. Bu sıçramayı, havacılık endüstrisinde cam elyaf takviyeli kompozitlerin çeşitli uygulamalarının keşfi izledi. 1936'da tescilli doymamış polyester matrisler piyasaya çıktı ve fenolik matrislerden daha kolay sertleştikleri için seçildiler, ancak hızlı olmasalar da 1938'de epoksi keşfedildiğinde, daha iyi dayanım matrisleri elde edilebilir hale geldi. Tüm bu süre zarfında malzemelerin gelişmesiyle birlikte kullanım alanları da genişlemiştir (May, 1988; Keimel, 2003; Kandelbauer vd.,2022).

Son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşan metal katmanlı hibrit kompozitler yüksek çekme ve darbe dayanım özelliklerine sahiptir. Literatürde metal takviyeli kompozit plaka üretilerek yapılan birçok çalışma mevcuttur ancak AZ91 Mg metal tekviyeli herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Harras vd. (2002) yaptıkları çalışmada metal tabakalar içeren kompozit plakanın teorik ve deneysel olarak lineer (doğal frekans, kırılma modları ve sönüm katsayıları) ve non-lineer (plak açıklık oranları, titreşim genlikleri gerilme ilişkisi) dinamik davranışı incelemişler izotropik plakla karşılaştırma yapmışlardır (Harras vd., 2002).

Langdon vd. (2007) metal katmanlar içeren farklı kalınlıklardaki kompozit plakaların anlık basınç yükü altında meydana gelen hasar mekanizmalarını tiplerine

göre karakterize etmişlerdir. Metal kompozit plakaların arka ve ön yüzlerinde meydana gelen kalıcı deplasmanları boyutsızlaştırarak yer değiştirme grafikleri oluşturmuşlardır (Langdon vd., 2007).

Mamalis vd. (2008) yaptıkları çalışmada polimerik malzemeler ve metallerin avantajlarından yararlanıp dezavantajlarından kaçınarak yeni bir sandviç yapı oluşturmuşlardır. Rijitliği artırmak için yüzey tabakasında metal kullanıp çekirdekte hafif bir malzeme seçmişlerdir. Bu şekilde çekirdekle yüzey tabakası arasına bir levha koyularak katmanlar basınç istenilen değere yakın olarak ayarlanmıştır. Deneyler farklı malzemelerle tekrarlanmıştır. Bu şekilde darbe dayanımına dayanıklı, yüzeyle çekirdek arasındaki bağı kuvvetli bir kompozit plaka geliştirmişlerdir (Mamalis vd., 2008).

Yeğ vd. (2012) yaptıkları çalışmada uçak konstrüksiyon bağlantılarında önemli bir parametre olan yatak mukavemetinin fiber takviyeli metal plaka kompozitlerinde anizotropik karakteristiktan dolayı yüksek dayanım gösterdiğini belirlemişlerdir (Yeh vd., 2012).

Dong vd.,(2022) çalışmalarında fiber takviyeli kompozit/metal kompozit hedefin küresel mermi (FMCT) balistik darbe tepkisini deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Merminin artık hızı, bileşik hedeflerin başarısızlık modları ve enerji emilimini analiz etmişlerdir. Sonuç olarak kevlar kompozit ön plaka ve çelik arka plaka ile hedef konfigürasyonunun daha iyi anti-penetrasyon yeteneğinin olduğu ve plaka kalınlığını artırmak ve azaltmanın hedefe nüfuz etme kabiliyetini artırabileceği belirlenmiştir (Dong, 2022).

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit, iki farklı malzemenin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan bir malzemedir. Kompozit malzeme, mukavemeti, hafifliği ve esnekliği nedeniyle tek başına kullanılamayan veya çözünmeyen malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Bu, tüm kullanımlar için uyum, dayanıklılık, esneklik ve rahatlık sağlamak için yapılır (Solmaz, 2007).

Kompozit malzemeler, öncelikle, aşağıda kısaca açıklanan geleneksel malzemelerin bir veya daha fazla özelliğini iyileştirmek için tasarlanır (Kaya, 2016)

Bunlar ;

- Mekanik dayanım
- Korozyon direnci,
- Isıya karşı direnç
- Ağırlık,

- Elektrik iletken,
- Estetik olması,
- Fiyat.

Bir kompozit malzemenin temelini oluşturan iki ana bileşen, matris ve takviye malzemesidir. Bu malzeme özelliklerinin bileşenleri, matris malzemesi olarak metal ve seramiğe dayanmaktadır, ancak takviye malzemesi olarak genellikle çelik ve naylon kullanılmaktadır. Bu durumda matris ve takviye malzemesi uygulamaya göre değişir (Kaya, 2016).

2.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler, yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk kombinasyonundan dolayı birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Küresel kompozit pazarı yaklaşık olarak her yıl genişlemektedir. 2020' li yıllarda en büyük büyüme havacılık, otomotiv ve inşaat sektörlerinden gelecek. Küresel pazarın önümüzdeki 10 yılda ikiye katlanacağı düşünülmektedir (Zhang vd., 2022; Krauklis ve Jorgensen, 2021).

Havacılık ve Uzay

1970'lerin başında üretilen Concorde uçaklarında %8 kompozit malzeme kullanılmıştır. Mevcut Boeing 787 ve Airbus A350 P uçakları kompozit malzemelerden yapılmıştır. Kompozit malzemelerin uzay aracı ve roketlerde kullanım olanakları önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca askeri uçaklarda, helikopterlerde ve İHA' larda kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Mouritz, 2012; Castanie, 2016).

Savunma Sanayii

Kompozit malzemeler, vücut zırhları, kasklar, kokpitler, duvarlar gibi savunma sanayinin ihtiyaçlarını karşılayan birçok balistik üründe kullanılmaktadır. Özellikle aramid ve S2 cam gibi takviye malzemeleri yüksek darbe dayanımlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Benzait ve Trabzon, 2018; Czech vd., 2021).

İnşaat

Kompozit malzemeler, birçok inşaat uygulamasında hem estetik (prefabrikasyon) hem de yapısal (kolon takviyesi) amaçlarla kullanışlıdır. Birçok ülkede özellikle yaya köprülerinde kompozit malzemelerden gergi profilleri yapılmaktadır. Çeşitli çaplarda borular, ambarlar, rögar kapakları, bariyer elemanları, ızgaralar ve boru hatlarında kullanılan yüzeyler gibi birçok alt yapı/üst yapı ürünü kompozit malzemeden imal edilmektedir (Nguyen vd., 2020).

Otomotiv

İlk ticari araçlar 1950'lerin başında üretildi. Günümüzde başta F1 araçları olmak üzere birçok yüksek performanslı araç kompozit parçaları tercih ediyor. Ayrıca otobüs, kamyon, tır, tarım araçları gibi ağır vasıtaların birçok parçası kompozit malzemeden yapılmaktadır. Daha hafif araçlar yalnızca yakıt tüketimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda menzili ve taşıma kapasitesini de artırır (Onsen, 2010).

2.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj Ve Dezavantajları

Yaşadığımız çevrede olan her şeyin avantajları ve dezavantajları olduğundan dolayı kompozit malzeme kullanmanın da avantajları ve dezavantajları vardır. Bu genel kullanım, bu malzemelerin daha fazla avantaja sahip olduğunu gösterir.

Avantajları

- Hafif olmaları; Kompozit malzemeler diğer metallere göre oldukça hafiftir. Bu nedenle daha çok uçak yapımında kullanılır. Hafiflik yakıt verimliliği demektir.
- Dayanıklılık; Çelik gibi bazı malzemeler dayanıklı ve ağırdır. Fakat kompozit malzemeler tüy gibi hem de mukavemetli oldukları için daha çok otomotiv ve havacılık sektörlerinde kullanılmaktadır (Pruez vd., 2013; Thori vd., 2013).
- Korozyon direnci ; Bu malzemelerin havaya ya da kimyasal maddelere maruz kalmaya karşı direnci diğer malzemelere oranla çok yüksektir.
- Tasarım esnekliği; Kompozitler birçok malzemeden çok farklı şekillerde şekillendirilebilir. Bu, tasarımcılara hemen hemen her şekli veya formu yaratma özgürlüğü verir (Cagar, 2021; Ngo, 2020).
- Boyutsal Stabilité ; Bileşikler şekillerini ve boyutlarını sıcak veya soğuk, ıslak veya kuru olarak korurlar. Örneğin uçak kanatlarında, uçak yükselip alçaldığında kanadın şekli ve boyutunun değişmemesi için kullanılırlar.
- Uzun ömürlü olması ; Dayanıklılıkları sayesinde bu malzemeler uzun ömürlüdür. Orijinal kompozit malzemelerin kullanım ömrü 50 yıl olarak kabul edilmektedir (Ghosh vd., 2020).

Dezavantajları (Thori, 2013).

- Üretim maliyeti; Tamamen yeni malzemelerin üretilmesi nedeniyle bu malzemelerin üretim maliyetleri yüksektir
- Hasar tespiti; Kompozit malzemelerdeki kusurların tespit edilmesi çok zordur.
- İmalat zorluğu ; Üretim süreci diğer malzemelere göre daha karmaşık ve emek yoğunudur.

Kompozite metal eklenmesi ; Metaller, sıcaklık değişimleri ile bileşiklerden daha fazla genişler ve büzölür. Bu durumda, kararsızlığa ve arızaya neden olabilir.

2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

2.4.1. Karma Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki veya daha fazla takviye elemanın bulunması yaygın bir durumdur. Bu tür bileşiklere hibrit bileşikler denir. Bu alan, yeni bileşik türlerinin geliştirilmesi için uygundur. Örneğin, Kevlar ucuz bir elyafır ancak basınç dayanımı düşüktür. Grafit; Düşük tokluğa ancak iyi basınç dayanımına sahip pahalı bir elyafır. Bu iki elyaftan yapılan hibrit bir kompozit, bir grafit kompozitten daha iyi dayanıklılığa sahiptir, daha ucuzdur ve bir Kevlar fiber kompozitten daha yüksek basınç dayanımına sahiptir (Kaya, 2016; Singh ve Patnaik, 2017).

2.4.2. Tabakalı (Lamine) Kompozitler

Değişik özelliklere sahip en az iki tabakanın bir araya gelmesiyle oluşan tip kompozit yapılar yaygın ve en eski tiptir. Böyle malzemelerde değişik lif oryantasyonları ile oluşturulan katmanlar oldukça yüksek bir mukavemet değeri vermektedir. Isıya ve neme dayanabilirler. Yüksek özgül dayanımları vardır. Güçlü, hafif ve uygun fiyatlıdır. Dayanıklı metaller ve plastikler kaplanarak korozyon direnci, yumuşak metaller sert malzemelerle birleştirilerek aşınma direnci ve sertlik iyileştirilebilir ve tek bir katmanda farklı yönlerde yerleştirilerek birkaç yönlü taşıma yetenekleri geliştirilebilir. Bir de uçak yapımında faydalanılan sandviç malzemeler lamine kompozitlere örnek olarak verilebilir. Fakat kullanımlarına sınır getiren başlıca etken, karmaşık bir hasar mekanizması bulundurmasıdır (Turan, 2007).

2.4.3. Elyaf takviyeli kompozitler

En yaygın kompozit malzeme türü fiber takviyeli kompozitlerdir. Cam elyaflar, elyaf takviyeli kompozitler için bir takviye malzemesidir. Matris malzemesi olarak çoğunlukla plastik reçineler kullanılmakta olup, ucuz olması nedeniyle polyster tercih edilmektedir.

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, bileşenler farklı moleküler boyutlara sahiptir ve mekanik olarak ayrılabilir. Matris (reçineler) termoset veya termoplastik olabilir. Takviye edici lifler uzun liflerden, dokuma kumaştan, kısa liflerden vb. yapılabilir, farklı şekillerde olabilirler. Her form farklı özellikler oluşturur. Kompozitin

özellikleri, fiberlerin kompozitin içinde nasıl olduğuna bağlıdır. Cam elyaf ve karbon elyaf katkılı kompozit mazemeler, alçak termal genişleme, yüksek sönümlleme, yüksek direnç ve sertlik özellikleri barındırdığından uzay ve otomotiv vb.sektörlerde yaygın olarak tercih edilmektedirler (Bayraktar ve Turgut, 2012).

Parçacıklı malzemenin performansını birçok farklı faktör etkiler. Bunlardan tane boyutu, boyut dağılımı, yüzey enerjisi, hacim oranları, homojen dağılıp dağılmadıkları ve eksen oranları bileşim özelliklerini etkiler.

2.4.4. Partikül (Parçacık) Esaslı Kompozitler

Matrise parçacıklar (parçacıklar) şeklinde malzeme eklenerek manuel olarak oluşturulur. Bu tür malzemelerde matris ve lifler yükü taşır. İzotropiktirler (malzeme her yönde aynı şekilde davranır). Metaller, polimerler ve seramiklerin birleştirilmesiyle oluşturulabilirler. Kompozit yapının sertliği, tanecikli malzemenin de sağlamlığına bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan cins, plastik bir matris içinde bulunan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriği iletir. Yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek sertlik, seramik matrisin metal matris içinde yer aldığı bir yapıdır. Bu tür bileşiklerin gücü; Parçacık boyutuna, parçacıklar arası, homojen dağılıma, mesafeye ve matris parçacık özelliklerine dayalıdır. Uçak motor parçalarının imalatında yaygın olarak kullanılırlar (Walsh ve Ponce, 2014).

