



**ELYAF TAKVİYELİ ALÜMİNYUM KOMPOZİT
PANELLERİNİN ÜRETİMİ**

VE

MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aslı SEZEN

Danışman

Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELYAF TAKVİYELİ ALÜMİNYUM KOMPOZİT PANELLERİNİN ÜRETİMİ
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Aslı SEZEN

Danışman

Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Aslı SEZEN tarafından hazırlanan “Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozit Panellerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

İmza

Başkan : Prof. Dr. İbrahim MUTLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. İbrahim YAVUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Bekir GÜNEY
Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi,
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/07/2024

Aslı SEZEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELYAF TAKVİYELİ ALÜMİNYUM KOMPOZİT PANELLERİNİN ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aslı SEZEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

Alüminyum kompozit paneller hafif olmaları, yüksek mukavemet sunmaları ve estetik bir görünüm sağlamaları nedeniyle birçok sektörde kullanım alanı bulmuştur. Bu sektörler arasında inşaat sektöründe dış cephe kaplamalarında, reklam ve tabela uygulamalarında, otomotiv sektöründe dış paneller ve iç mekân kaplamalarında, havacılık ve uzay sektöründe ise uçak gövdeleri ve iç mekân kaplamalarında başlıca kullanım alanları olarak sayılabilir. Özellikle otomotiv sektöründe aracın genel ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğini artırır ve daha iyi bir performans sağlaması sebebi ile her geçen gün kullanım alanı artmaktadır. Panellerin dayanımları nispeten iyi olsa da yüzeyleri çizilmeye ve darbelere karşı hassastır. Bu sebeple bu çalışmada alüminyum kompozitler cam elyaf ile kaplanarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında iki yüzeyi 0,25 mm kalınlığında alüminyum toplam kalınlığı 4 mm olan hazır paneller kullanılmıştır. Panellerin her iki yüzeyi 100 gr/m² ve 300 gr/m² özelliğinde cam elyaf kumaşlar ile takviye edilmiştir. Üretimlerde el yatırma ve pres kalıplama yöntemleri kullanılmıştır. Üretimler tamamlandıktan sonra standartlara uygun boyutlarda hassas olarak kesilmiştir. Deney numuneleri darbe, üç nokta eğme ve çekme testleri yapılmıştır. Darbe testlerinde maksimum dayanımları test edebilmek için her numune farklı enerjilerde test edilmiştir. Takviyesiz paneller 20-40-60 J, 100 gr/m² kaplanmış numuneler 35-50-65 J, 300 gr/m² kumaş takviye edilmiş numuneler ise 70-100-130 J enerjilerde test edilmiştir. Darbe deneylerinde, ilk enerjilerde geri sekme,

ikincisinde saplanma ve üçüncü enerjilerde ise delme gözlemlenmiştir. Darbe testleri sonucunda, elyaf yoğunluğunun artırılmasıyla malzemenin darbe dayanımının arttığı görülmektedir.

2024, xi + 47 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alüminyum panel, Mekanik test, Cam elyaf, Polimer kompozit.



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PRODUCTION AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF FIBERGLASS REINFORCED ALUMINUM COMPOSITE PANELS

Aslı SEZEN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim YAVUZ

Aluminum composite panels are widely used across various industries due to their lightweight nature, high strength, and aesthetic appearance. These industries include construction for exterior cladding, advertising and signage applications, the automotive industry for exterior panels and interior claddings, and the aerospace sector for aircraft fuselages and interior claddings. In the automotive industry, particularly, their usage is increasing daily as they reduce the overall weight of the vehicle, thereby enhancing fuel efficiency and performance. Although the panels have relatively good strength, their surfaces are susceptible to scratches and impacts. Therefore, this study aims to improve the mechanical properties of aluminum composites by reinforcing them with fiberglass.

In this study, ready-made panels with a total thickness of 4 mm, with both surfaces coated with 0.25 mm thick aluminum, were used. Both surfaces of the panels were covered with fiberglass fabrics of 100 g/m² and 300 g/m². The production methods included hand lay-up and press molding techniques. After the production was completed, the panels were precisely cut into standard dimensions. The test specimens were subjected to impact, three-point bending, and tensile tests. To test their maximum strengths in the impact tests, each specimen was tested at different energy levels. Uncoated panels were tested at 20-40-60 J, specimens coated with 100 g/m² fiberglass at 35-50-65 J, and those coated with 300 g/m² fabric at 70-100-130 J. In the impact tests, rebound was observed at the first

energy level, penetration at the second, and perforation at the third energy level. The impact tests revealed that increasing the fiberglass density enhances the impact resistance of the material.

2024, xi + 47 sayfa

Keywords: Aluminum panel, Mechanical testing, Glass fiber, Polymer composite.



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında bana destek olan herkese teşekkür etmek isterim. Öncelikle, tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim YAVUZ'a, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak, araştırma sürecinde ve tez yazımında bana verdiği değerli bilgi, yönlendirme ve tavsiyeler için minnettarım. Tez çalışmam boyunca değerli bilgileri ve yönlendirmeleri ile bana yol gösteren, deneylerin gerçekleştirilmesi, numunelerin hazırlanması ve tez yazım sürecinde büyük yardımları dokunan sayın Dr. Öğr. Üyesi Ercan ŞİMŞİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezde kullanılan alüminyum kompozit panel destekleri için Aydan ILGAZLI'ya ve SARAY ALÜMİNYUM firmasına teşekkürlerimi iletmek isterim. Tez çalışması sırasında moral ve motivasyon veren aileme, arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Aslı SEZEN

Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Kompozit Malzemeler	7
2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	9
2.2.1 Metal Matrisli Kompozitler (MMC)	10
2.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler (CMC)	10
2.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler (PMC)	10
2.2.4 Parçacık Takviyeli Kompozitler Malzemeler	11
2.2.5 Elyafli Takviyeli Kompozitler Malzemeler	11
2.2.5.1 Sürekli elyaf takviyeli kompozitler	12
2.2.5.2 Süreksiz Elyaf Takviyeli Kompozitler	14
2.2.6 Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	14
3. MATERYAL ve METOT	16
3.1 Alüminyum Kompozit Panel	16
3.2 Cam Elyaf	18
3.3 Epoksi ve Reçine	19
3.4 Üretim Yöntemleri.....	20
3.4.1 El Yatırma Yöntemi	20
3.4.2 Pres ile Birleştirme (Kürleme) İşlemi	21
3.5 Test Yöntemleri	22
3.5.1 Darbe Test Yöntemleri.....	22
3.5.2 Çekme Testi Yöntemleri	24
3.5.3 Üç Nokta Eğme Testi Yöntemleri.....	25
4. BULGULAR.....	27

4.1 Darbe Test Sonuçları	27
4.1.1 Alüminyum Kompozit Panel'in Basma Dayanımına Etkisi	27
4.1.2 100gr/mm ² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel.....	30
4.1.3 300gr/mm ² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel.....	32
4.2 Çekme Test Sonuçları.....	34
4.3 Üç Nokta Eğme Test Sonuçları	35
5. SONUÇ ve TARTIŞMA	38
6. KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	47



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al ₂ O ₃	Alümina
Al	Alüminyum
Be	Berilyum
B	Bor
BN	Bor Nitrür
J	Joule
kN	Kilo Newton
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
ms	Mili saniye
Sic	Silisyum Karbür
Si ₃ N ₄	Silisyum Nitrür
Ti	Titanyum
W	Tungsten

Kısaltmalar

100TKP	100 gr/ mm ² Elyaf Takviyeli Kompozit Panel
300TKP	300 gr/ mm ² Elyaf Takviyeli Kompozit Panel
CET	Cam Elyafı Takviyeli Malzeme
CFC	Sürekli Elyaf Kompozit
CMC	Seramik Matrisli Kompozitler
MMC	Metal Matrisli Kompozit
PE	Polietilen
PMC	Polimer Matrisli Kompozitler
PP	Polipropilen
TKZ	Takviyesiz Kompozit Panel

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	9
Şekil 4.1 Takviyesiz alüminyum kompozit panellerin kuvvet-zaman, enerji-zaman, kuvvet-deformasyon, enerji-deformasyon grafikleri	29
Şekil 4.2 100gr/mm ² Elyaf takviyelin kompozit panellerin kuvvet-zaman, enerji-zaman, kuvvet-deformasyon, enerji-deformasyon grafikleri	31
Şekil 4.3 300gr/mm ² Elyaf takviyelin kompozit panellerin kuvvet-zaman, enerji-zaman, kuvvet-deformasyon, enerji-deformasyon grafikleri	33



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Alüminyum Kompozit Panellerin Adlandırmaları ve Açılımı.....	17
Çizelge 2.2 Alüminyum'dan temin edilen alüminyum kompozit panelin teknik özellikleri	18



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Alüminyum kompozit panel (İnt. Kyn. 1).	18
Resim 3.2 a: Cam Elyaf 100gr/m ² / b: Cam Elyaf 300gr/m ²	19
Resim 3.3 Epoksi ve Reçine.....	19
Resim 3.4 Epoksi ve Reçine'nin mikser ile karıştırılması.	20
Resim 3.5 Kompozit üretim aşamaları.....	21
Resim 3.6 Kompozit üretiminde kullanılan sıcak pres	22
Resim 3.8 Çekme cihazı öncesi görüntüsü	24
Resim 3.9 Üç nokta eğme cihazı işlem sonrası görüntüsü.....	25
Resim 4.1 Alüminyum Kompozit Panel darbe sonuç görüntüleri	28
Resim 4.2 100gr/mm ² Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozit Panel'in A(35j), B(50j), C (65j) darbe altında basma test sonuç görüntüsü	30
Resim 4.3 300gr/mm ² Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozit Panel'in A(70j), B(100j), C(130j) darbe altında basma test sonuç görüntüsü	32
Resim 4.4 Alüminyum Kompozit Panellerin Çekme Testi öncesi görüntüleri.....	34
Resim 4.5 Alüminyum Kompozit Panellerin Çekme Testi sonrası görüntüleri.....	34
Resim 4.6 Kompozit Panellerin Üç Nokta Eğme Testi esnasında görüntüleri	36

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi, uygulama alanlarındaki değişimler ve ihtiyaçların belirlenmesiyle kompozit panellerin önemi her geçen süreçte artmaktadır. İnsanoğlunun teknolojinin ilerlemesiyle hafif, korozyona karşı dirençli, yüksek ısıl dayanımına sahip ve dayanıklı malzemelere karşı ihtiyaçları meydana gelmektedir (Oladele 2020).