2.4.5. Polimer Kompozitler

Polimer, istenildiği gibi kalıplanmış anlamına gelen Yunanca "plastikos" kelimesinden gelir. Monomer adı verilen küçük moleküllerin bir araya gelmesiyle oluşan uzun zincirli yapıya (polimer) sahip sentetik malzemelerdir. 20. yüzyılın başlarında gelişmeye başlayan sentetik plastikler, kalıplama kolaylığı, düşük yoğunluk, yüksek kaliteli yüzey ve korozyon direnci gibi güçlü faktörler nedeniyle 1930'ların sonlarında önemli bir başarı elde etti (Kim ve Ilyas, 2022).

Polimer bazlı kompozit malzemeler, yeterli sertlik ve mukavemete sahip olmadıkları için 1950'lerde geliştirildi (Durgun ve Vatansever, 2013). Bu polimer bileşikleri, yeterli sertlik, dayanıklılık, yüksek mukavemet gibi birçok olumlu özellik sunuyordu. Polimerler, düşük üretim maliyetleri, işlenebilirlikleri ve birçok olumlu özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılabilirler. Bu polimer esaslı bileşikler, kompozit malzemelerde kullanılmaktadır. Termoset polyesterler ve epoksi reçineler, piyasadaki en ucuz ve en popüler matris malzemeleridir. Monomerlerin (küçük moleküller) sıcaklık, basınç ve birçok kimyasalın ve polimerlerin (plastik, uzun zincirli)

etkisi altında birleşmesine polimerizasyon denir. Bu polimer molekülleri birçok zincirden oluşur. Bağlantılı veya üç boyutlu çapraz bağlı zincirler (termoaktif) oluşturabilirler (Stevens, 2002).

2.4.5.1. Termoset Matrisler

Kompozit malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan matrislerdir. Bu plastikler çoğu zaman sıvı haldedir. Kimyasal reaksiyonlar ve ısıtma yöntemiyle sertleşirler. Sonuç olarak, muayyen bir yapı ortaya koyarlar. Esnek plastikler laf mevzusu olduğunda, termoplastiklerin aksine, polimerizasyon işlemi geri döndürülemez bir işlemdir. Kürlendikten sonrasında yüksek sıcaklıkta bile yumuşama göstermezler. Bu nedenle, termoset matrislerin bir çok sertleşmeyi önlemek için dondurulur. Termoset reçineler kimyasal etkilere karşı çözünmez ve değişik hava koşullarında bile uzun ömürlü olabilir (Kaddami vd., 2006).

2.4.5.2. Polyester

Daha ucuz olan "ortoftalik" ve daha iyi su geçirmez olan "izoftalik" olmak üzere iki türü vardır. Özellikle nakliye ve inşaatla önemli ölçüde öndedir. Polimerizasyon işlemi için katalizörlere ve hızlandırıcı katkı maddelerine ihtiyaç duyarlar. Polyester reçineler 100 °C'nin altında iyi mekanik ve kimyasal dirence sahiptir. Düşük maliyet, kullanım kolaylığı, kürlenme sırasında yüksek büzülme, toksik stiren gazı emisyonu, düzgün bir yüzey elde etme, orta mekanik özellikler, alkali ve bazik koşullarda düşük korozyon direnci ve kısa servis ömrü gibi birçok avantaj ve dezavantajı vardır (Halliwell, 2000).

2.4.5.3. Epoksi Reçine

Geniş bir uygulama alanına sahip olan epoksi, ısıyla sertleşen bir yapıştırıcıdır. Epoksilerin avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (May, 1988).

Avantajları; (Ellis, 1993).

- Yağ, su, asit ve kimyasallara dayanımı çok iyidir.
- Isı dayanımı ıslak 140 °C ve kuru 220 °C'dir. Sürtünmeye ve aşınmaya dayanıklı yüzeyler oluşturur.
- Güçleri oldukça iyidir
- Çok iyi mekanik özelliklere sahip cam ve karbon fiber kompozitler oluştururlar.

Dezavantajları; (Gibson, 2017).

- Onlar pahalı
- Cilt dokusuna zarar verebilir.
- Doğru karışım çok önemlidir.

Havacılık, ulaşım, spor, deniz ve askeri araçlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Bahsedildiği gibi kompozit malzemeler, mekanik dayanımlarını veren farklı geometrik parçalardan (örneğin fiber) ve bu parçaları bir arada tutan polimer, metal veya seramik malzemelerden oluşur. Pek çok malzemeyi bünyesinde barındıran kompozit malzemeler, çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Ancak en yaygın sınıflandırma, matrise ve yapısını güçlendiren malzemeye dayanmaktadır (Jose ve Joseph, 2012).

2.4.6. Metalik Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozit malzemelerde, adından da anlaşılacağı üzere bu tür metaller matris elemanı olarak kullanılmaktadır. Al veya Al alaşımları genellikle matris elementleri olarak tercih edilmekle birlikte, Mg ve Cu matrisleri de belirli amaçlar için kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak genellikle takviye elemanı konumunda tercih edilen bazı elemanlar şu şekildedir; karbür, silisyum, boron veya grafit. Metal matrix kompozitler Otomotiv sektöründe adını hep duyduğumuz metal matrix kompozitlerin tek dezavantajı yüksek maliyetleridir (Kaczmar, 2000).

2.4.7. Seramik Matrisli Kompozitler

Bu malzemeler aşınmaya ve yüksek sıcaklıklara karşı oldukça dirençlidir. Ancak bu malzemeler kırılma tokluğu ve kırılma tokluğu gibi düşük mekanik özelliklere sahiptir. Ayrıca seramiklerin düşük güvenilirlik ve tokluk özellikleri nedeniyle yapısal uygulama alanlarında kullanımları kısıtlıdır. Seramik malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için seramik matriks silisyum karbür ve boron nitrür gibi takviye elemanları ile mukavemetleri artırılır. Yüksek sıcaklık direncine ve daha iyi mekanik özelliklere sahiptir (Kalemtas, 2015).

Bu kompozit malzemeler öncelikle yarış arabası ve uçak fren balatalarında tercih edilmektedir.

2.4.8. Polimer Matrisli Kompozitler

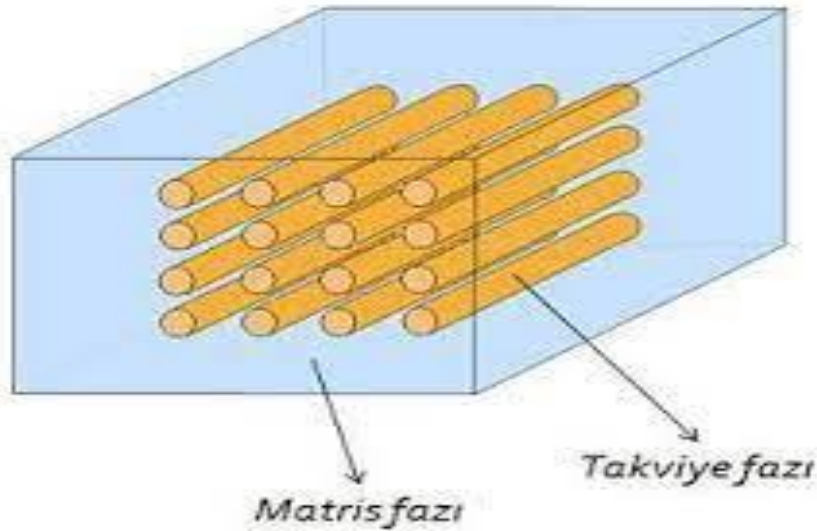
Buradaki en hassas unsurlar, maliyetlerin düşük olması ve kullanılan üretim yöntemlerinin diğer kompozit malzemelere göre daha basit olmasıdır. Polimer matrisli kompozitlerde, matris elemanı olarak polimer malzeme, takviye elemanı olarak cam, karbon ve aramid lifleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm çalışmalarda, bir polimer matris içeren kompozit malzemeler kullanılmıştır. Kompozit malzemeler arasında polimer matrisli kompozitlerin, yüksek mekanik özellikler, düşük yoğunluk ve korozyon dayanımı gibi özellikleri neticesinde rövanşta olduğu görülmektedir (Sönmez, 2009).

2.4.8.1. Polimer Matrisli Kompozitlerin Elemanları

Kompozit bir matris ve takviye elemanı olarak, iki çerçeve elemanı ve bir ek dolgudan oluşur.

2.4.8.2. Matris Elemanı

Matris elemanı ana eleman olmakla birlikte, takviye elemanlarının kesitleri, kompozit malzemeye etki eden yüklerin olması gerektiğinde takviye elemanlarına geçiş yapmak ve takviye elemanlarını aşınma ve kimyasal etkilere karşı korumak için kullanılır (Şekil 1).



Şekil 1 . Matris Elemanları (Yozgat, 2019)

Yüksek kaliteli bir matris elemanı, iyi yapışma özelliklerine sahip olmalı ve çevre koşullarına dayanmalıdır. Bu matris malzemeler, genellikle sert ve dış etkilere karşı dayanıklı olan kırılğan malzemeler gibi davrandıkları için düşük mekanik özelliklere

sahiptirler. Polimer matrisli kompozitlerde, matris elemanları termoset ve termoplastik olmak üzere iki şekilde bilinmektedir.

Termoplastikler, düşük sıcaklıklarda sert ve katı görünürken, yüksek sıcaklıklarda yumuşama reaksiyonu sergiler. İşlenen termoplastik tekrar ısıtıldığında deforme olmuş hali tekrar ortaya çıkar. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş plastikler, tek kullanımlık plastiklere göre daha uzun hizmet ömrüne ve daha yüksek kırılma direncine sahiptir. Ancak mevcut tüm faydalı özelliklerine rağmen, kalıplama maliyetleri ve yüksek sıcaklık gereklilikleri nedeniyle genellikle kompozitlerde tercih edilirler. Yüksek eğilme ve çekme mukavemetleri nedeniyle, havacılık uygulamalarında güçlü olması gereken malzemeler için termoset plastikler önerilir. Geri dönüşüme uygun olduğu için otomotiv sanayinde de kullanılmaktadır.

Termoplastikler, polimer matrisli kompozitlerin üretiminde termoplastiklerden daha yaygındır. Termal artıklar sertleşir ve katılaşır, kimyasal reaksiyona girerek sertleştiricinin veya kapların ek etkilerini önler. Kimyasal koruma ortamının sıcaklığı, termoplastik yapıların mekanik özelliklerini ve reaksiyon sürelerini etkiler. Termoplastikler, termoplastiklerin aksine yüksek sıcaklıklarda yumuşamazlar ve yeniden şekillendirilemezler. Ancak ısı kaynakları, ucuz ve kullanımlarının kolay olması nedeniyle değerlidir. Termoplastik kompozit malzemelerin en temel özelliklerinden biri diğerlerine oranla düşük yoğunluk özelliği barındırmasıdır. Örneğin demirin yoğunluğunun 7,8 gr/cm³ olmasına karşın termoplastik matris malzemelerin yoğunlukları 1-1,5 gr/cm³ seviyesindedir. Termoplastik malzemeler sıvı halde yüksek viskoziteye sahiptirler. Bu nedenle termoset malzemelere kıyasla ara yüzey bağı daha zordur (Ozer, 2015).

2.4.8.3. Polyester Reçine

Polyester reçinelerin fiyatları termoset reçineler arasında en ucuz olanıdır. Ayrıca kullanım kolaylığı ve sıvı direnci nedeniyle inşaat ve denizcilik uygulamalarında sürekli olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu reçineler, kimyasal reaksiyona girmek için bir katalizör ve bir hızlandırıcı gerektirir. Örneğin, polyester reçinelerin olumsuz etkileri arasında kimyasal reaksiyonlar sırasında çekme, düşük raf ömrü ve vinilester ve epoksi ile karşılaştırıldığında daha düşük mekanik değerler sayılabilir (Aziz vd., 2005)

2.4.8.4. Vinilester Reçine

Vinilester reçine kimyasal olarak polyester reçineye benzer olmasına rağmen, polyester reçineden daha iyi mekanik özelliklere ve ısı işlem sırasında kimyasallara

karşı dirence sahiptir. Polyesterden daha pahalı olan vinilester de bazı malzemelerin polyester kısmının dış yüzeyini korumak için kullanılır. Vinilester esas olarak kimyasal kompozit kapların ve kompozit boruların imalatında kullanılır (Pączkowski vd., 2022).

2.4.8.5. Epoksi Reçine

Epoksi yapıların mekanik özellikleri diğer termostatlara göre daha iyidir. Yüksek ve kimyasal özellikleri ile çekme minimum düzeydedir. Epoksi yapıların biri sertleştirici diğeri ana yapı olmak üzere iki farklı yapıdan oluşur. Bileşenlerin doğru oranda eklenmesi çok önemlidir. Masraflar diğer yapılara göre yüksek olmasına rağmen mekanik kısmı daha iyidir. En çok gözetleme, savunma, otomotiv, ulaşım ve daha birçok alanda kullanılmaktadır çünkü Tercih edilen ısıl sertleşme ürünü türüdür. Bu çalışmada üretilen bileşik plakaların yapısı olarak epoksi kullanılmıştır (Wang vd., 2021)

2.4.8.6. Takviye Elemanı

Yukarıda bahsedildiği gibi kompozit malzemeler, matris ve takviye olmak üzere iki ana bileşenden oluşur (Karataş ve Gökkaya, 2018). Takviye bileşeninin ana işlevi, matris bileşenini güçlendirmek ve kompozitin yapısını ve güçlü mukavemet özelliklerini sağlamaktır (Kelez, 2021).

Buna göre takviye elemanının tipi belirlenir. Bu, kompozitin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler.

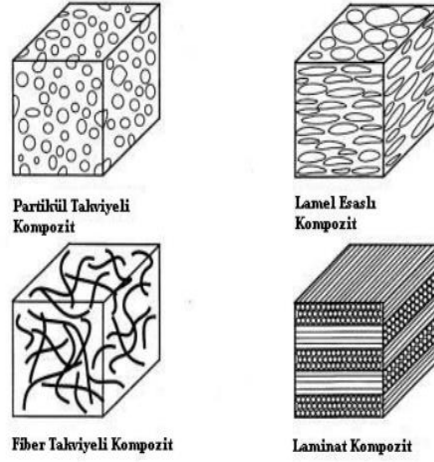
Takviye elemanı; Bileşik yükünün çoğunu taşır. Yükün takviye elemanına aktarılabilmesi için bileşenlerin fiziksel ve kimyasal uyumunun iyi olması ve ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanının ısıl genleşme katsayılarının ve matrisin uyumluluğu, kalıcı yapısal gerilmelerden kaçınmak için önemlidir (Hyer ve White, 2009).

Kompozit malzemelerin imalatında; (Al-Oqla ve Sapuan, 2014).

- Yüksek mukavemet
- Düşük yoğunluk
- Kimyasal uyumluluk
- Üretim kolaylığı
- Isı dayanımı gibi kriterlere göre çalışılmalı ve seçilmelidir.

Kompozit malzemeleri takviye malzemesine göre sınıflandırmanın en kolay yolu geometrik şekillere göre yapmaktır (Şekil 2). Bu açıdan bakıldığında kompozit malzemeler iki grupta ele alınabilir (Palanikumar, 2012).

- Parçacık takviyeli kompozitler
- Elyaf takviyeli kompozitler



Şekil 2. Kompozit İç Yapısı (Yıldız, 2007)

2.4.9. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Takviye malzemesinin boyutları, takviye malzemesinin özelliklerinin kompozit malzeme üzerindeki etkisini belirler. Genellikle karışımın sertliğini artırmada etkilidirler, ancak mukavemeti artırmada çok az etkileri vardır. Parçacıklı dolgu maddeleri genellikle fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılır, ancak çoğunlukla yalnızca maliyetleri azaltmak için kullanılır (Akaluzia vd., 2021).

2.5. Karbon Elyaf

Karbon fiber, uzun bir zincir oluşturmak için birbirine bağlanmış karbon atomlarından ve polimer liflerinin pirolizinden oluşmuştur. Lifler çok güçlü, sert ve hafiftir, karbon fiber kısmın ağırlığı plastik malzemeye, özellikleri ise çeliğe yakındır.

Bu nedenle, bir karbon fiber gövdenin güç-ağırlık oranı (ve sertlik-ağırlık oranı), çelik veya plastikten çok daha yüksektir. Karbon fiberin mukavemeti oldukça yüksektir. Karbon fiberler, yüksek gerilme mukavemeti, yüksek sertlik, hafiflik, yüksek kimyasal direnç, yüksek sıcaklık direnci ve düşük termal genleşme gibi birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri sayesinde havacılık, inşaat mühendisliği, askeriye, motor sporları ve diğer rekabetçi sporlarda mükemmel bir ün kazanmıştır. Ayrıca, cam elyafı veya plastik elyaflar gibi benzer elyaflara kıyasla nispeten pahalıdır. Karbon fiber takviyeli metal matris kompozitler, geleneksel malzeme parçalarına kıyasla daha güçlü, hafif ve iyi yorulma özelliğine sahiptir (Sandhanshiv ve Patel, 2020).

2.6. Cam Elyaf

Cam elyaf, cam lifi olarak da adlandırılır. Camın çok yüksek sıcaklıklarda eritilip, çekilme işlemiyle meydana gelir. Cam elyaf yangına dayanıklı, yüksek mukavemetli ve izolasyon özellikleri nedeniyle yapısal uygulamalarda ve inşaat sektöründe sıklıkla karşımıza çıkar.

Genel olarak cam elyafın özellikleri şu şekilde sıralanabilir: (Singh vd., 2017)

- Cam elyaf, yüksek mukavemetli bir malzeme olduğu için yapısal uygulamalarda kullanılır.
- Yangına dayanıklı bir malzeme olduğu için yangın güvenliği amacıyla kullanılır.
- İzolasyon özellikleri nedeniyle enerji verimliliğini artırır.
- Su ve hava geçirmezliği özellikleri nedeniyle suya ve rüzgâra karşı dayanıklılık sağlar.
- Cam elyaf, elektrik izolasyonu özelliğine sahiptir.
- UV dayanıklılık özellikleri nedeniyle açık havada kullanım için uygun bir malzemedir.
- Cam elyaf, kimyasal direnci yüksek bir malzemedir, bu da aşınma ve korozyonu zorlaştırır.
- Düşük ağırlığı sayesinde taşınması ve işlenmesi kolay olan bir malzemedir.
- Cam elyaf, uzun ömürlü ve dayanıklı bir malzeme olduğu için çevre dostudur.

Cam Elyafın Sağladığı Avantajlar

- Korozyon Direnci: Cam elyafın artan popüleritesinin arkasındaki başlıca nedenlerden biri, inanılmaz dayanıklı olması. Dış etkenlere ve aşındırıcı kimyasallara karşı dayanıklı olmasını sağlayan benzersiz özelliklere sahiptir.
- Fiyat Avantajı: Maliyet, cam elyafın kullanıldığı uygulamaya bağlı olarak büyük ölçüde değişmekle birlikte, ortalama olarak inşaat sektöründeki ham maddeler açısından en uygun fiyatlı malzemelerden biridir.
- Kolay Taşınabilirlik: Cam elyaf, geleneksel malzemelere kıyasla daha hafiftir. Daha hafif bir malzemeyle çalışmak daha kolaydır, nakliye ve işçilik maliyetlerinden tasarruf sağlar ve inşaatın daha hızlı yapılmasına olanak tanır.
- Yüksek Mukavemet: Cam fiber, inşaat sınıfı alüminyum ile aynı olan, 30.000 PSI'ye kadar çekme mukavemetine sahip, son derece güçlü bir malzemedir. Çelik, genel olarak cam elyaftan daha güçlü bir malzeme olsa da cam elyafın mukavemet - ağırlık oranı, çelikten %75'e varan oranlarda çok daha fazladır.

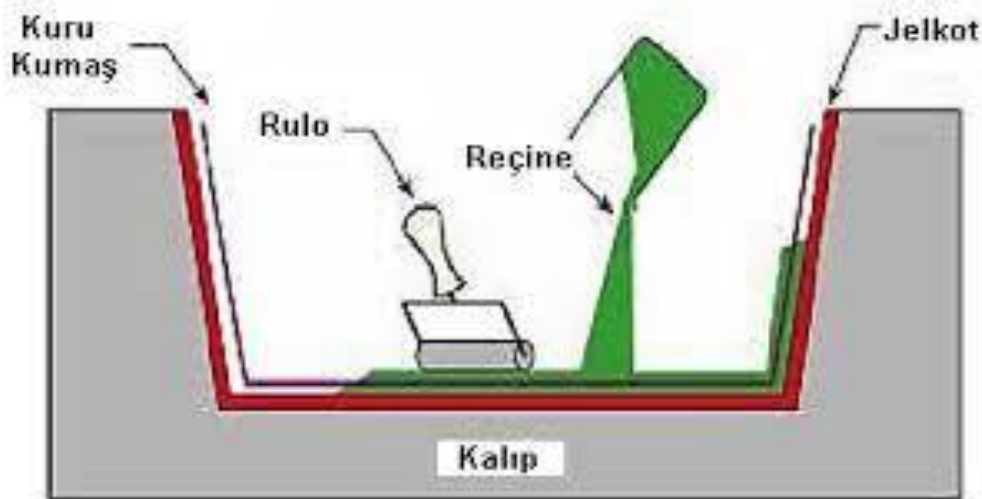
- Su Geçirmezlik: Cam elyafın bir diğer faydalı özelliği de tamamen su geçirmez olmasıdır. Diğer yapı malzemelerinin aksine suyu emmez ve sıvı yüzeyinde korozif bir etki yapmaz.

2.7. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelere genel bakıştan da anlaşılacağı gibi, birçok seçenek gerektiren elemanlar arasında kesin seçimler yapılmalıdır. Bu olasılıklardan en önemlisi, üretim formülasyonlarında bulunan çok sayıda reçine, takviye, maça vb. Bu maddelerin kendilerine has özellikleri vardır; dayanıklılık, mukavemet, sertlik, ısı direnci, fiyat, üretim hızı vb. Ancak imal edilen bileşiğin özellikleri, sadece imalatta kullanılan her bir malzemenin özellikleri ile sınırlı olmayıp, bunların imalat yöntemine göre de değişmektedir (Wang vd., 2011).

2.7.1. El Yatırması Yöntemi

Termoset bileşikler üretenin ana yöntemi elle sermedir. Bu yöntemde takviye elemanı olarak kullanılan kumaşlar kuru veya ıslak olabilir. Bu yöntem genellikle kuru kumaş tabakalarının önceden hazırlanmış bir kalıba yerleştirilmesi ve uygulama tamamlandıktan sonra kuru tabakalara el aleti ile reçine uygulanması esasına dayanır. Islak kumaş olarak bilinen başka bir varyantta, kumaşın her tabakası önce reçine ile kaplanır ve hazırlanmış Şekil.3 de görüldüğü gibi bir kalıba yerleştirildikten sonra preslenir (Durgun, 2014).

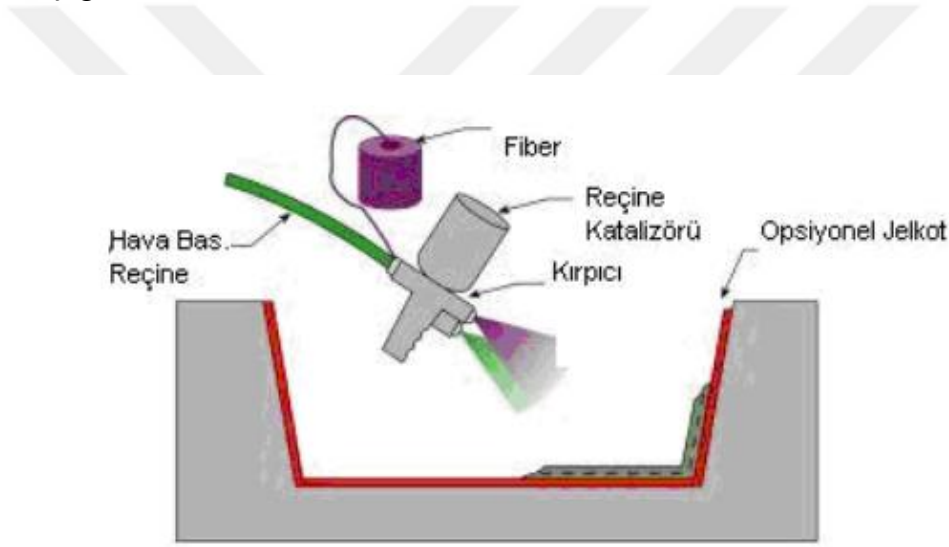


Şekil 3. El Yatırması Yöntemi (Durgun, 2014)

2.7.2. Püskürtme Yöntemi

Bu yöntem, tek taraflı kalıplarda açık temaslı kompozit ürünler oluşturmak için düşük maliyetli, büyük ölçekli bir süreçtir. Genellikle tekne gövdeleri ve güverteleri, kamyon kabinleri ve çamurluklar, küvetler, kaplıcalar, duşlar ve basit şekiller için uygundur. İlk püskürtme yapılırken önce kalıba serbest yağ sürülür.

Bu yağ ile değil jel ile kaplamadan önce formu kullanmak doğrudur. Jel önce kalıba enjekte edilir, ardından sertleşir ve kalıp üretime başlamaya hazır hale gelir. Bu süreçte, bir kesme tabancasıyla kesilen sürekli lifler, bir reçine ve taban havı lifle yağlanmış veya jel kaplı bir kalıba enjekte edilir. Bu işlemin son adımında silindirik bir aletle bastırılarak yüzey sıkıştırılır. Preslenen parça sertleştirilir, soğutulur ve tekrar kalıptan çıkarılır (Huda vd., 1993). Püskürtme yöntemi Şekil 4 te görüldüğü üzere aşağıdadır.



Şekil 4. Püskürtme Yöntemi(Işık, 2008)

2.7.1. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

Üretimi zaman içinde hızlandırma ihtiyacı endüstriyel alanda insan elini yeni ekipmanların üretimine katılmaya zorlar ve üreticileri bu süreçleri olabildiğince otomatikleştirmeye yönlendirir. Bu amaçla çeşitli reçine transfer kalıplama yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tüm yöntemlerin temeli, farklı şekilde adlandırılırsalar da, takviye malzemesinin vakumla yapılmış bir formda emprenye edilmesidir.

Bu yöntemlerden en yaygın olanları aşağıda açıklanmıştır. Pek çok isimle anılan reçine transfer kalıplama (RTM), oldukça basit bir düşük basınçlı kapalı kalıplamadır. Metal malzeme iki parçalı kalıbın tüm yüzeyi önce kalıp mumu ile muamele edilir ve kalıbın iç yüzeyine lifler yerleştirilerek kalıp sızdırmazlığı sağlanır. Reçine ve katalizör ölçülür ve bir dağıtıcı içinde karıştırılır.

Daha sonra, kalıp boyunca önceden planlanmış yollar izlenerek enjeksiyon ağzından kalıba düşük ila orta basınçta pompalanır. RTM uygulamaları, reçine sertleşmeye başlamadan önce elyafa hızlı ve eksiksiz nüfuz etmeyi kolaylaştırmak için çok düşük viskoziteli bir reçine kullanır. Termoset reçinelerle çalışmak uygundur çünkü polimerin viskozitesi liflerin kolayca ıslanmasına neden olacak kadar düşüktür (1 Pas veya 1000 cP), bu da onu RTM uygulamalarında kullanım için uygunsuz hale getirir. Belirli uygulamalar için amaçlanıyorsa kalıp ve reçine önceden ısıtılabilir.