Kompleks özelliklere sahip kompozit paneller, yüksek mukavemet, yüksek korozyon ve çevre koşullarına dayanıklılık gibi özellikleri bulunmaktadır. Kompozit malzemeler, alışagelmış malzemelerin talep edilen ihtiyaçları karşılamada gerekli özellikleri karşılayamaması sonucu meydana gelmiş ve son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için devamlı araştırmalar yapılmaktadır. Kompozit malzemelerden beklenen ana amaç düşük yoğunlukları, yüksek mukavemet/ağırlık oranları ve mükemmel korozyon direncine sahip olmaları endüstriyel alanda birçok avantaj sunmaktadır.

Kompozit malzemelerin kullanım alanı yaygınlaşması sonucu, bu malzemelerin mekanik özelliklerini araştırma ve geliştirme çalışmaları artmaktadır. Bu çalışmaların ortak amacı, kompozit malzemelerinin yüksek dayanım elde etmektedir. Kompozit malzemelere takviye malzemeler eklenerek yüksek dayanım sağlanması amaçlanmaktadır.

Kompozit malzemelerin üretim aşamasında, çoğunlukla en az iki ayrı malzeme içeren homojen olmayan malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılan malzemeler iki kategoriye ayrılmaktadır; matris ve takviyedir. Takviyeler, matrisin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesini sağlar. Yüksek dereceli kompozitler, yüksek dereceli polimer, metal veya başka bir malzeme içine yerleştirilen yüksek dereceli polimer, metal veya başka bir malzeme içine yerleştirilen yüksek dereceli fiberlere dayanır. Elyaf takviyeli bu malzeme mekanik özelliklerinden dolayı yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzeme, düşük kütle yoğunluğuyla birlikte elyaf yönünde çok iyi mekanik özelliklere (mukavemet ve sertlik) sahiptir. Bir bileşenin sağlamlığı, belirli bir yığının altından ne kadar kaçındığını gösterir. Bir kumaşın kalitesi, elyafın yönüne bağlı olarak mekanik özelliklerinin değişmeden şekil değiştirmesine direnç göstermektedir (Harris 1999).

Farklı lif yönelimlerine sahip katmanların birleştirilmesiyle çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Farklı özelliklere sahip katmanların birleştirilmesiyle değerler elde edilir. Kompozitler düşük yoğunlukları, yüksek mukavemet/ağırlık oranları ve mükemmel korozyon direncine sahip olmaları endüstriyel alanda birçok avantaj sunmaktadır.

Sonuç olarak, kompozit malzemeler, mevcut malzemelerden fiziksel ve mekanik özellikler doğrultusunda standart sınırların üzerinde bir malzemedir. Araştırma ve geliştirme çalışmalarının ilerlemesiyle, kullanım alanlarının inşaat, havacılık, otomotiv vb. gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı parçaların geliştirme sürecindeki materyaller kompozit malzemenin yapısını oluşturmaktadır.

Çalışmasını yürüttüğümüz tez çalışmamızın amacı literatür çalışmalarından farklı olarak, alüminyum kompozit panel çekirdekli takviyeli kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemenin çekirdek kısmında, alüminyum kompozit panel yer almaktadır. Kompozit malzemenin takviye kısımlarında ise, alt ve üst kısımlarında yer alan 100gr/m^2 ve 300gr/m^2 olarak iki ayrı cam elyafının aralarına reçine ve epoksi karışımları ilave edilerek, sabit $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında 30kN 'luk presin altında 2 saat bekletilerek üretilmiştir. Üretilen numuneler, mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, darbe, üç nokta eğme ve çekme testleri yapılmıştır.

Hızlı yenilenebilirlik ve uygun mekanik özellikler, cam doğal elyaf takviyeli kompozitler için mükemmel bir takviye malzemesi haline getirir. Son on yılda cam elyaf dolgulu termoplastik kompozitlerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır. Ağırlığının azaltılması nedeniyle otomobillerde kompozit malzemelerin türevlerinin kullanımı artmaya devam etmektedir. Fiber takviyeli kompozitler, daha geleneksel izotropik malzemelere göre tercih edilir. Çünkü yüksek spesifik mukavemet ve spesifik sertlik elde edilecek şekilde tasarlanabilmesi avantajdır. Amaç panelin tasarımını ve ağırlığını değiştirmeden, kompozit malzeme kullanılarak iç kapının mukavemeti arttırmaktır (Jadhav 2022).

Kompozit yapılar havacılık endüstrisinde ve günümüzde otomotivde yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı parçaların geliştirme sürecindeki materyaller kompozit malzemenin yapısını oluşturmaktadır. Yıllar boyunca bu kompozit yapılar hakkında yoğun araştırmalar yapılmıştır (Ver 2017).

Kompozit yapılar havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde otomotiv üreticileri bu tür malzemeleri farklı parça veya montaj geliştirme sürecinde kullanmaya kararlıdır. Bu kompozit yapılar, planlama, tasarım, finans, üretim ve satışta da değişiklik gerektirse bile, otomotiv sektörü müşterilerinin talep ettiği miktar ve kalitedeki sürekli artışı karşılayabilmektedir. Darbe analizine tabi tutulan kompozit panellerin davranışları hakkında fikir veren bu kompozit yapılar hakkında yıllar boyunca araştırmalar yapılmıştır (Emilian 2017).

Kompozit malzemelerin önemi spor ve rekreasyon (rüzgar sörfü direkleri, bisiklet çerçeveleri, sırt çantalı kutular, kanolar) gibi çeşitli uygulama alanlarında gösterilmiştir; otomotiv (tahrik milleri, süspansiyon kontrol kolları, yapısal destekler, çarpışma yapıları), havacılık (soğutma tüpleri, türbin fan kanatları), ve askeri (koruyucu kasklar ve diğer balistik koruma cihazları).

Kompozit malzemelerde kullanılan ana reçineler epoksi, polyester ve vinilester şeklinde kategorilere ayrılabilir. Polyester reçineler, kendileriyle reaksiyona girebilen, ticari olarak en çok temin edilebilen reaktif termoset reçine sınıflarından biridir. Mekanik özelliklerini geliştirmek için farklı kalınlıktaki cam elyaflar kullanılmıştır (Salazar 2021a).

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

İmalat sektörünün hızlı büyümesi, daha düşük maliyet ve geliştirilmiş sürdürülebilirlik sağlamak amacıyla mukavemet, sertlik ve yoğunluk özellikleri iyileştirilmiş malzemelere duyulan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Kompozit malzemeler, çeşitli uygulamalardaki potansiyellerini gösteren bu özelliklerde iyileştirmeler sağlayan malzemelerden biri olarak ortaya çıkmıştır (Linul 2019, Stelea 2022). Kompozit malzemeler, biri matris fazında, diğeri ise partikül veya fiber formunda olabilecek iki veya daha fazla bileşenin bir araya gelmesidir. Kompozit malzemelerin imalatında doğal veya sentetik fiberlerin kullanımı, inşaat, mekanik, otomotiv, havacılık, biyomedikal ve denizcilik gibi çeşitli alanlarda önemli uygulamaları ortaya koymuştur (Movahedi ve Linul 2017).

Geçmiş yirmi yıldan araştırmalar, kompozitlerin, fiber takviyeli kompozit (FRC) malzemelerin yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinde önemli bir iyileşme sağladığı için birçok geleneksel malzemeye alternatif olarak sunulduğunu göstermiştir (Chukov vd. 2019, Du vd. 2018). Kompozit malzemeler, malzemenin dayanıklılığını artırma da başarılı olmuş olsa da çevredeki plastik atıkların birikmesiyle ilgili güçlü bir endişe şu anda ortaya çıkmıştır (Lebreton vd. 2017). Bu endişe, dünya çapında araştırmacıları, daha temiz üretim süreçleriyle ilişkilendirilen çevre dostu malzemeler geliştirmeye zorlamıştır (Scaffaro vd. 2018, Sun vd. 2018). Her yıl üretilen binlerce ton kompozit atıkla başa çıkmak için çeşitli kompozit geri dönüşüm süreçleri de geliştirilmiştir. Mekanik geri dönüşüm, azalmış boyuttaki geri dönüştürülmüş malzemelerin levha kalıplama bileşikleri için dolgu malzemesi olarak kullanıldığı öğütme işlemi içerir. Termal geri dönüşümde, kompozit atıkların piroliz yoluyla bozulması yapılırlar veya yüksek kalorifik değere sahip kompozit malzemelerin yakılmasıyla büyük miktarda ısı enerjisi elde edilir. Ayrıca, kimyasal geri dönüşüm (solvoliz) ve yüksek voltajlı parçalama (HVF) gibi daha verimli süreçler de mevcuttur. Polimer matrisine doğal dolgu maddeleri, örneğin doğal fiberler, selüloz nanokristaller ve nano lifler eklenmesi, malzeme özelliklerini iyileştirirken kalıntı birikimi sorununu minimize etmiştir (Ferreira vd. 2019).