Birçok RTM uygulamasında, reçine ve sertleştirici içeren iki bileşenli epoksi reçine formülasyonu, kalıba eklenmeden hemen önce karıştırılır ve kürlenmeden önce püskürtülür. Kalıptaki reçine katılaşmaya bırakılır ve sert bir bileşik oluşur. Kürleşme oda sıcaklığında gerçekleştiği için otoklav kullanımına gerek yoktur. Çoğu durumda, doğrudan kullanım için uygun olan ağ şeklindeki parçalar, ilave son işleme olmaksızın RTM'de üretilebilir. Ancak, düz bir parça yerine iyi yüzey detaylarına sahip karmaşık 3B parçalar elde etmek kolaydır. İşlem kapalı bir kalıpta gerçekleştirildiğinden, manuel yerleştirme veya enjeksiyon kalıplama tekniklerine kıyasla çok daha az emisyon vardır. Hafif RTM (LRTM), RTM'nin giderek daha fazla kullanılan bir çeşididir.

LRTM ve RTM arasındaki temel fark, üst kalıp yerine çelik çerçeve ile güçlendirilmiş yarı saydam bir kompozit kabuğun kullanılmasıdır. Böylece formun kullanım süresi kısaltılabilir. Kalıp kapatıldıktan sonra, reçine atmosfer basıncında kalıba enjekte edilir. Yüksek basınçlı RTM (HP-RTM) olarak adlandırılan RTM'nin bir çeşidi, hızla otomotiv parçaları üretme potansiyeline sahiptir. Tam otomatik bir sistem için tasarlanan HP-RTM filamentli, kapalı bir kalıp, pres ve reçine enjeksiyon sistemi içerir. Kalıba yerleştirilen elyaflara reçine sürülürken, kalıp pres altında preslenir ve parça yapılır. Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama (VARTM), hızla gelişen lider bir kalıplama teknolojisidir

Bu işlem sırasında kalıbın bir tarafı sert diğer tarafı ise genellikle boş bir poşettir. Bu işlem sırasında vakum pompası ile kalıptaki hava uzaklaştırılır ve vakum torbası ile takviye malzemesi sıkıştırılır. Püskürtme atmosferik basınçla kontrol edildiğinden, reçineyi elyafın yüzeyine yayan oldukça geçirgen bir tabaka olan yayıcı bir malzeme kullanmak gereklidir. Bu, reçinenin elyaf boşluklarından akmasına neden olur. RTM ve VARTM arasındaki temel fark, VARTM'de reçinenin elyaf yüzeyine basınç altında pompalanmadan sadece vakum altında getirilmesidir. Süpürme işleminden sonra geride kalan tüm alet çantaları ve benzeri malzemeler çıkarılmalıdır. VARTM, yüksek ısı veya basınç gerektirmez. Bu nedenle VARTM ucuz araçlarla çalışır ve büyük karmaşık

parçaların tek seferde ucuza üretilmesini sağlar. (Trochu vd., 1993; Kang ve Lee, 1999; Lim ve Lee, 2000; Laurenzi, 2012; Wei vd., 2016).

2.7.2. Şekillenebilirlik

Birçok uygulamada kullanılan magnezyum alaşımı pres döküm basınçlı döküm alaşımı olan AZ91 den yararlanılarak yapılmaktadır. Fakat iyi özelliklerinin yanı sıra, 150 °C nin üstündeki ısılarda birçok uygulamada yeterli sürünme direncini karşılamıyor. Mg-Al-X'in evrimi, ultra hafif alaşımların evrimidir. Buna Li eklenmesi gücü azaltır ancak dayanıklılığı artırır (Wu vd., 2014; You vd., 2017).

Kafes yapılarından dolayı yakın zamanda oda sıcaklığında şekillenmeyen AZ31, AZ61 ve AZ91 alaşımlarının oda sıcaklığında şekillendirilebilirliğini geliştirmeye yönelik araştırmalar devam etmektedir. Bu alaşımlar havacılıkta çok avantajlı alaşımlardır. Son zamanlarda yaygın olan enjeksiyon kalıplama ile karşılaştırıldığında, dövme yoluyla magnezyum oluşturma yeteneği araştırılmaktadır. Öte yandan, ince bir

plakanın deformasyonuna bakıldığında, oda sıcaklığında deformasyonu düzeltmek için yeni test yöntemleri araştırılmaktadır (Bae vd.,2002; Ozturk ve Kacar, 2012).

2.7.3. Vakumlama Yöntemi

Bu yöntem, kompozit yapıdaki matris reçinenin vakum basıncı ile lamine yapının şeklini kontrol eden sistemi adlandırmak için kullanılır. Bu yöntem bize manuel yerleştirme yöntemine kıyasla daha iyi mekanik neticeler sağlar. Ayrıca manuel düzenleme tekniği gibi üretim sürecinde üretimi gerçekleştiren kişinin yeteneğine bağlı olmayan bir üretim türüdür. Fakat bize kazandırdığı artılar dışında üretim safhası oldukça önem göstermektedir.

Bu üretim şeklinde elyaf/reçine karışım oranı miktarı, infüzyon yönteminde az oranda reçine kullanımıyla beraber malzeme yapısının diğerlerine oranla daha dayanıklı ve malzemenin uzun ömürlü olmasına olanak vermiştir. Üretimi yapan kişinin eklediği ekstra malzemeye bağlı olarak fazla miktarın boşa gitmesinin önüne geçilmektedir. Ortaya çıkan ürünün dış görünüş ve iç yapısında kazandırır. Örneğin, reçinenin nüfuz etmesi esnasında vakum infüzyon yöntemi sayesinde insan eli değmeden reçine malzemenin her bir noktasına homojen olarak yayılmaktadır (Hsiao ve Heider, 2012; Korkut, 2020)

3. KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILAN METAL TAKVİYELER

Bu tez çalışmasında; AZ91 Mg alaşımı ve Al1050 Alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

3.1. AZ91 Mg ve Özellikleri

Endüstriyel sahalarda, hafif mühendislik malzemelerine olan istek devamlı rövanş göstermektedir. Önemli alaşım olarak bilinen magnezyum alaşımlarının birçok sahadaki kullanımının yakın gelecekte oldukça yaygınlaşacağı ön görülüyor. Ancak magnezyum esaslı kompozit malzemelerin kullanımı giderek artmaktadır. Özelliklerine gelince; Magnezyum $1,74 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir ve metal yapılarda kullanılan en hafif metaldir. Alüminyumun üçte ikisi, demirin dörtte biri ve bakır ve nikelin beşte biri ağırlığındadır. Magnezyum alaşımları yüksek mukavemete, iyi akışkanlığa, düşük yoğunluğa, titreşim sönümlemesine ve iyi işlenebilirliğe sahiptir. Birçok özellik için iyi kaynaklanabilirliğe sahip olan magnezyum, doğada yaygın olarak bulunur. Bu nedenle elektronik, otomotiv, uçak ve havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. (Akgun ve Ulaş, 2014). Tablo 1’de AZ91 Mg alaşımının kimyasal bileşimi görülmektedir.

Tablo 1. AZ91 kimyasal bileşim

AZ91	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Mg
Kimyasal Bileşim	%8,3-9,7	%0,3-1,0	%0,13	0,5	%0,1	3.1.1.%kalan

3.1.2. Korozyon Direnci

Malzemenin aşınma ve korozyon gibi zayıf özellikleri, hırsızlığa ve kimyasal aktiviteye karşı direnci birçok alanda çalışmasına engel olmaktadır. Magnezyumun özellikle dış ortamlarda kullanılmasındaki temel farklardan biri, düşük korozyon direncidir. Her zaman gördüğümüz bir korozyon türü, farklı metallerin birbiriyle temas etmesiyle galvanik çiftlerin oluşmasından kaynaklanan elektrokimyasal korozyondur. Anot hücresinde, yağmur suyu gibi su, bu malzemelerden iyonları emmesinin bir sonucu olarak elektrolit haline geldiğinde korozyon meydana gelir (Shao vd., 2022).

Havacılık gibi yapılamayan bir sektörde hayati bir rol oynar. Bu havacılık parçalarının korozyon direnci düşük olduğundan, son derece hassas bir şekilde kullanılmaları gerekir. Alaşımlar oyuklaşma korozyonuna karşı çok hassastır. Bu

nedenle korozyon kar taneleri yüzeyde beyaz toz ve beyaz benekler halindedir. Magnezyum çok aktif bir metaldir ve diğer birçok metalle temas ettiğinde galvanik korozyona neden olur (Davis, 1999; Abbasi ve Rezaei, 2015).

3.2. Kullanım Alanları

3.2.1. Havacılıkta Mg

Metallerin kullanıldığı havacılıkta en önemli özelliği metalin hafifliği, dayanıklılığı ve yüksek korozyon direncidir. Hafifliği, yoğunluğu azaltarak elde edilebilir. Çelik, titanyum, magnezyum, alüminyum ve bakır gibi metalik malzemelerin üretimi genellikle ucuzdur ve metaller saf katılar olmadığı için istenen havacılık özelliklerinin çoğu neredeyse elde edilemez. Günümüz araştırma ve geliştirmesinin temeli; Yararlı malzemeler elde etmek için yeni ve denenmemiş alaşımların geliştirilmesidir (Kacar vd., 2006).

3.2.2. Otomotivde Mg

Son zamanlarda otomobil üreticileri, birçok iyi özelliğinden dolayı magnezyum alaşımlı parçaları tercih etmeye başladılar. İlk olarak dünya markası olarak bilinen BMW firması AZ91 alaşım motor bloğunu tasarlayıp üreterek ticari kullanımına başlamıştır. Motorları magnezyum alüminyum alaşım kartere ve kam kapağına sahiptir ve aynı işi yapan motorlara göre 10 kg daha hafiftir (Vanfleteren, 1996).

3.3. AL1050 Alaşımı

Bu alüminyum tipi genel olarak birçok sanayide istenilen mukavemete sahip olan genel sac metal işleri için önemli bir alüminyum grubudur. Bu grup, yüksek süneklik, güzel korozyon direnci ve yansıtıcı dış yüzeyi ile tanınır. Alaşım temelinde metalin 1 element ile belirli bir oranda karıştırılmasıyla oluşmuştur. Üretilen malzemenin istenilen metal karakteri karşılaması beklenir. Alüminyum alaşım istenilen sektöre göre kimyasal ya da fiziksel özellikleri karşılamalıdır. Bundan dolayı kullanım alanı da son derece geniştir. Bütün alaşım alüminyum grubunun kendine göre birçok farklı özellikleri vardır (Uygur ve Saruhan, 2004).

AL1050 Özellikleri

- 1050 alaşımının en mutlak mükemmel karakteristiği yorulma dayanımının mükemmel olmasıdır.

- 1050 alaşım alüminyum vidalar, yapıştırıcılar ve perçin çivisine eklenmesi lazım alaşımdır.

- 1050 alaşım alüminyumun dış çevrelerde oldukça fazla bir şekilde yararlanıldığını söylemek doğrudur.

- 1050 alaşımlı alüminyumun uygulama özellikleri; Askeri ve uçak sanayinde, plastik ve kauçuk kalıplarda, yüksek mukavemet istenen makine parçalarında, otomotiv, nükleer uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.3.1.1050AL Alaşım Karakteristik Özellikleri

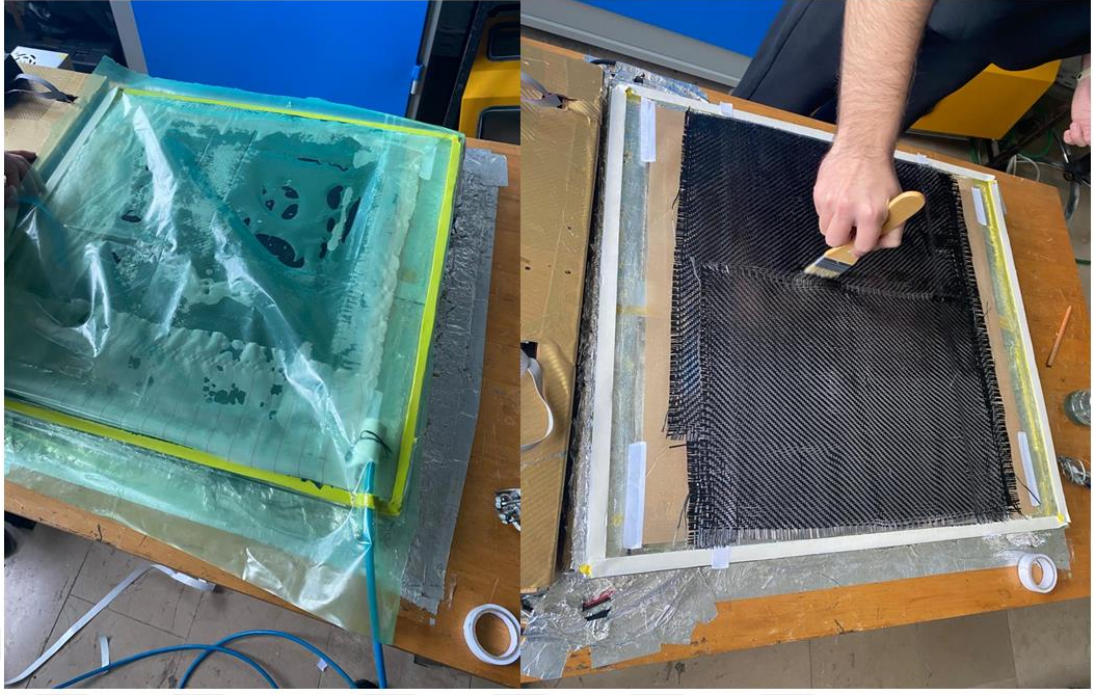
- Korozyona karşı çok dayanıklıdır ve çok iyi kalıplanabilir.
- Yüksek termal iletkenlik ve elektriksel iletkenlik
- Güzel görünüm
- Dekoratif tablolar için uygundur
- Yüksek kaynaklanabilirlik
- Düşük mekanik özellikler

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1.Kompozit Malzemelerin Hazırlanması

Bu çalışmada; AZ91 ve Al1050 metal takviye elemanları, cam elyaf ve karbon elyaf kumaşla birlikte Hexion epoksi/sertleştirici matris elamanı kullanılarak Vakum Destekli Reçine Transfer Model (VARTM) tezgahında metal takviyeli polimer kompozit üretimi yapılmıştır (Şekil 5).