Birçok araştırmacı, selülozik fiberlerin doğada bol miktarda bulunması, toksik olmaması, yenilenebilir olması, maliyet etkin olması ve beton bazlı matrisle gerekli bağlanmayı sağlayarak malzemenin süneklik, tokluk, eğilme kapasitesi ve darbe direnci gibi

özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlaması gibi avantajlarını bildirmiştir (Ardanuy vd. 2015, Balea vd. 2019). Modern tekniklerde, kompozit yapıların güçlendirilmesi için uçucu kül, kireçtaşı tozu, tuğla tozu ve diğer mineral katkı maddelerinin eklenmesi kullanılmaktadır. Yapısal uygulamalar için beton kompozitinde uçucu kül eklenmesiyle kırılma tokluğu artırılmış ve malzemenin ömrü uzatılmıştır (Golewski 2017). Doğal fiberler esas olarak bitki bazlı, hayvan bazlı ve mineral bazlı olarak sınıflandırılır. Mineral bazlı fiberlerin içindeki asbest içeriği insan sağlığına zararlı olduğundan, bu fiberler fiber takviyeli kompozit malzemelerle ilgili araştırmalarda iyi incelenmemiştir, oysa bitki bazlı fiberler düşük maliyet, biyobozunur doğa, bulunabilirlik ve iyi fiziksel ve mekanik özellikler gibi umut verici özellikler sunar (Fidelis vd. 2013, Pickering vd. 2016) Bitki fiberleri, yaprak fiberleri (sisal ve abaca), bast fiberleri (keten, jüt, kenevir, ramie ve kenaf), çim ve kamış fiberleri (pirinç kabuğu), çekirdek fiberler (kenevir, jüt ve kenaf), tohum fiberleri (pamuk, kapok ve Hindistan cevizi lifi) ve diğer türleri, ahşap ve kökleri içerebilir. Polimer matrisleri, doğal bir matris ve petro-kimya bazlı polyester, polipropilen (PP), polietilen (PE) ve epoksi içeren sentetik bir matris olarak da sınıflandırılır (Lotfi vd. 2021). En son araştırmalar, doğal ve sentetik fiberlerin kombinasyonu ile hibrit kompozitlerin geliştirilmesine katkıda bulunur. Birden fazla fiber türünden oluşan kompozit yapılar hibrit kompozitler olarak tanımlanır. Bu fiberleri birleştirmenin yolları arasında fiber katmanlarının üst üste bindirilmesi, fiberlerin iç içe geçmesi, aynı katmanda iki tür fiberin karıştırılması, belirli bir kuvvet için fiberlerin seçici olarak yerleştirilmesi ve her fiberin belirli bir yöne yerleştirilmesi yer alır (Pegoretti vd. 2004). Bunların arasında fiberlerin üst üste bindirilmesi en kolay prosedürdür ve diğerleri, olumlu bir hibritleşme etkisi elde etmede bazı komplikasyonlar getirir. Birçok araştırmacı, fiber içeriğini, yönelimini, boyutunu veya imalat süreçlerini değiştirerek belirli uygulamalar için verimli kullanım için optimize edilmiş kompozit malzemeler geliştirerek başarı elde etmiştir. FRC'lerin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için fiziksel, mekanik, elektriksel ve termal özelliklerini anlamak gereklidir. FRC'ler, önemli mekanik özellikleri nedeniyle şu anda sayısız uygulama alanında kullanılmaktadır. Bu kompozit malzemeler bazen üretim hataları gibi bazı kusurlar nedeniyle tasarlanmış özelliklerinden sapabilirler ve beklenen mekanik özellik iyileşmelerinden sapmalarına neden olabilirler. Bu üretim hataları, yanlış hizalama, dalgalanma ve bazen fiberlerin kırılması, fiber matrisin ayrılması, delaminasyon ve kompozit malzeme matrisinde boşluk oluşumunu

içerir. Kompozitlerde %1'lik boşluk içeriği artışı, sırasıyla, çekme mukavemetinde (%10-20), eğilme mukavemetinde (%10) ve arayüzey kayma mukavemetinde (%5-10) azalmaya yol açar. Bu, imalat süreçlerinin işleme parametrelerinin manipülasyonu ile ortadan kaldırılabilir (Mehdikhani vd. 2019).

Bu nedenle, istenen uygulama alanı için uygun, kendi kendine yeterli, dayanıklı kompozit malzemeyi elde etmek için hataları önleyecek ve optimize edilmiş tekniklerin uygulanmasını sağlayacak farklı kompozit imalat tekniklerinin anlaşılması ve incelenmesi gerekmektedir. Geçtiğimiz birkaç on yıldır uygulanan birçok geleneksel kompozit malzeme imalat tekniği mevcuttur ve bazı son dönemde geliştirilen otomatik kompozit imalat teknikleri, işlem için robot yardımı kullanarak tam otomasyon ve büyük bir verimlilik artışı sağlamaktadır (Dickson vd. 2018).

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin, tek başına hareket ettiklerinde fiber veya matris tarafından elde edilemeyen bir kombinasyon özelliklerini üretirler. Fiberle güçlendirilmiş kompozitler, tüm mühendislik uygulamalarında onlarca yıldır başarıyla kullanılmaktadır. Cam elyaf takviyeli polimerik (CTP) kompozitler, kompozit malzemelerin üretiminde en yaygın olarak kullanılmıştır. Matris organik, polyester, termostabil, vinilester, fenolik ve epoksi reçinelerden oluşuyordu.

Fiberle güçlendirilmiş bir kompozitin mekanik davranışı temel olarak fiberin mukavemetine ve stres transferini sağlamak için fiber/matris arasındaki arayüz bağlantısına bağlıdır. Uzunlamasına, dokuma gibi çeşitli cam elyaf takviyeli kompozitlerde keçe, kırılmış elyaf (belirgin) ve kırılmış keçe, kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirmek amacıyla üretilmiştir. Kompozitlerin özellikleri, kompozitlerin hazırlanması sırasında matris içine yerleştirilen veya lamine edilen fiberlere bağlıdır. Polimerlerin yüksek maliyeti, ticari uygulamalarda kullanımlarını sınırlayıcı bir faktördü. Dolayısıyla dolgu maddelerinin kullanımı kompozitlerin özelliklerini iyileştirmiş ve sonuçta hazırlama ve ürün maliyetini düşürmüştür. Kompozit malzemeler çok çeşitli endüstriyel uygulamalara sahiptir ve lamine cam takviyeli kompozit malzemeler denizcilik endüstrisinde kullanılmaktadır. İyi çevresel direnç, darbe yüklemesinde daha iyi hasar toleransı, yüksek özgül mukavemet ve sertlik derecesine sahiptir.

Epoksi reçineler, yüksek kimyasal/korozyon direnci özelliklerine ve kürlleme sırasında düşük büzölmeye sahip olan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeşitli koşullar altında işlenebilme özelliğı ve yüksek düzeyde çapraz bağlanan epoksi reçine ağları, malzemenin kırılğan olmasına neden olmaktadır. Kompozit enerji dağılımı, titreşim ortamına maruz kaldıklarında önemliydi. Fiber hacmi, fiber oryantasyonu, matris malzemesi, sıcaklık, nem ve lamine kalınlığı ve kompozitlerin kalınlığı gibi diğlerleri gibi CTP kompozitlerin enerji dağılımını çeşitli faktörler etkilemiştir. Tüm polimerik kompozitlerinin enerji dağılımını çeşitli faktörler etkilemiştir. Tüm polimerik kompozitler sıcaklığa bağımlıdır (Salazar vd. 2021b, Sathishkumar vd. 2014a).

2.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemedan yapılan, belirli bir süre boyunca ısı ve basınç uygulanarak yapıştırıcı kombinasyonuna getirilen malzemeler olarak tanımlanabilir. Kompozit malzemelerin özelliğı, bileşenlerinin herhangi birinden farklı ve üstündür. Bileşenleri kimyasal reaksiyona girmez. Kompozit malzemenin bileşenlerinden birine matris denir. Bağlayıcı görevi görür. İşlevi, yapının şeklini korumak, donatıyı korumak ve stabilize etmek ve donatı malzemelerine ve donatı malzemeleri arasından yük aktarmaktır diğler bileşene takviye denir. Takviye malzemesi mukavemet, sertlik ve düşük termal genleşme sağlar (Hsissou vd. 2021).

Aşağıdaki malzemeler takviyeli olarak kullanılır:

1. Alümina (Al_2O_3)
2. Alüminyum (Al)
3. Bor Nitrür (BN)
4. Berilyum (Be)
5. Cam grafit
6. Aramid (Kevlar)
7. Silisyum Karbür (SiC)
8. Silisyum nitrür (Si_3N_4)
9. Titanyum (Ti)

10. Tungsten (W)

Takviyeli malzemeler parçacık, tel veya lif olarak kullanılır. Kompozitler, çeşitli koşullara uyarlanabilirlikleri ve belirli ihtiyaçlara hizmet etmek için alternatif malzemelerle karışımın göreceli basitliği nedeniyle en yaygın kullanılan malzemelerden biridir ve arzu edilen özellikleri gösterir (Redhwi vd. 2023).

Elyaf takviyeli polimer bileşenleri, termosetler ve termoplastikler olarak gruplandırılır. Termoset kompozit parçalar, istenen şekil ve konfigürasyonda bir kalıp üzerine tek yönlü bant yerleştirilerek üretilir. Döşenen bant sıkıştırılır ve bir kürleme işlemine tabi tutulur. Bu işlem, reçine ve elyaf kombinasyonunu sert bir yapısal bileşene dönüştürür (Ghosh vd. 2021).

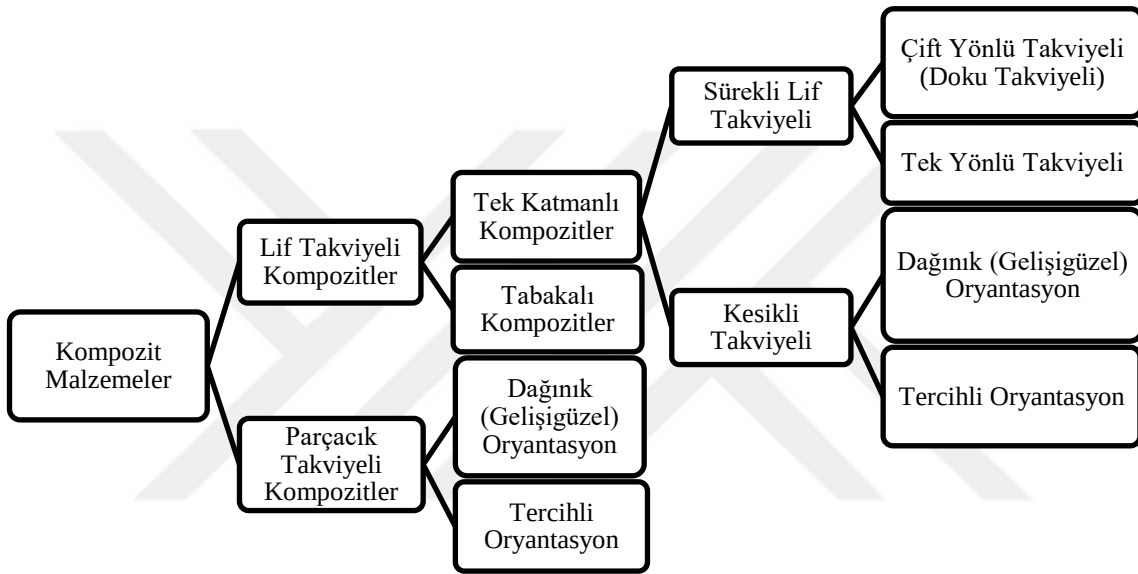
Termoplastik reçineler, elyaf takviyeleri eklenmeden önce polimerize edilir. Bunlar, sıcaklığın artmasıyla yumuşatılabilir ve sıcaklığın düşürülmesiyle sertleştirilebilir. Bu malzemeler ticari olarak pregler, bantlar ve levhalar olarak temin edilebilir (Qiao vd. 2023).

Çeşitli takviyelerden yararlanan polyester, sistemin iyileştirilmesinde ve diğer uygulamalarda kullanılmaya devam etmiştir. Termoplastiklerin büyük çoğunluğu, çeşitli oranlarda takviye lifleri ile birleştirilir. Termoplastiklerden araç parçaları üretmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Malzemenin seçimi, maliyet etkinliği ve mekanik mukavemetin yanı sıra parçanın nihai doğasından, gerekli hacimden oluşur (Qiao vd. 2023).

Takviyeli plastik bir kompozit, masraf ve performans açısından düşünüldüğünde muhtemelen çelik sacdan daha pahalıya mal olacaktır. Böyle bir durumda, farklı nitelikler esasen yüksek harcamayı haklı çıkarmalıdır. Kalınlık ve ağırlık üzerinde etkisi olan parçaların mekanik özellikleri, onları çelikten daha etkili hale getirmek için yeterli tasarrufu sağlanmalıdır. Bununla birlikte, güçlendirilmiş plastiklerden daha yüksek bir işleme atığı gösterir. Takviyeli plastiklerin üretim maliyetleri, bunları oluşturmak için

kullanılan cihazlar ve aletler tarafından yönlendirilir. Buna karşılık, ihtiyaç duyulan bileşenlerin miktarına göre tabi tutulur.

Kompozitlerin kullanımında önemli bir husus hafiftir. Spesifik bileşenlerin deneysel çalışmaları, tüm kompozit yapıların kullanılmasıyla %20 ile %45'lik bir tasarruf sağlanabileceğini, seçici olarak güçlendirilmiş metal yapıların ise yalnızca %10 ila %25 civarında bir tasarruf sağladığı göstermiştir (Rani vd. 2021).



Şekil 2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması (Şenol B. 2023)

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

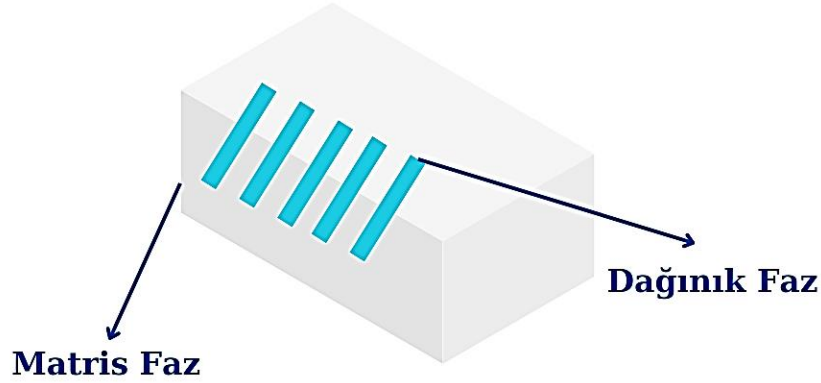
Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

1. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler
2. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler
3. Tabakalı Kompozit Malzemeler

Matris malzemenin yapısına göre sınıflandırma:

1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

2. Seramik Matrisli Kompozitler Malzemeler
3. Polimer Matrisli Kompozitler Malzemeler



Şekil 2.2 Matris ve Dağınık Faz.

2.2.1 Metal Matrisli Kompozitler (MMC)

Metal matrisli kompozit malzemeler, alüminyum, magnezyum veya titanyum gibi yapısal uygulamalar için daha hafif bir metal tercih edilir. Bu, donatı ve bir bütün olarak yapı için uyumlu destek sağlar (Guler ve Bagci 2020).

Turbo fan MMC malzemeden üretilmiştir. Uçağın yakıt verimliliğini artırmaya yardımcı olan hafiftir.

2.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler (CMC)

Seramik lifler bir seramik matris fazına gömülür. Bu tür bir yapı, geleneksel seramik yapıların karşılaştığı düşük çatlama direnci sorunlarının üstesinden gelir. Karbon, Silisyum Karbür, Alümina vb. malzemeler hem matris hem de dağınık faz için başlıca adaylardır (De Zanet vd. 2021).

2.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler (PMC)

Bu tip kompozit, çeşitli kısa veya sürekli lifleri birbirine bağlayan polimer matrislerinden oluşur. Matrisler çoğunlukla epoksiler, fenolikler ve poliamidler gibi reçine sistemlerinin

termosetleridir. PMC'ler hafiflikleri, yüksek sertlikleri ve yüksek mukavemetleri ile bilinir (Huang vd. 2021).

Güçlendirilmiş malzeme yapısına göre sınıflandırma

1. Parçacık takviyeli kompozitler

- Dağılım güçlendirildi.
- Partikül

1. Elyaf takviyeli kompozitler

- Sürekli Lif
- Süreksiz Lif

2. Yapısal Kompozitler

- Laminer
- Sandviç Yapı

2.2.4 Parçacık Takviyeli Kompozitler Malzemeler

Ekonomik olmalarının yanı sıra bulunabilirlik kolaylığı nedeniyle en yaygın kullanılan kompozit yapı sınıflarından biridir. Güçlendirme mekanizmasına göre daha da ayırt edilebilirler. Partikül ve dağılımla güçlendirilmiştir (Srinivasan vd. 2021).

Bu durumda, parçacıkların boyutu nispeten daha küçüktür ve 0.01 ila 0.1 μm arasında değişir. Güçlendirme, metallerde çökeltme sertleşmesine benzer şekilde atomik ve moleküler düzeyde gerçekleşir. Örnekler: Thorium (ThO_2) dispers nikel alaşımları yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Sinterlenmiş Alüminyum tozu (SAP) çok küçük alümina pullarının bir alüminyum matris üzerinde dağıldığı yer. Bu kompozit sınıfı, nispeten büyük miktarlarda kaba parçacıklar içerir. Genellikle, onları geliştirmek yerine olağandışı özellik kombinasyonları üretmek için tasarlanırlar. MMC, CMC ve PMC olmak üzere üç matris türüyle de kullanılabilirler. Örnekler: Kobalt veya nikel ile gömülü Tungsten Karbür veya Titanyum Karbür, elektrikli kesici aletler yapmak için kullanılır (Srinivasan vd. 2021).

2.2.5 Elyafli Takviyeli Kompozitler Malzemeler

Elyaf takviyeli kompozitler, mukavemet, mukavemet-ağırlık oranı gibi gelişmiş mekanik özellikle sağlar. Güçlü, sert fakat kırılğan lifleri daha yumuşak, sünek bir matriste birleştirir. Matris, yükü ağır kaldırmanın çoğunu yapan liflere aktarmak için bir ortam görevi görür (Liu vd. 2022).

Ayrıca sürekli veya süreksiz lifler olarak sınıflandırılırlar.

2.2.5.1 Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitler

Sürekli elyaf kompozitler, yüksek mukavemetli elyafları destekleyici bir polimer matrisi ile birleştiren gelişmiş malzemelerdir. Genellikle karbon veya camda yapılan lifler, malzemenin tüm uzunluğu boyunca uzanır ve olağanüstü gerilme mukavemeti ve sertlik sağlar. Tipik olarak bir reçine olan polimer matrisi, lifleri çevreler ve bağlar, onları korur ve gerilimi malzeme boyunca eşit olarak dağıtır. Bu sinerjik kombinasyon, geleneksel malzemelere kıyasla üstün mekanik özellikler sergileyen bir malzeme ile sonuçlanır (Karimi vd. 2024).