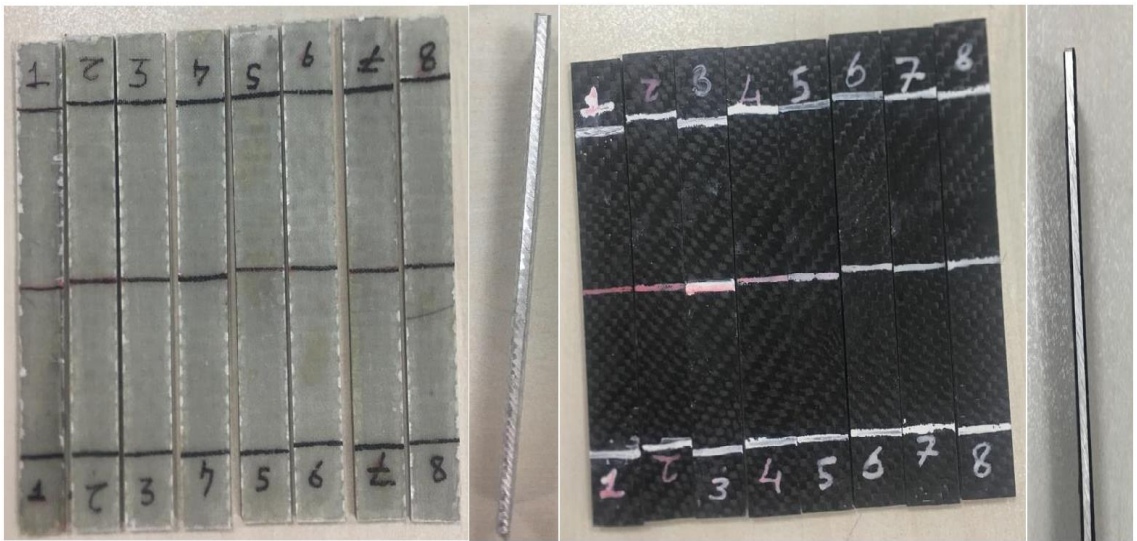
AZ91 Magnezyum ve Al1050 Alüminyum alaşımları; CNC tezgahında 30x60 cm boyutlarında kesilmiştir. Aynı ölçülerde makas yardımıyla karbon elyaf ve cam elyaf kumaşlarda kesildikten sonra matris elamanı Hexion MGS LR 635 reçine/MGH LH 635 sertleştirici tamamen muhafaza edilmiş kuru bir kutuda ağırlıkça 70/30 oranında karıştırılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Takviye elemanları ve reçine hazırlandığı esnada üretimin yapılacağı VARTM tezgahı yüzeyi 60°C'ye ısıtılmıştır. Şekil 5'de görüldüğü gibi tezgah üstüne ısıya dayanıklı ve yapışmaz bir naylon yerleştirilmiştir. Epoksi reçine karışımı ilk olarak naylon üzerine bir fırça yardımıyla homojen bir şekilde sürüldükten sonra karbon ve cam elyaf kumaşları 3 katman üstte 3 katman altta olacak şekilde tasarlanarak vakum altında 1 gün bekledikten sonra üretilen plaka tezgahtan alınmıştır. Bu işlem AZ91/karbon elyaf, AZ91/cam elyaf, Al1050/karbon elyaf ve Al1050/cam elyaf için tekrarlanmış ve toplamda 4 adet metal takviyeli plaka üretilmiştir.



Şekil 5. Metal takviyeli kompozit plakaların üretimi

4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Şekil 8’de görüldüğü gibi; çekme testi numuneleri, göre 15x250 mm boyutlarında, eğme numuneleri ise ASTM D790’a (ASTM, 1997) göre 12.7x125 mm boyutlarında su jeti kesim işlemi kullanılarak kesim yapılmıştır. Numuneler su jeti ile kesildikten sonra kuru, temiz bir bezle iyice temizlenmiştir. Her numunenin kalınlığı yaklaşık 3 ± 0.2 mm olarak bulunmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Çekme ve eğme testi numune örnekleri

4.3.Çekme Testi

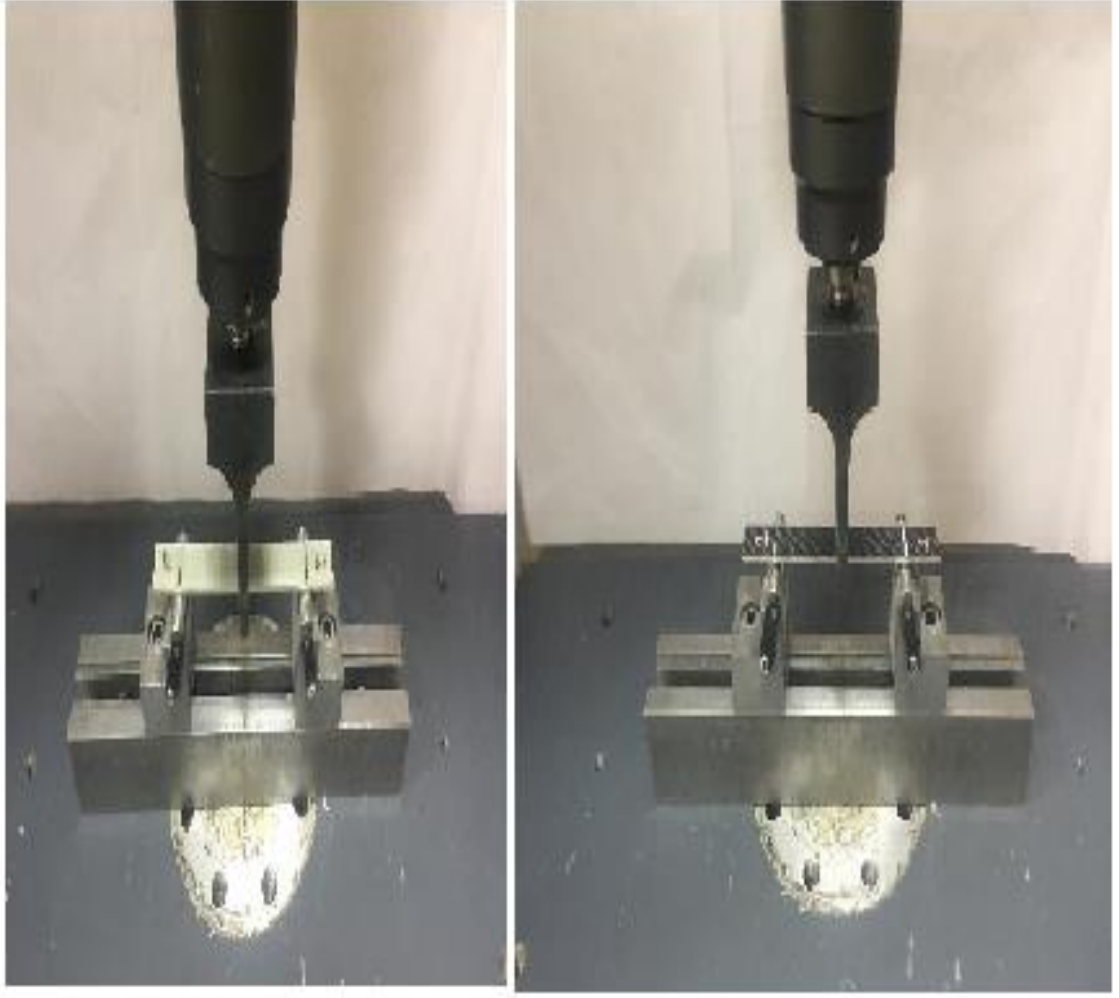
Metal takviyeli polimer kompozitlerin çekme testleri Besmak Bmt 200es evrensel eksenel test cihazında 1 mm/dk çekme hızında bir ölçülmüştür (Şekil 7). Besmak Bmt 200es test cihazının hidrolik basıncı 12-480 bar ve çekme kuvveti ± 20 kN'dir.



Şekil 7. Çekme test cihazı

4.4. Eğme Testi

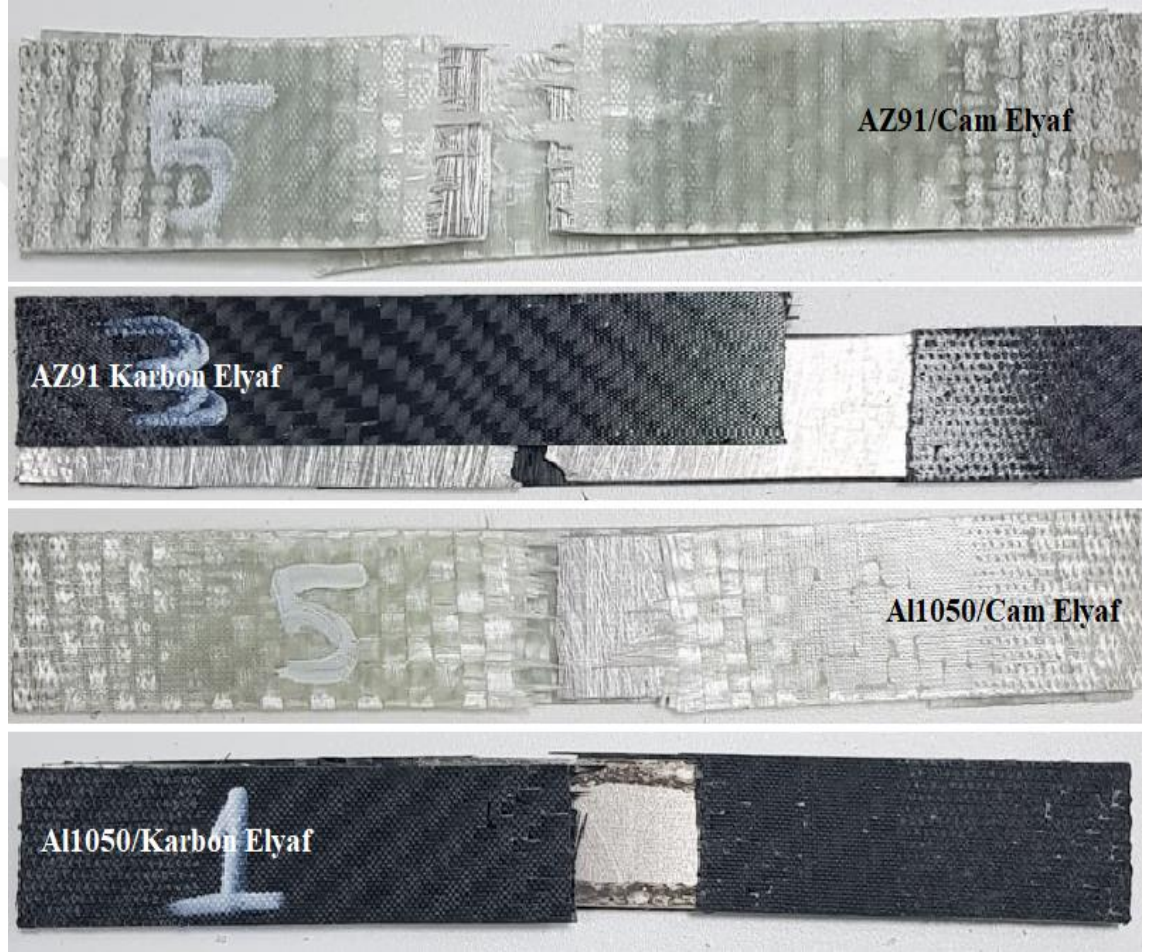
Şekil 10'da görüldüğü üzere metal takviyeli polimer kompozit plakaların eğme testleri ise Shimadzu Model: AG-X evrensel eksenel test cihazında 1 mm/dk eğme hızında ölçülmüştür. (Şekil 8). Mekanik özellikler, aletin yük hücrelerinden ve gerinim ölçerlerinden alınan verilerin test cihazının ara yüzüne gönderilmesi ve test cihazının eğme yükü uygulamaya başladığı anda bir gerilim-gerinim diyagramı oluşturulmasıyla belirlenir.