Sürekli fiber kompozitlerin yeteneklerini tam olarak anlamak için, iki ana bileşenin rollerini anlamak çok önemlidir.

Lifler, yüksek gerilme mukavemeti ve sertlik sağlayan sürekli fiber kompozitlerin bel kemiğidir. Esnemeye ve bükülmeye karşı direnç göstererek malzemenin deforme olmadan önemli yüklere dayanmasını sağlarlar. Elyaf tipi seçimi (örn: karbon, cam, aramid) ve bunların matris içindeki hizalanması, belirli performans özelliklerini elde etmek için uyarlanabilir (Fernandes vd. 2021).

Polimer matris, liflerin korunmasında ve kompozitin bütünlüğünün korunmasında çok önemli bir rol oynar. Darbeleri emer, stresi dağıtır ve liflerin burkulmasını veya kırılmasını önler. Matris ayrıca malzemenin dayanıklılığına katkıda bulunur ve onu nem ve UV radyasyonu gibi çevresel faktörlerden korur.

Sürekli fiber kompozitlerin dikkat çekici yönlerinden biri çok yönlülükleridir. Üreticiler, liflerinin türünü, yönünü ve düzenini ve ayrıca polimer matrisinin özelliklerini

ayarlayarak, malzemenin özelliklerini belirli uygulamalara uyacak şekilde uyarlayabilir. Bu özelleştirme, güç, esneklik, hafiflik veya bu ve diğer özelliklerin bir kombinasyonu için optimize edilmiş kompozitlerin oluşturulmasını sağlar (Hou vd. 2020).

Sürekli fiber kompozitler (CFC), hafif bir profili korurken benzersiz güç, sertlik ve dayanıklılık kombinasyonları nedeniyle malzeme dünyasında öne çıkar.

CFC ilave ağırlık olmadan olağanüstü güçleriyle ünlüdür. Bu yüksek mukavemet-ağırlık oranı, performans ve verimlilik için ağırlığı azaltmanın gerekli olduğu havacılık ve otomotiv gibi uygulamalarda kritik bir faktördür. Sürekli lifler gerekli gerilme mukavemetini ve sertliği sağlarken, polimer matris malzemenin hafif kalmasını sağlar(Liu vd. 2021).

CFC’lerdeki sürekli lifler, uygulanan yükleri uzunlukları boyunca etkili bir şekilde dağıtarak yapısal bütünlüğü korur ve stres konsantrasyonunu önler. Bu kısa liflere veya parçacık dolgu kompozitlere kıyasla daha fazla mukavemet ve sertlik ile sonuçlanır. Ek olarak, fiber hizalaması gerekli yönde takviyeyi en üst düzeye çıkarmak için stratejik olarak ayarlanabilir, bu da hedeflenen alanlarda daha yüksek mukavemet ve sertlik sağlar (Wang vd. 2012).

CFC’ler yorulmaya, korozyona ve çevresel bozulmaya karşı mükemmel direnç gösterir. Polimer matris, elyafları koruyarak malzemenin dayanıklılığını artırır ve daha uzun hizmet ömrü ve daha az bakım ihtiyacı sağlar. Aşınma ve yıpranmaya karşı bu direnç, özellikle malzemelerin zorlu koşullara maruz kaldığı endüstrilerde önemli bir avantajdır (Barabash vd. 1998).

CFC’lerdeki matris malzemesi, kompozitin termal genleşme katsayısını dengelemeye yardımcı olur. Boyutsal kararlılığı sağlar ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan olası arızaları en aza indirir. Bu özellik, malzemelerin değişen sıcaklıklara maruz kaldığı uygulamalarda çok önemlidir ve tutarlı performans ve uzun ömür sağlar.

Sürekli fiber kompozitlerde, liflerin uzunluğu birkaç fit ila birkaç bin fit uzunluğunda değişebilir. Büyük bir avantaj, ham kompozit elyafın düzgün bir oryantasyonuna izin vererek, önemli tasarım kriterlerin (mukavemet, Y-modülü, CTE) geliştirilebilmesi ve özelleştirilebilmesidir.

Bir bütün olarak, sürekli fiber kompozitler, kısa, süreksiz fiber muadillerinden daha pahalı olma eğilimindedir. Ancak, önemli ölçüde geliştirilmiş performans sağlayarak bunu telafi eder.

2.2.5.2 Süreksiz Elyaf Takviyeli Kompozitler

Kompozitlerin bu alt bölümü ayrıca iki alt alta bölüme ayrılmıştır. Süreksiz hizalanmış lifler ve süreksiz rastgele yönlendirilmiş liflerdir.

Süreksiz hizalanmış fiber kompozitler; bir matriste tek bir sabit yönde hizalanmış daha kısa uzunluklarda yüksek yoğunluklu liflere sahiptir. Tek yönlü sürekli fiber kompozitlerinkilerle karşılaştırılabilir mekanik özellikler gösterebilirler. Ancak daha kısa lifler, kompozitin sünekliğinin azalmasına neden olur ve bu da onları yüksek mukavemetli, düşük sünek uygulamalar için ideal hale getirir (Petersen 2005).

Süreksiz rastgele hizalanmış fiber kompozitler; bir matrisin tüm yönlerine gömülü kısa, yoğunlaştırılmış liflerden oluşur. Hizalanmış fiber kompozitler, yalnızca donatı yönünde yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bu anizotropi, lifleri matrisin tüm yönlerine eşit olarak rastgele gömerek önlenabilir. Bu, tepe mukavemetinin azalmasına neden olabilirken, daha düşük bir maliyetle daha fazla şekillendirilebilirlik sağlar (Bijelic-Donova vd. 2016).

2.2.6 Tabakalı Kompozit Malzemeler

Yapısal kompozitler, özel bir kompozit sınıfıdır. Özellikleri sadece bileşenlerin özelliklerine değil, aynı zamanda çeşitli yapısal elemanların geometrik tasarımına da bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan yapısal kompozitlerin iki sınıfı, laminar kompozitler ve sandviç kompozitlerdir (Tekalur vd. 2008).

Laminer kompozitler, tercih edilen bir mukavemet yönüne sahip iki boyutlu levhalardan/katmanlardan oluşur. Özel ihtiyaçlara göre, bu katmanlar istiflenir ve birbirine yapıştırılır. Metal levhalar, pamuk, kağıt ve dokuma cam veya karbon fiberler gibi malzemeler plastik bir matrise gömülüdür. İnce kaplamalar, daha kalın koruyucu kaplamalar, bimetalik ve laminatlar, laminer kompozitlerin bazı örnekleridir (Holloway vd. 2005).

Sandviç yapılı kompozitler, hafif bir dolgu çekirdek malzemesine birleştirilmiş ince bir kaplama malzemesi katmanlarından oluşur. Tek tek malzemelerin her biri ya yüksek mukavemete ya da (yönlü) sertliğe sahiptir ve kompozit bu özelliklerin her ikisine de sahiptir. Çekirdek, yüzlere dik düzlemler boyunca bir dereceye kadar kesme sertliği sağlarken deformasyonlara direnen yüzleri ayırır. Tipik yüzey malzemeleri arasında alüminyum alaşımları, elyaf takviyeli plastikler, titanyum, çelik ve kontrplak bulunur. Çekirdek malzemeler genellikle köpükler polimerler, sentetik kauçuklar, inorganik çimento, alüminyum petek ve balsa ağacıdır (Tasdemirci vd. 2004).

3. MATERYAL ve METOT

Çalışmamızda yer alan 3mm kalınlığında alüminyum kompozit panel kullanılarak yoğunlukları farklı cam elyaflar ile takviyeli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Takviye edilen cam elyaflar 100gr/m² ve 300gr/m² özelliklerindeki polimer içerikli reçine ile el yatırma üretim tekniği ile üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler mekanik özelliklerinin tespiti için, üç nokta eğme, çekme ve darbe testleri uygulanmıştır.

3.1 Alüminyum Kompozit Panel

Alüminyum kompozit malzemeler, dayanıklılık ve iyi boyutsal stabilite için bir polietilen (PE) çekirdeğe bağlanmış iki adet önceden boyanmış alüminyum levhadan oluşan üç katmanlı bir sandviç paneldir. Ürünün her iki tarafı ve dekoratif yüzeyi koruyucu kaplama ile kaplanmıştır. Son yıllarda alüminyum kompozit panel yapı malzemelerinin popüleritesi arttı. Alüminyum kompozit panelleri genellikle mimari kaplama, tabela ve dış cephelerde kullanılır. Ayrıca duvar bölmeleri, tavan panelleri ve dekoratif tabelalar gibi iç tasarım uygulamalarında da kullanılırlar. Paneller hafifliği, dayanıklılığı ve tasarımdaki çok yönlülüğü nedeniyle popülerdir (Ganilova vd. 2022).

Tek katmanlı bir alüminyum plakayla karşılaştırıldığında, alüminyum-plastik kompozit panel daha yüksek bir elastik limite sahiptir, bükülme olasılığı daha düşüktür ve aşırı dış kuvvet olmadan haliyle uzun süre iyi düzlüğü korur. Alüminyum-plastik kompozit panel, alüminyum ve hafif olduğundan, bu malzemelerde aynı sağlamlığa ve kalınlığa sahiptir ancak daha küçük ve daha hafiftir (Paktiawal ve Alam 2021).

Alüminyum kompozit panellerin diğer benzer malzemelere göre birçok avantajı vardır. Alüminyum ve plastik kullanımı nedeniyle paneller hafif ve sağlamdır. Ayrıca alüminyum sandviç paneller basit aletlerle çok kolay bir şekilde değiştirilebildiğinden, malzeme geniş şekillendirilebilirlik avantajı sağlar. Bir diğer büyük avantaj ise panellerin yangına dayanıklı olmasıdır. Bunun yanı sıra paneller tamamen geri dönüştürülebilir olduğundan sürdürülebilirdir (Mohaney ve Soni 2018). Alüminyum kompozit panellerin adlandırılmasını çizelge 2.1’de görülmektedir.

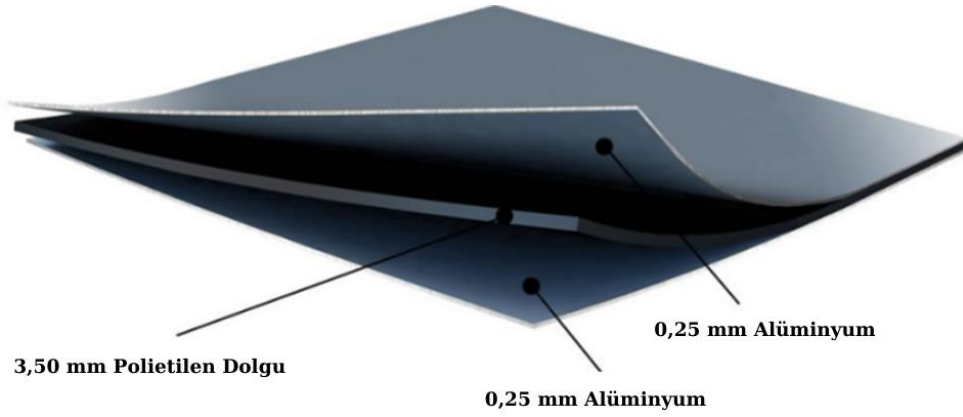
Alüminyum panellerin avantajları:

- Hafif,
- Stabil
- Büyük şekillendirilebilirlik,
- Yangın geciktirici
- Geri dönüştürülebilir

Çizelge 2.1 Alüminyum kompozit panellerin adlandırmaları ve açılımı

Adlandırma	Açılımı	Görüntüsü
TKZ	Takviyesiz Kompozit Panel	
100TKP	100 gr/ mm ² Elyaf Takviyeli Kompozit Panel	
300TKP	300 gr/ mm ² Elyaf Takviyeli Kompozit Panel	

Alüminyum kompozit panel resim 3.1’de görüldüğü üzere, plastik polietilenin bir çekirdeğine bağlanan iki ince, masif alüminyum levhadan oluşur. Alüminyum, plastik çekirdekle birlikte bir tür sandviç oluşturur.



Resim 3. 1 Alüminyum kompozit panel (İnt. Kyn. 1).

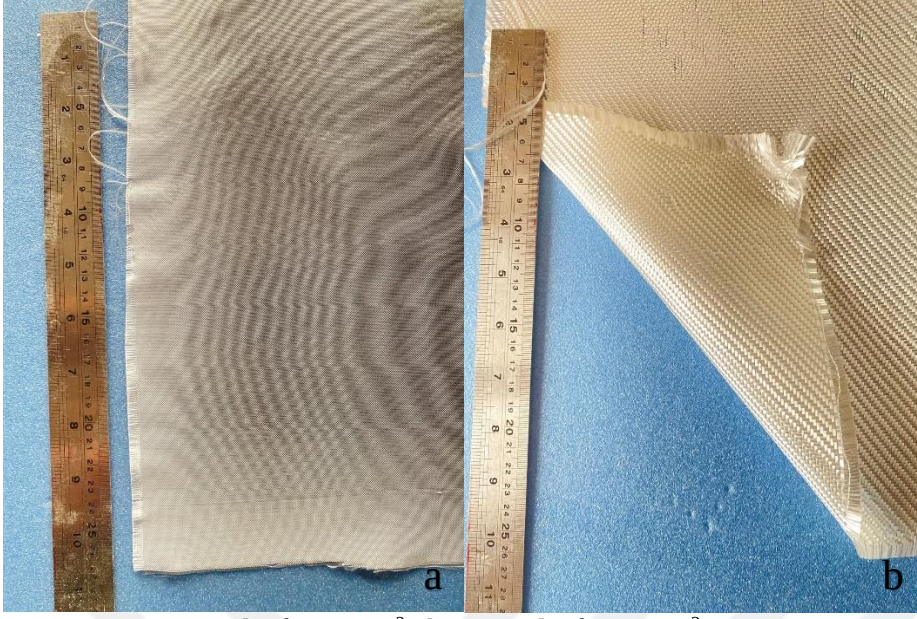
Alüminyum kompozit panel, alüminyum olmayan bir çekirdeğe bağlanarak iki alüminyum levhanın birleşimiyle meydana gelmektedir. Popüler yapı kaplama malzemelerinden biridir. Saray alüminyum fabrikasından numune olarak temin edilen alüminyum kompozit panellerin teknik özellikleri aşağıdaki çizelge 2.2’de yer almaktadır (Ahcene vd. 2020).

Çizelge 2.2 Alüminyum kompozit panelin teknik özellikleri (İnt. Kyn. 1).

SARAY Aluboard 4 mm	Kalınlık	Alaşım	Boya
Üst Yüzey Alüminyum	0,25 mm	3003 H16	Polyester Boyalı
Çekirdek	3,50 mm	Polietilen Dolgu	
Alt Yüzey Alüminyum	0,25 mm	3003 H16	Epoksi Polyester Boya

3.2 Cam Elyaf

Cam filamentten oluşan cam elyaf, kompozit uygulamalar için en popüler malzemelerden olan dokuma cam elyaf kumaşlar ve dokuma fitillerde kullanılır. Korozyon dayanımı, ağırlık avantajı, yüksek mukavemet, yalıtkan özellik ve maliyet uygunluğu nedeniyle endüstriyel alanda kullanımı oldukça geniştir. Resim 3.1 ve Resim 3.2’de tez çalışmasında kullanılan 100gr/mm^2 ve 300gr/mm^2 özelliklerindeki cam elyafların görselleri yer almaktadır (Sathishkumar vd. 2014b).



Resim 3.2 a: Cam Elyaf 100gr/m² / b: Cam Elyaf 300gr/m²

3.3 Epoksi ve Reçine

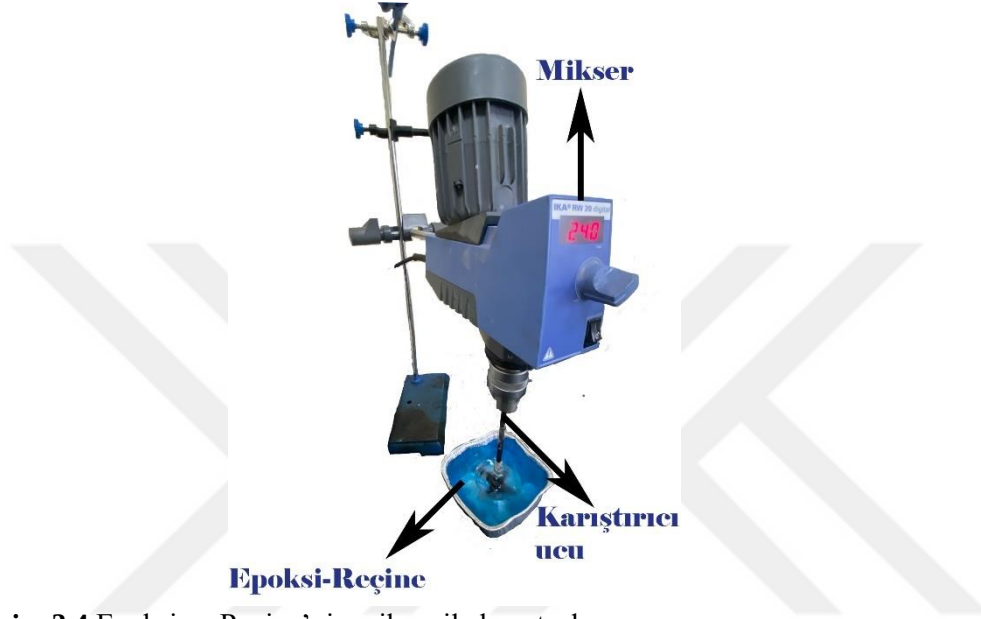
Epoksi reçine, mekanik ve elektriksel direnç özelliklerine sahip bir polimer türüdür. Zemin kaplaması olarak, ulaşımda, deniz araçlarında, metrolarda ve yapıştırıcı malzeme olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Epoksi reçineler en az epoksi grubu içeren monomerlerden yapılır. Takviyeli yapıli malzemelerin üretimi esnasında MGS L285 epoksi malzemesi ve MGS H285 sertleştiricisi karıştırılarak uygulanmıştır.



Resim 3.3 Epoksi ve Reçine.

Epoksi reçine, bir ürünü veya herhangi bir temel bileşeni iyileştirmek için kullanılır. En az iki epoksi grubu içeren bir monomerden oluşan, ısıtıldığında sertleşen, termoset bir polimer çeşididir. Epoksi reçineler farklı alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Epoksi reçine, iki bileşiğin karıştırılmasıyla oluşturulur. Karıştırma işlemi yaklaşık 5 dk boyunca Resim3.4'deki mekanik karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır.



Resim 3.4 Epoksi ve Reçine'nin mikser ile karıştırılması.