Şekil 8. Eğme test cihazı

5. BULGULARI VE TARTIŞMA

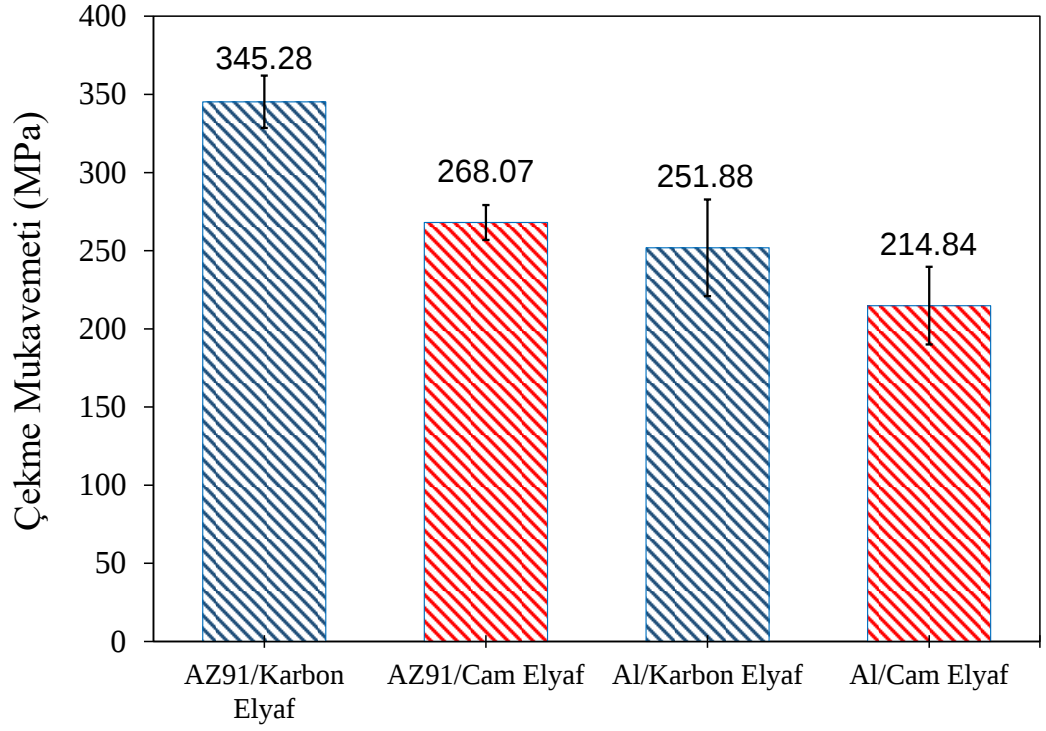
Bu çalışmada; AZ91/Cam elyaf, AZ91/Karbon elyaf, Al1050/Cam elyaf ve Al1050/Karbon elyaf olmak üzere dört grup metal takviyeli kompozit plaka üretilmiştir. Her bir gruptan eşit ölçülerde en az 6 adet numune üretilip çekme ve üç nokta eğme analizleri değerlendirilmiştir.



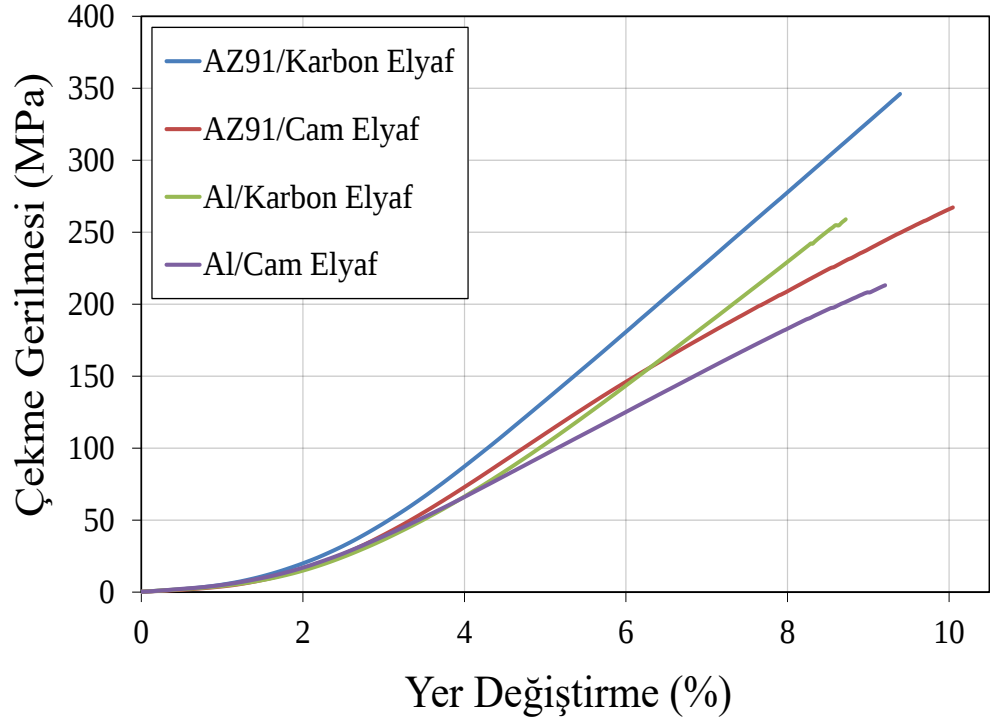
Şekil 9. Metal takviyeli kompozit plakaların çekme testi hasar görüntüleri

Şekil 9’da açıkça görüldüğü gibi cam elyaf kumaş tabakalar arası ayrışma (delaminasyon) problemleri, matris ve fiber kırıkları belirlenmiştir. Lif ve epoksinin ayrılması ile meydana gelen lif olukları testere dişi hasar mekanizmasının olduğunu göstermiştir. Lif yönüne dik olarak oluşan testere dişleri hasar mekanizması, kompozitlerde gözlenen en önemli fraktografik özelliklerden birisidir. Aksine karbon elyaf kumaş tabakalarının kırılma bölgeleri incelendiğinde çekme kuvvetinin etkisi ile özellikle tabaka ayrılma hasarlarının ilerlemesi sonucu kırılma hasarı tek

noktada oluşurken kırılma yüzeyleri incelendiğinde tabaka ve elyaf ayrılmalarının oluşmadığı ve düz bir kırılma bölgesinin oluştuğu gözlenmiştir.



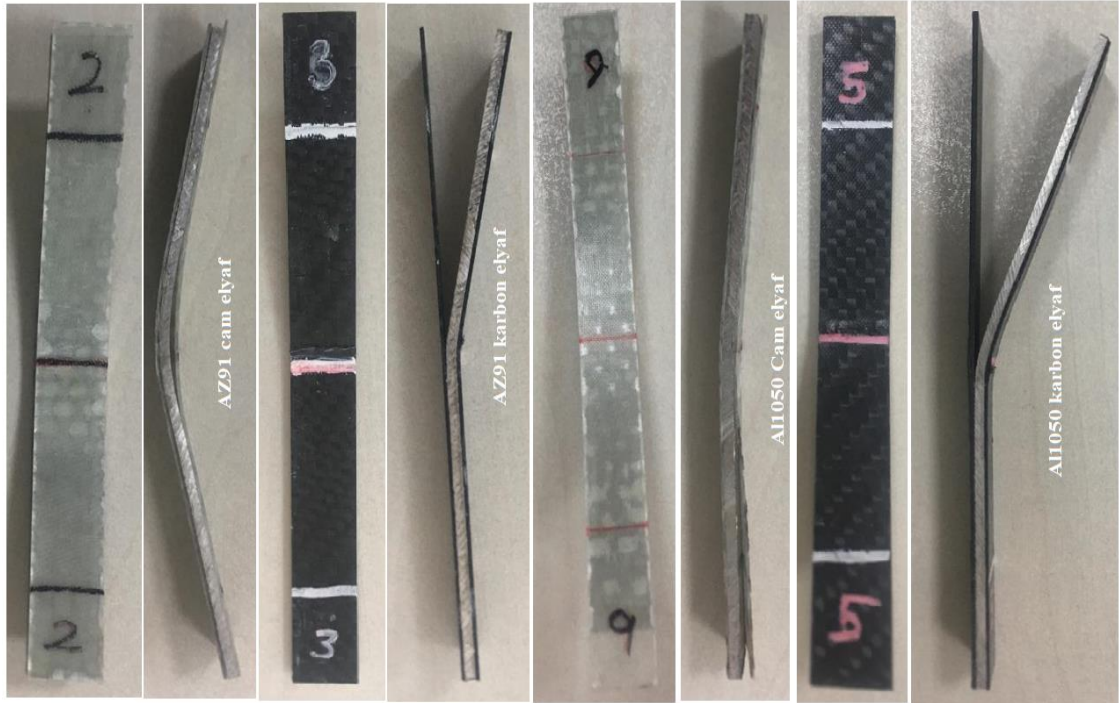
Şekil 10. Metal takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri



Şekil 11. Metal takviyeli kompozitlerin temsili gerilme ve yer değiştirme (%) eğrileri

Metal takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri Şekil 10'da sunulmuştur. Bu kapsamda; AZ91 takviyesinin karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitlerdeki ortalama çekme mukavemetleri, sırasıyla, 345.28 ve 268.07 MPa olarak belirlenmiştir. Diğer yandan, Al takviyesi için ölçülen değerler karbon ve cam elyaf için, sırasıyla, 251.88 ve 214.84 MPa'dır. Bu sonuçlar yardımıyla, AZ91 takviyesinin her iki elyaf için de daha yüksek ortalama çekme mukavemetine sahip kompozitler meydana getirdiği anlaşılmıştır. Metal takviyeli kompozitlerin temsili gerilme ve yer değiştirme (%) eğrileri Şekil 11'de sunulmuştur.

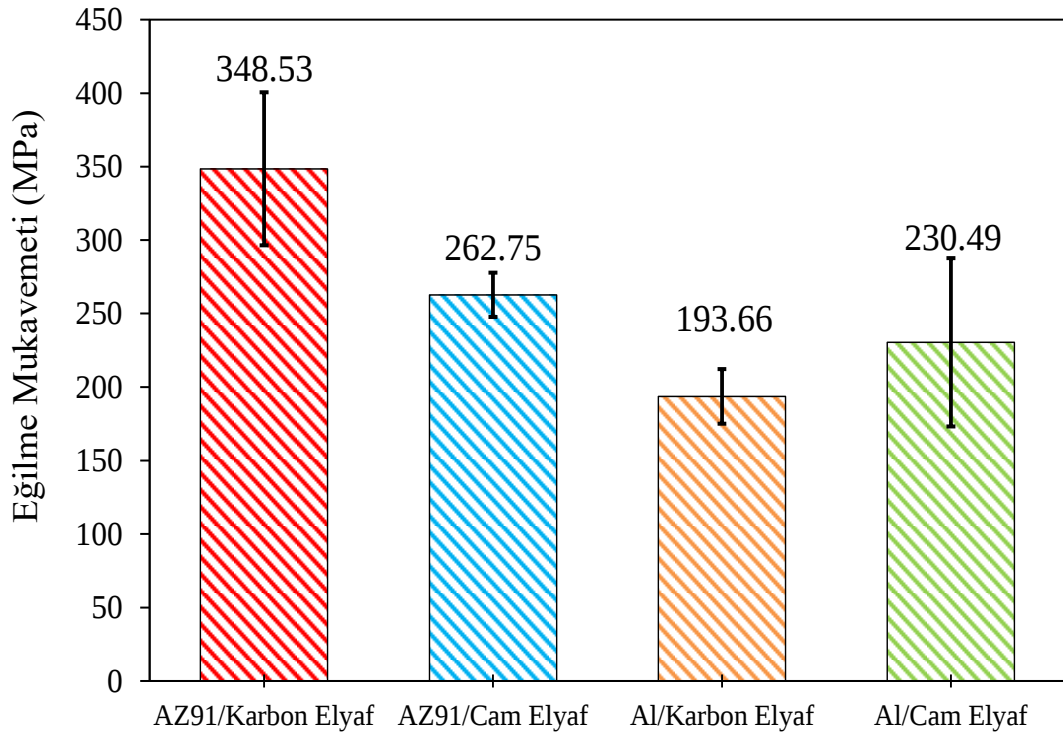
5.1.Eğme Testi



Şekil 12. Metal takviyeli kompozit plakaların eğme testi hasar görüntüleri

Şekil 12'de eğme yükü altında cam elyaf metal takviyeli polimer kompozit plakalarda yük uygulanmasıyla birlikte eşik değerinden sonra orta ara yüzeyde matrisin kırılmasıyla birlikte delaminasyon başlamıştır ve bir miktar daha yük taşıdıktan sonra yoğunlaşmıştır. Metal alaşım plakaları elyaf reçine sistemi alt ve üst temas yüzeylerinde kısmi ayrılmalar meydana gelmiş tamamen ayrılma gerçekleşmemiştir. Bu durum metal alaşımları ile cam elyaf reçine sisteminin adezyonunun iyi olduğunu göstermektedir. Karbon elyaf plakalarda da aynı delaminasyon hasarı gözlenmiş farklı olarak metal alaşım temas yüzeyi ile karbon reçine sistemi alt ve üst yüzeyde çoğu numunelerde birbirinden tamamen ayrılmıştır. Bu durum ara yüzeyde yapışmanın iyi olmadığını

göstermiştir. Meydana gelen gerilmeler altında bütün plalarda numunelerin önce üst katmanı sonrasında alt katmanı kırılmıştır.