3.4 Üretim Yöntemleri

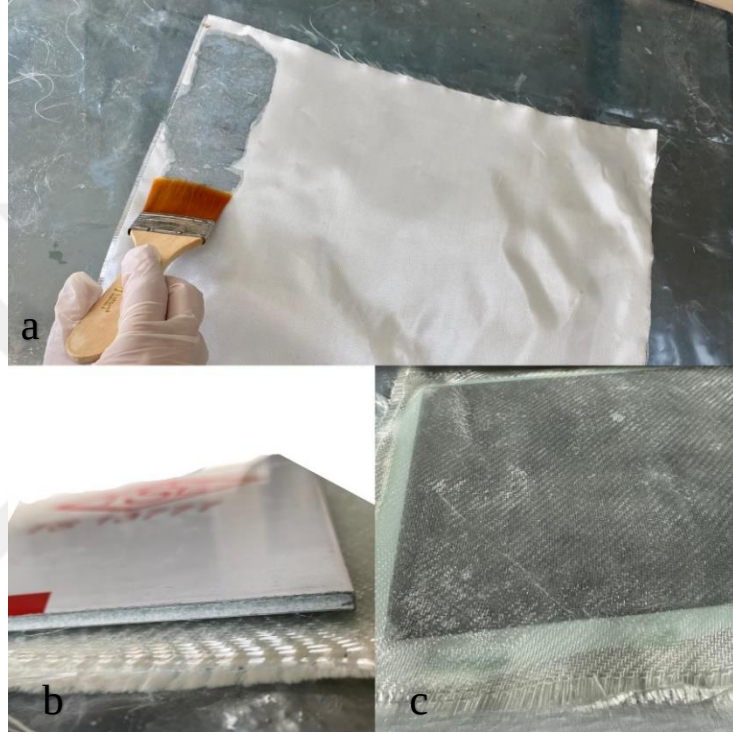
Tez çalışmamızda, elyaf takviyeli alüminyum kompozit panellerin üretiminde el yatırma ve pres ile birleştirme yöntemleri kullanılmıştır.

3.4.1 El Yatırma Yöntemi

El yatırma yöntemi, kompozit malzeme üretiminin en temel ve yaygın kullanılan yöntemlerinden biridir. Bu yöntemin uygulanması için gereken altyapı gereksinimleri oldukça düşüktür ve işlem adımları son derece basittir.

İlk aşamada, sıvı formda bulunan reçine, belirlenmiş bir oran dahilinde sertleştirici madde dahilinde dikkatlice karıştırılır. Karışım, A4 boyutunda cam elyaf kumaş ile alüminyum kompozit panel, reçine ile birleştirilir. Reçine karışımı, fırça ve rulo kullanılarak homojen bir şekilde yayılır ve düzgün bir tabaka oluşturulur.

Bu tabakanın üzerine ikinci bir kat takviye malzemesi yerleştirilir ve işlem, toplamda dört kat cam elyaf takviyesi elde edilene kadar devam eder. Cam elyaf yerleştirildikten sonra, üzerine alüminyum kompozit panel yerleştirilir ve aynı yöntem izlenerek dört kat daha cam elyaf uygulanır. Bu aşamalar tamamlandığında, son katmanlar düzgün bir şekilde yerleştirilmiş ve kompozit yapı istenilen özelliklere sahip olarak elde edilmiş olur. Uygulama işlemi Resim 3.5’de görülmektedir.



Resim 3.5 Kompozit üretim aşamaları **a:** Reçine karışımını cam elyaf üzerine sürülmesi, **b:** Elyaf yapısının üzerine alüminyum kompozit panel yerleştirilmesi, **c:** Son cam elyaf yerleştirilmesi

3.4.2 Pres ile Birleştirme (Kürleme) İşlemi

Kompozit üretim aşamalarında pres kalıplama, kompozit malzemelerin yüksek sıcaklık ve basınç altında belirli bir forma dönüştürülmesi işlemidir. Cam elyaf ve alüminyum kompozit panelin hızlıca ve düzgün bir şekilde birleşebilmesi için sıcaklık presleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, kompozit malzemeler belirli sıcaklık ve basınç altında kalıpta şekillendirilir. Isı, reçinenin sertleşmesini sağlar. Sıcaklık olarak alt ve üst

tablaların sıcaklığı yaklaşık 45 °C civarında sabit tutulmuştur. Basınç değeri ise 3 bar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan pres Resim 3.6’da görülmektedir.



Resim 3.6 Kompozit üretiminde kullanılan sıcak pres

3.5 Test Yöntemleri

Tez çalışmamızda darbe, çekme ve üç nokta eğme testleri kullanılmıştır.

3.5.1 Darbe Test Yöntemleri

Darbe testi, bir malzemenin ani bir şok veya darbe yüküne maruz kaldığında deformasyona direnme yeteneğini belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Birkaç farklı darbe testi türü vardır, ancak hepsi hazırlanmış bir test numunesine bir ağırlıkla vurmaya gerektirir. Bir darbe testi, bir malzemenin ani yüklere dayanma kabiliyetini karakterize etmeye yardımcı olabilir. Malzemeler aynı standartta test edildiği sürece, malzemeler arasındaki darbe dayanımlarının kolayca karşılaştırılmasını sağlar (Xie vd. 2021a).



Resim 3.7 Instron ceast 9350 cihazı.

Ağırlık düşme darbe testi, kompozit malzemelerin darbe dayanıklılığını ve enerji emme kapasitesini değerlendirmek için kullanılan bir test yöntemidir. Bu test, kompozit malzemelerin farklı uygulamalarda maruz kalabileceği ani darbelere karşı nasıl performans gösterdiğini belirlemek için kritiktir.

Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (HÜBTUAM) hazırlanan numuneler üzerinde darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, serbest ağırlık düşürme prensibiyle çalışan CEAST 9350-Fractovis Plus darbe test cihazı kullanılmıştır; bu cihaz Resim 3.7'de gösterilmiştir. Test cihazının vurucu ucu, 20mm çapında çelik yarım küre şeklindedir ve 4,926 kg ağırlığa sahiptir. Testler, oda sıcaklığında (20 °C) gerçekleştirilmiş olup, serbest bırakılan yükseklik 1,657 m ve darbe hızı 5,65 m/s (20,5 km/s) olarak belirlenmiştir. Cihaz, 1800 J gibi yüksek enerji seviyelerinden 2-3 J gibi düşük enerji seviyelerine kadar test yapabilme kapasitesine sahiptir. Testler, ASTM D3763 standardına göre yapılmıştır. Darbe sonrası, vurucu ucun tekrar numuneye düşmesini önlemek amacıyla cihaz, fren sistemi özelliği ile

donatılmıştır. Ayrıca, cihazda bulunan pnömatik düzenek sayesinde numuneler ankastre sınır şartlarında darbe testlerine tabi tutulabilmektedir.

3.5.2 Çekme Testi Yöntemleri

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan mekanik test türlerinden biri çekme testidir. Çekme test cihazı kullanılarak, bir malzemeye bozulana veya kırılana kadar bir çekme kuvveti veya gerilim uygulanır ve strese tepkisi ölçülür. Bu test sayesinde malzemenin mukavemeti belirlenebilir ve onu uzatmak için gereken kuvvet miktarı ölçülebilir (Xie vd. 2021b).



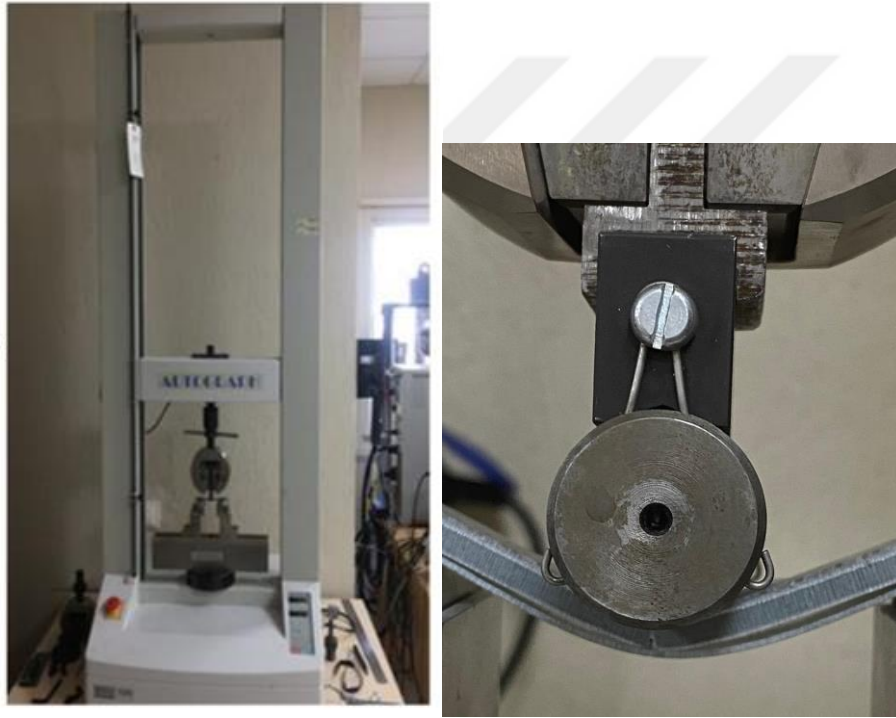
Resim 3.8 Çekme cihazı öncesi görüntüsü

Resim 3.8’de gösterilen ölçülerdeki çekme numuneleri, hassas kesme cihazı kullanılarak kesilerek hazırlanmıştır. Her bir numune için üç ayrı test gerçekleştirilmiş ve ortalama değerler alınmıştır. Çekme testi, malzemenin gerilme özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır. Hazırlanan numunelerin çekme testleri, ASTM D 3039 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm çekme testleri, 1 mm/dakika çekme hızıyla ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Çekme testi sırasında, numune cihazın içine yerleştirilir ve

numune kopana kadar çekme kuvveti uygulanır. Bu süre zarfında, standart kesitteki uzama miktarı ile uygulanan kuvvet arasındaki ilişki kaydedilir.