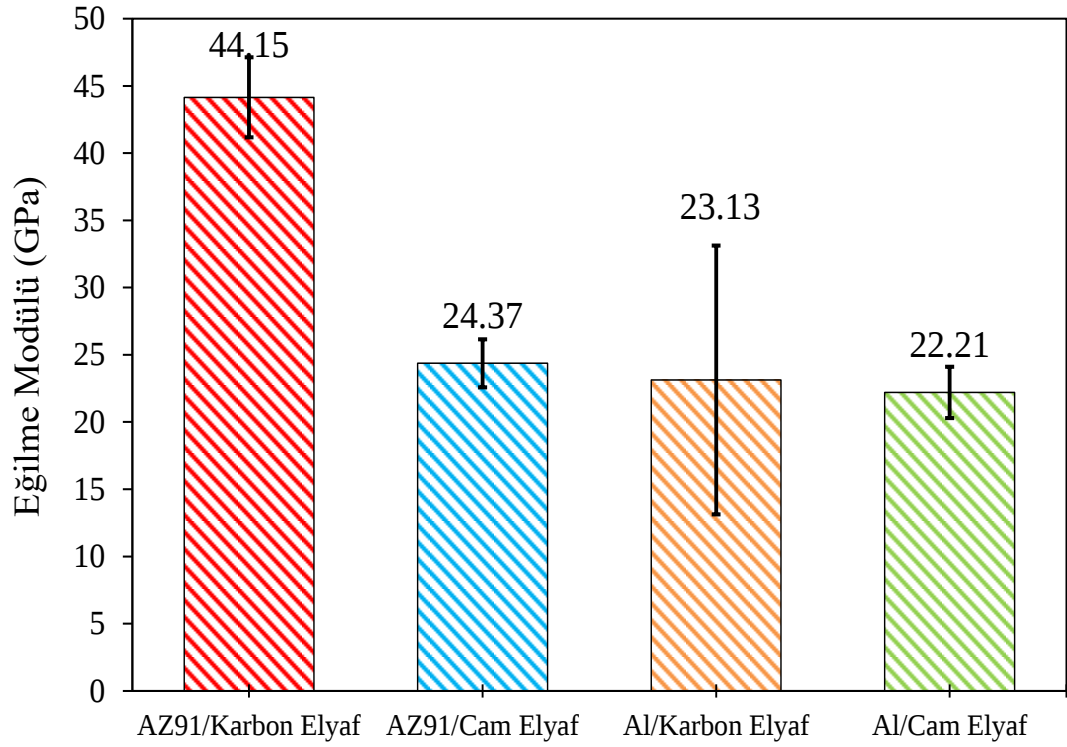


Şekil 13. Metal takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme mukavemetleri

Metal takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme mukavemetleri Şekil 13'te sunulmuştur. Bu kapsamda; AZ91 takviyesinin karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitlerdeki ortalama çekme mukavemetleri, sırasıyla, 348.53 ve 262.75 MPa olarak belirlenmiştir. Diğer yandan, Al1050 takviyesi için ölçülen değerler karbon ve cam elyaf için, sırasıyla, 193.66 ve 230.49 MPa'dır.

Bu sonuçlar yardımıyla, AZ91 takviyesinin her iki elyaf için de daha yüksek ortalama eğilme mukavemetine sahip kompozitler meydana getirdiği anlaşılmıştır. AZ91 takviyeli kompozitlerde, cam elyaf kompozitlerine kıyasla, karbon takviyeli kompozitlerin % 32.6 daha yüksek ortalama eğilme mukavemetine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Al1050 takviyeli kompozitlerde tam tersi bir trend gözlenmiş ve cam elyaf kompozitlerinin karbon elyaf kompozitlerinden % 19.02 daha yüksek ortalama eğilme mukavemeti performansı gösterdiği gözlenmiştir.



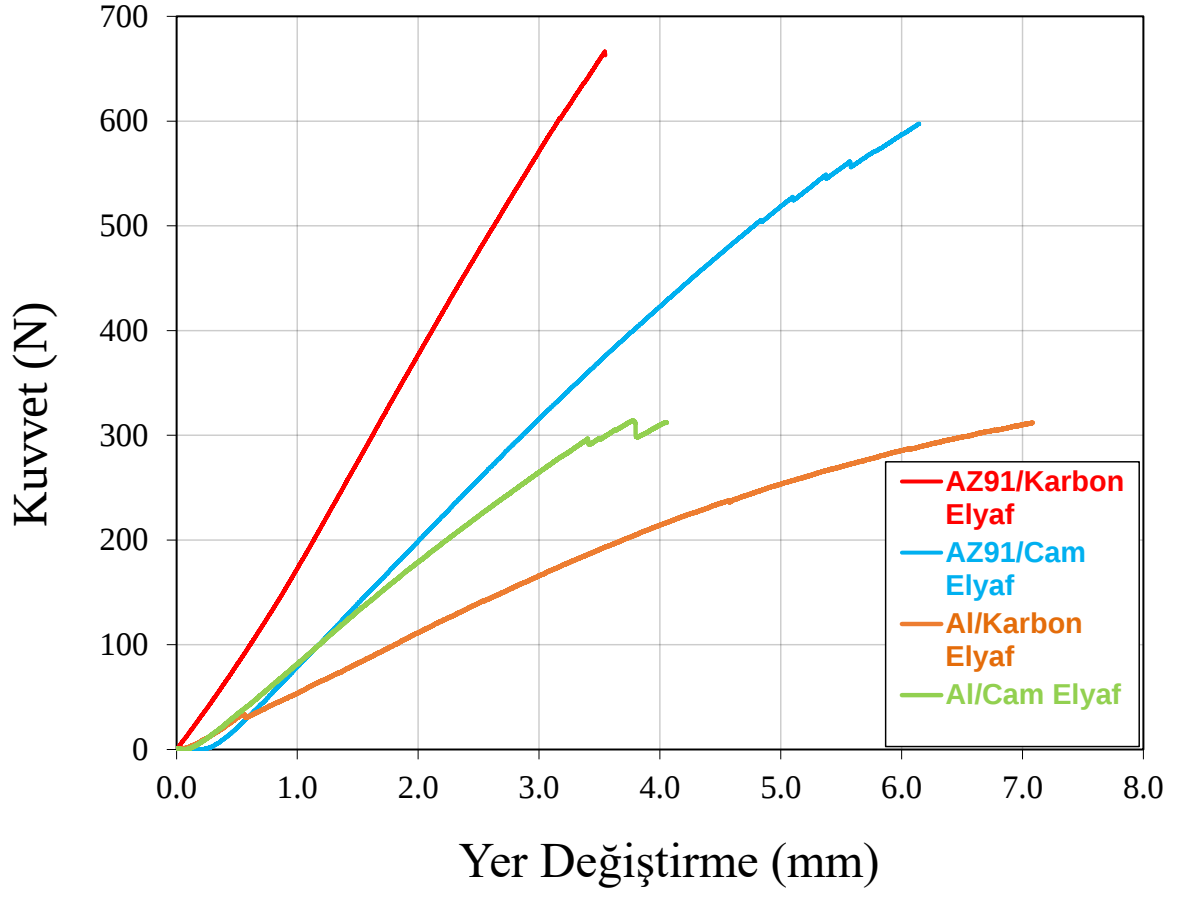
Şekil 14. Metal takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modülü değerleri

Metal takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modülleri Şekil 14’da sunulmuştur. Bu kapsamda; AZ91 takviyesinin karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitlerdeki ortalama eğilme modülleri, sırasıyla, 44.15 ve 24.37 GPa olarak belirlenmiştir. Diğer yandan, Al1050 takviyesi için ölçülen değerler karbon ve cam elyaf için, sırasıyla, 23.13 ve 22.71 GPa’dır.

Bu sonuçlar yardımıyla, AZ91 takviyesinin her iki elyaf için de daha yüksek ortalama eğilme modüllerine sahip kompozitler meydana getirdiği anlaşılmıştır. AZ91 takviyeli kompozitlerde, cam elyaf kompozitlerine kıyasla, karbon takviyeli kompozitlerin %81.16 daha yüksek ortalama eğilme modülüne sahip olduğu anlaşılmıştır.

Al1050 takviyeli kompozitlerde, cam ve karbon elyaf kompozitlerinin benzer ortalama eğilme modülü performansı gösterdikleri gözlenmiştir.

Metal takviyeli kompozitlerin temsili kuvvet ve yer değiştirme eğrileri Şekil 15’de sunulmuştur.



Şekil 15. Metal takviyeli kompozitlerin temsili kuvvet (N) ve yer değişirme (mm) eğrileri

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışmada, VARTM tezgahında Hexion MGS LR 635 reçine/MGH LH 635 sertleştirici polimerik sistemiyle AZ91 ve Al1050 metal takviyesi kullanılarak cam elyaf ve karbon elyaf kompozitler üretilmiştir Çekme ve 3 nokta eğme analizleri doğrultusunda metal takviyesinin kompozitlerin mukavemet değerlerine etkisi ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

AZ91 takviyeli kompozitlerde, cam elyaf kompozitlerine kıyasla, karbon takviyeli kompozitlerin %28.8 daha yüksek ortalama çekme mukavemetine sahip olduğu Al1050 takviyeli kompozitlerde de benzer şekilde %17.2 daha yüksek ortalama çekme mukavemeti performansı gösterdiği gözlenmiştir. Çekme yükleri altında; AZ91 ve Al1050 cam elyaf kompozitlerde tabakalar arası testere dişi hasar mekanisması ile ayrışma (delaminasyon) problemleri meydana gelmiştir. Karbon elyaf kumaş tabakalarında ise düz bir kırılma bölgesinin oluştuğu gözlenmiştir.

AZ91 takviyeli kompozitlerde, cam elyaf kompozitlerine kıyasla, karbon takviyeli kompozitlerin % 32.6 daha yüksek ortalama eğilme mukavemetine sahip olduğu Al1050 takviyeli kompozitlerde ise tam tersi olarak cam elyaf kompozitlerinin karbon elyaf kompozitlerinden % 19.02 daha yüksek ortalama eğilme mukavemeti performansı gösterdiği gözlenmiştir. Eğme yükleri altında; cam elyaf kompozit plakalarda orta ara yüzeyde matrisin kırılmasıyla birlikte delaminasyon görülmüş Metal ve elyaf-epoksi alt ve üst temas yüzeylerinde kısmi ayrılmalar meydana karbon elyaf plakalarda ise çoğu numunelerde tamamen ayrılmıştır.

KAYNAKÇA

- Abbasi, M., Bagheri, B. Dadaei, M., Omidvar, H. R. ve Rezaei, M. (2015). The effect of FSP on mechanical, tribological, and corrosion behavior of composite layer developed on magnesium AZ91 alloy surface. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77, 2051-2058.
- Agarwal, B. D., Broutman, L. J., Agarwal, B. D., ve Broutman, L. J. (1990). *Analysis and performance of fiber composites Second edition*. John Wiley & Sons.
- Al-Oqla, F. M., ve Sapuan, S. M. (2014). Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 66, 347-354.
- Akaluzia, R. O., Edoziuno, F. O., Adediran, A. A., Odoni, B. U., Edibo, S., ve Olayanju, T. M. A. (2021). Evaluation of the effect of reinforcement particle sizes on the impact and hardness properties of hardwood charcoal particulate-polyester resin composites. *Materials Today: Proceedings*, 38, 570-577.
- Akçin, Y., Osman, A. S. İ., ve Yeşil, Ö. (2013). Kompozit Malzemelerin 11Kaplanabilirliğinin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(7), 319-322.
- Akgun, M., Özger, G. ve Ulas, H. B. (2014). Döküm yöntemiyle üretilmiş az91 magnezyum alaşımının işlenebilirliğinin yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30(5), 323-328.
- ASTM, S. (1997). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM D790. *Annual book of ASTM standard*.
- Aziz, S. H., Ansell, M. P., Clarke, S. J., ve Panteny, S. R. (2005). Modified polyester resins for natural fibre composites. *Composites Science and Technology*, 65(3-4), 525-535.
- Bayraktar, Ş. ve Yakup Turgut. (2012). Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Delinmesi Üzerine Bir Araştırma." 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 5(3), 15-22.
- Bae, D. H., Lee, M. H., Kim, K. T., Kim, W. T., ve Kim, D. H. (2002). Application of quasicrystalline particles as a strengthening phase in Mg–Zn–Y alloys. *Journal of*

alloys and compounds, 342(1-2), 445-450.

Benzait, Z. ve Trabzon, L. (2018). A review of recent research on materials used in polymer–matrix composites for body armor application. *Journal of Composite Materials*, 52(23), 3241-3263.

Castanie, B. (2016). Composite Structures In Aeronautics: Past, Present And Future. In *The 5th Burapha University International Conference 2016, July 28-29, Pattaya, Thailand*

Cagar, P. (2021). Endüstriyel Ürünlerin Tasarımında Yaygın Yer Edinen Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Özellikleri . *Turkish Journal of Fashion Design and Management* , 3 (2) , 79-88

Czech, K., Oliwa, R., Krajewski, D., Bulanda, K., Oleksy, M., Budzik, G., ve Mazurkow, A. (2021). Hybrid Polymer Composites Used in the Arms Industry: A Review. *Materials*, 14(11), 3047.

Davis, J. R. (Ed.). (1999). *Corrosion of aluminum and aluminum alloys*. Asm International.

Demir, M. E., Çelik, Y. H., ve Kılıçkap, E. (2019). Cam Ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı Ve Mesafesinin Abrasif Aşınmaya Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 811-817.

Durgun, İ. (2014). El Yatırma Yöntemi İle Kompozit Parça Üretimi, 7. *Mühendislik Ve Teknoloji Sempozyumu, Ankara*.

Durgun, İ., ve Vatansever, O. (2013). Vakum torbalama yöntemi ile karbon fiber parça üretimi.

Dong, Y., Yang, L., Jin, Z., ve Wu, L. (2022). Experimental and numerical analysis of ballistic impact response of fiber-reinforced composite/metal composite target. *Composite Structures*, 294, 115776.

Elias, H. G. (2003). *An introduction to plastics*. John Wiley ve Sons.

El-Ghaoui, K., Chatelain, J. F., ve Ouellet-Plamondon, C. (2019). Effect of graphene on machinability of glass fiber reinforced polymer (GFRP). *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3(3), 78.

Ellis, B. (Ed.). (1993). *Chemistry and technology of epoxy resins* (1st ed., pp. 212-213). London: Blackie Academic & Professional.

Foltz, J. V. ve Blackmon, C. M. (1998). Metal matrix composites. *Advanced Materials & Processes*, 154(6), 19-24.

Fredell, R. S. (1994). Damage tolerant repair techniques for pressurized aircraft

- fuselages. *Unpublished doctoral dissertation, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.*
- Friesem, D., Boaretto, E., Eliyahu-Behar, A., ve Shahack-Gross, R. (2011). Degradation of mud brick houses in an arid environment: a geoarchaeological model. *Journal of Archaeological Science*, 38(5), 1135-1147.
- Gökmen, U., Kırmızı, G., Bircan, H. ve Çinici, H. (2017). AZ91 Matrisli Tİb2 Takviyeli Kompozitlerin Yaşlandırma Davranışı Ve Karakterizasyonu. *Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu*, 12(7), 15-22.
- Ghosh, A. K., Dwivedi, M., Ghosh, A. K., ve Dwivedi, M. (2020). Advantages and applications of polymeric composites. *Processability of polymeric composites*, 29-57.
- Gibson, G. (2017). Epoxy resins. In *Brydson's Plastics Materials* (pp. 773-797). Butterworth-Heinemann.
- Gu, G. X., Chen, C. T. ve Buehler, M. J. (2018). De novo composite design based on machine learning algorithm. *Extreme Mechanics Letters*, 18, 19-28.
- Halliwell, S. M. (2000). *Polymer composites in construction*. CRC.
- Harras, B., Benamar, R., ve White, R. G. (2002). Experimental and theoretical investigation of the linear and non-linear dynamic behaviour of a glare 3 hybrid composite panel. *Journal of Sound and vibration*, 252(2), 281-315.
- Hsiao, K. T., ve Heider, D. (2012). Vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) in polymer matrix composites. In *Manufacturing techniques for polymer matrix composites (PMCs)* (pp. 310-347). Woodhead Publishing.
- Huda, D., El Baradie, M. A., ve Hashmi, M. S. J. (1993). Metal-matrix composites: Manufacturing aspects. Part I. *Journal of materials processing technology*, 37(1-4), 513-528.
- Hyer, M. W., ve White, S. R. (2009). *Stress analysis of fiber-reinforced composite materials*. DEStech Publications, Inc.
- Jose, J. P., ve Joseph, K. (2012). Advances in polymer composites: macro-and microcomposites—state of the art, new challenges, and opportunities. *Polymer composites*, 1-16.
- Kalemtaş, A. (2015). *Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler*. Bursa: Putech And Composites.
- Kacar, İ., Zile, M., & Öztürk, F. (2006). Havacılık Sanayinde Magnezyum Alaşımları.
- Kaya, A. İ. (2016). "Kompozit Malzemeler Ve Özellikleri." *Putech & Composite*

- Kaczmar, J. W., Pietrzak, K. ve Włosiński, W. (2000). The production and application of metal matrix composite materials. *Journal of materials processing technology*, 106(1-3), 58-67.
- Kaddami, H., Dufresne, A., Khelifi, B., Bendahou, A., Taourirte, M., Raihane, M., ... ve Sami, N. (2006). Short palm tree fibers–Thermoset matrices composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(9), 1413-1422.
- Kandelbauer, A., Tondi, G., Zaske, O. C., ve Goodman, S. H. (2022). Unsaturated polyesters and vinyl esters. In *Handbook of thermoset plastics* (pp. 97-158). William Andrew Publishing.
- Kang, M. K., ve Lee, W. I. (1999). A flow-front refinement technique for the numerical simulation of the resin-transfer molding process. *Composites Science and Technology*, 59(11), 1663-1674.
- Kelez, S. B. (2021). *Alüminyum Matrisli Farklı Oranlarda Grafen İçeren B4c Takviyesi İle Üretilen Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi* (Doctoral Dissertation).
- Kim, H., ve Ilyas, S. (2022). 1 Emergence, Chemical Nature, Classification, Environmental Impact, and Analytical Challenges of Various Plastics. In *Microplastics: Analytical Challenges and Environmental Impacts* (pp. 1-30). CRC Press.
- Kiliç, E. F. (2007). *Alüminyum Alaşımlı Sic Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*. Ms Thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 10(8).
- Keimel, F. A. (2003). Historical development of adhesives and adhesive bonding. *Handbook of Adhesive Technology*, 1-12.
- Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I. ve Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—State-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, 5(1), 28.
- Korkmaz, N., Çakmak, E. ve Dayık, M. (2016). Dokuma Karbon Elyaf Takviyeli Karbon Nano Tüp-Epoksi Kompozit Malzemelerin Mekanik Ve Termal Karakterizasyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2).
- Korkut, T. B. Ozkan, A., ve Goren, A. (2020). Elektrikli Otomobilde Kompozit Levha

Kullanımı..

- Laurenzi, S. ve Marchetti, M. 5(2012). Advanced composite materials by resin transfer molding for aerospace applications. *Composites and their properties*, 197-226.
- Langdon, G. S., Nurick, G. N., Karagiozova, D., ve Cantwell, W. J. (2010). Fiber–Metal Laminate Panels Subjected to Blast Loading. *Dynamic failure of materials and structures*, 269-296.
- Lim, S. T., ve Lee, W. I. (2000). An analysis of the three-dimensional resin-transfer mold filling process. *Composites Science and Technology*, 60(7), 961-975.
- Mathieu, S., Rapin, C., Steinmetz, J. ve Steinmetz, P. (2003). A Corrosion Study Of The Main Constituent Phases Of Az91 Magnesium Alloys. *Corrosion Science*, 45(12), 2741-2755
- Mallinson, J. H. (2020). *Corrosion-resistant plastic composites in chemical plant design*. CRC Press.
- Mamalis, A. G., Spentzas, K. N., Pantelelis, N. G., Manolakos, D. E., ve Ioannidis, M. B. (2008). A new hybrid concept for sandwich structures. *Composite Structures*, 83(4), 335-340.
- May, C. A. (1988). Introduction to epoxy resins. *Epoxy Resins Chemistry and Technology*, 1, 1-8.
- May, C. A. (1988). Introduction to epoxy resins. *Epoxy Resins Chemistry and Technology*, 1, 1-8.
- Mouritz, A. P. (2012). *Introduction to aerospace materials*. Elsevier.
- Ngo, T. D. (2020). Introduction to composite materials. *Composite and Nanocomposite Materials—From Knowledge to Industrial Applications*.
- Nguyen, K. T., Navaratnam, S., Mendis, P., Zhang, K., Barnett, J., ve Wang, H. (2020). Fire safety of composites in prefabricated buildings: From fibre reinforced polymer to textile reinforced concrete. *Composites Part B: Engineering*, 187, 107815.
- Onsen, M., Bayramoğlu, M., & Geren, N., (2010). The use of Composite Materials in Automotive Industry. *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , vol.24, no.2, 165-174.
- Ozer, H. (2015). *Sürekli Cam Elyaf Takvyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin Deneyisel Olarak Belirlenmesi* (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Oztürk, F., & Kaçar, I. (2012). Magnezyum Alaşımları ve Kullanım Alanlarının

İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 12-20.

- Nguyen, K. T., Navaratnam, S., Mendis, P., Zhang, K., Barnett, J., & Wang, H. (2020). Fire safety of composites in prefabricated buildings: From fibre reinforced polymer to textile reinforced concrete. *Composites Part B: Engineering*, 187, 107815.
- Reddy, T. P., Theja, P. C., Eswaraiah, B. ve Rao, P. P. (2017). Preparation of Aluminium Reinforced with Granite and Graphite–A Hybrid Metal Matrix Composite. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6, 1-11.
- Işık, A. (2008). Kompozit malzemeden imal edilmiş bir takviye elemanının eğilme ve burulma yükü altında deneysel ve sayısal olarak incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pączkowski, P., Puszka, A., ve Gawdzik, B. (2022). Investigation of degradation of composites based on unsaturated polyester resin and vinyl ester resin. *Materials*, 15(4), 1286.
- Palanikumar, K. (2012). Analyzing surface quality in machined composites. In *Machining technology for composite materials* (pp. 154-182). Woodhead Publishing.
- Pruez, J., Shoukry, S., Williams, G. ve Shoukry, M. (2013). *Lightweight composite materials for heavy duty vehicles*. West Virginia Univ., Morgantown, WV (United States).
- Sandhanshiv, R. D., & Patel, D. M. (2020) . Carbon Fibre Reinforced Composite Material: Review of Properties and Processing for various Metal Matrix Materials. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 810, No. 1, p. 012014).
- Shao, W., Kan, Q., Bai, X., ve Wang, C. (2022). Robust superhydrophobic coatings for enhanced corrosion resistance and dielectric properties. *Coatings*, 12(11), 1655.
- Simpson, G. G. (1953). *The major features of evolution*. Columbia University Press.
- Singh, J., Kumar, M., Kumar, S., ve Mohapatra, S. K. (2017). Properties of glass-fiber hybrid composites: a review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(5), 455-469.

- Singh, T., ve Patnaik, A. (2017). Thermo-mechanical and tribological properties of multi-walled carbon nanotubes filled friction composite materials. *Polymer Composites*, 38(6), 1183-1193.
- Solmaz, M. Y. ve Gür, M. 2007. Tabakalı Kompozit Plakalarda Takviye Malzemesi ve Oryantasyon Açısının Gerilme Analizine Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları. , 6 (1), 16-25.
- Sönmez, M. (2009). *Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye'den dört örnek firma üzerine bir inceleme* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Standard, A. S. T. M. (2008). Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. *ASTM D3039/DM*, 3039(2008).
- Stevens, E. S. (2002). *Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics*. Princeton University Press.
- Tawfik, B. E., Leheta, H., Elhewy, A. ve Elsayed, T. (2017). Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 9(2), 185-198.
- Thori, P., Sharma, P., ve Bhargava, M. (2013). An approach of composite materials in industrial machinery: advantages, disadvantages and applications. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(12), 350-355.
- Thori, P., Sharma, P., ve Bhargava, M. (2013). An approach of composite materials in industrial machinery: advantages, disadvantages and applications. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(12), 350-355.
- Trochu, F., Gauvin, R., ve Gao, D. M. (1993). Numerical analysis of the resin transfer molding process by the finite element method. *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, 12(4), 329-342.
- Turan, M. (2007). Tabakalı kompozit malzemelerde yüksek hızlı darbe hasarı. *Mühendis ve Makina*, 48(575), 3-8.
- Türkmen, İ. ve Köksal, N. S. (2013). Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde (Ctp) Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin Ve Darbe Dayanımının İncelenmesi. *Celal Bayar University Journal Of Science*, 8(2), 17-30.
- Uygur, İ. ve Saruhan, H. (2004). Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.

- Vanfleteren, R. (1996). Magnesium for automotive applications. *Advanced materials & processes*, 149(5), 33-35.
- Vermeeren, C. A. J. R. (2003). An historic overview of the development of fibre metal laminates. *Applied Composite Materials*, 10, 189-205.
- Villanueva, A., Smith, C. ve Priya, S. (2011). A biomimetic robotic jellyfish (Robojelly) actuated by shape memory alloy composite actuators. *Bioinspiration & biomimetics*, 6(3), 036004.
- Walsh, F. C. ve Ponce de Leon, C. (2014). A review of the electrodeposition of metal matrix composite coatings by inclusion of particles in a metal layer: an established and diversifying technology. *Transactions of the IMF*, 92(2), 83-98.
- Wang, R. M., Zheng, S. R., ve Zheng, Y. G. (2011). *Polymer matrix composites and technology*. Elsevier.
- Wang, Y., Gan, H. L., Liang, C. X., Zhang, Z. Y., Xie, M., Xing, J. Y., ... ve Liu, H. (2021). Network structure and properties of crosslinked bio-based epoxy resin composite: An in-silico multiscale strategy with dynamic curing reaction process. *Giant*, 7, 100063.
- Wei, B. J., Chang, Y. S., Yao, Y., ve Fang, J. (2016). Online estimation and monitoring of local permeability in resin transfer molding. *Polymer Composites*, 37(4), 1249-1258.
- Wu, Y., Wang, H., Liu, X. J., Chen, X. H., Hui, X. D., Zhang, Y., ve Lu, Z. P. (2014). Designing bulk metallic glass composites with enhanced formability and plasticity. *Journal of Materials Science & Technology*, 30(6), 566-575.
- Yasmin, A. ve Daniel, I. M. (2004). Mechanical and thermal properties of graphite platelet/epoxy composites. *Polymer*, 45(24), 8211-8219.
- Yeh, P. C., Chang, P. Y., Wang, J., Yang, J. M., Wu, P. H., ve Liu, M. C. (2012). Bearing strength of commingled boron/glass fiber reinforced aluminum laminates. *Composite Structures*, 94(11), 3160-3173.
- Yıldız, S. (2007). Metalik-intermetalik laminat (Mil) kompozit üretimi (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- You, S., Huang, Y., Kainer, K. U., ve Hort, N. (2017). Recent research and developments on wrought magnesium alloys. *Journal of Magnesium and Alloys*, 5(3), 239-253.
- Yozgat, U. (2019). Bazalt elyaf takviyeli filaman sarım kompozit boruların düşük hızlı darbe davranışlarının düşük iç basınç altında incelenmesi (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).

Yumak, N., Pekbey, Y. ve Aslantaş, K. (2013). Zırh Tasarımında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Deformasyon Karakteristiğinin Araştırılması. *Makine Teknolojileri* 4

Zhang, J., Lin, G., Vaidya, U., ve Wang, H. (2022). Past, present and future prospective of global carbon fibre composite developments and applications. *Composites Part B: Engineering*, 110463.



ÖZGEÇMİŞ

İlkokulunu Gazipaşa İlköğretim Okulu'nda okumuştur. 2013 yılında 88. Yıl Cumhuriyet Anadolu Lisesi'nden mezun olmuştur. 2019 yılında Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği'nden mezun olmuştur. 2021 yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimine başlayan Abdulsamet KELEŞ'in eğitim süreci devam etmektedir.