3.5.3 Üç Nokta Eğme Testi Yöntemleri

Eğme/Eğilme testi, çeşitli malzemelerin mukavemetini ve yapısal bütünlüğünü değerlendirmede çok önemli bir rol oynar. İki noktalı, üç noktalı ve dört noktalı bükme konfigürasyonları dahil olmak üzere çeşitli test kurulumları kullanılarak gerçekleştirilir. Eğme testi, test edilen spesifik malzemeye bağlı olarak çeşitli malzeme özelliklerinin belirlenmesine izin verir (Sun vd. 2021).



Resim 3.9 Üç nokta eğme cihazı işlem sonrası görüntüsü

Bu makineler, malzemelerin sünekliğini, eğilme mukavemetini, kırılma mukavemetini ve kırılmaya karşı direncini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Eğilme testi, sünek malzemelerin çatlama direncini değerlendirmek için özel olarak tasarlanmıştır. Bir bükülme testi sırasında, numuneye, malzemede bulunan herhangi bir kusur veya çatlak vurgulayarak, deformasyona neden olacak şekilde kuvvetler uygulanır. Bu, malzemenin sünekliğinin değerlendirilmesine izin verir. Bu testler, tipik olarak sünek metaller ve metal ürünler üzerinde yapılmaktadır.

Üç nokta eğme testleri, ASTM D7264 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları 125x12 mm olup, Resim 3.9’da testte kullanılan numuneler ve üç nokta eğme test cihazı gösterilmektedir. Numunelerin alt kısmındaki mesnetler arası mesafe 100 mm olarak belirlenmiştir. İlerleme hızı, bilgisayar programına 1 mm/dakika olarak belirlenmiştir.



4. BULGULAR

Tez çalışmamızın bulgular kısmı, darbe testleri, çekme testleri ve üç nokta eğme testleri olmak üzere üç ana başlık altında incelenecektir.

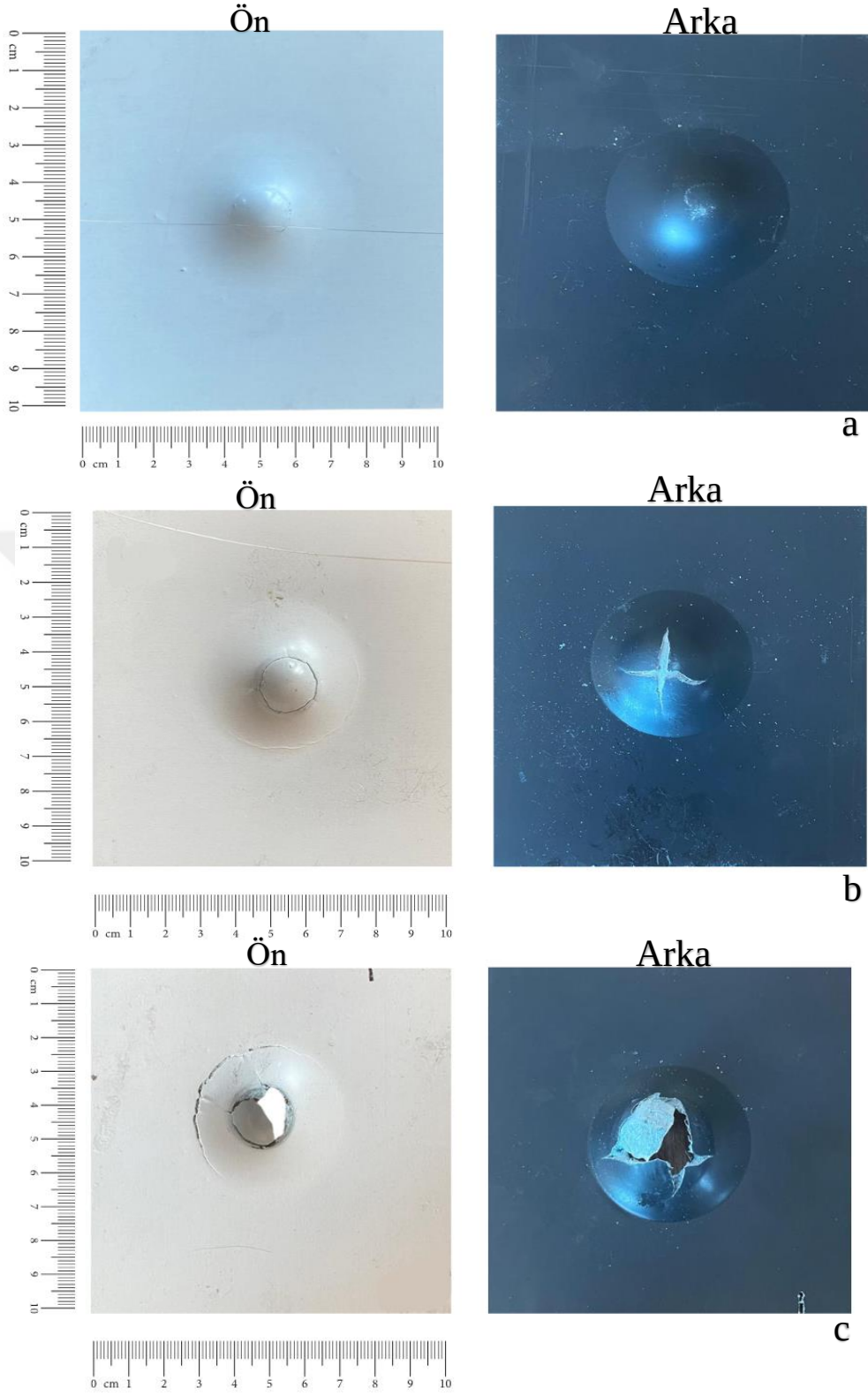
4.1 Darbe Test Sonuçları

Darbe testlerinde, üç farklı tip alüminyum kompozit panel incelenmiştir: Alüminyum kompozit panel, 100 gr/m² cam elyaf takviyeli alüminyum kompozit panel ve 300 gr/m² cam elyaf takviyeli alüminyum kompozit paneldir. Bu karşılaştırmalı inceleme, her malzemenin darbe dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

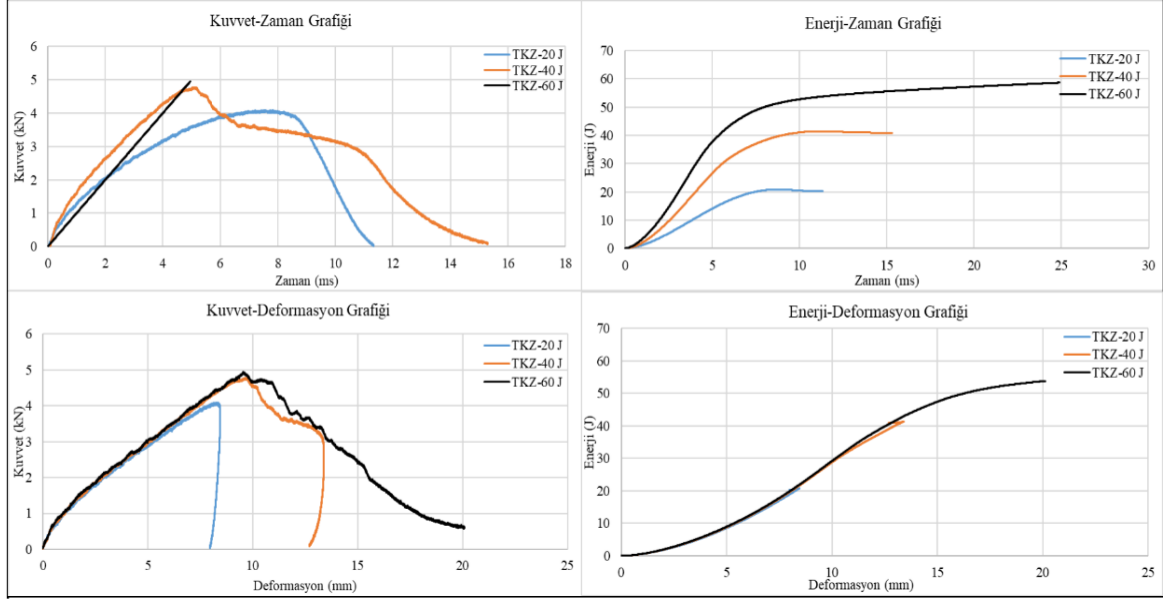
4.1.1 Alüminyum Kompozit Panel'in Basma Dayanımına Etkisi

Darbe test numuneleri 100x100x4 mm ebatlarında kesilmiştir. Resim 4.1'de Alüminyum kompozit panelin numunelerinin darbe test sonuçlarının görüntüsü yer almaktadır. Deneyler Instron / Ceast 9350 hızlı darbe test cihazına göre 2 MHz'e kadar kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, alüminyum kompozit panelin enerji emilim kapasitesi ve deformasyon davranışları üç farklı test koşulunda (TKZ-20 J, TKZ-40 J ve TKZ-60 J) incelenmiştir.

Alüminyum kompozit panelin enerji-deformasyon ilişkisi incelenmiştir. Üç farklı test koşulunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir: Test numune sırası 20, 40, 60 Joule enerjiyle darbe testine maruz kalmıştır. Deney sonucunda 20 J deneylerinde geri sekme, 40 J deneylerinde saplanma, 60 J deneylerinde ise delinme gözlemlenmiştir (Şekil 4.1).



Resim 4.1 Alüminyum Kompozit Panel darbe sonuç görüntüleri



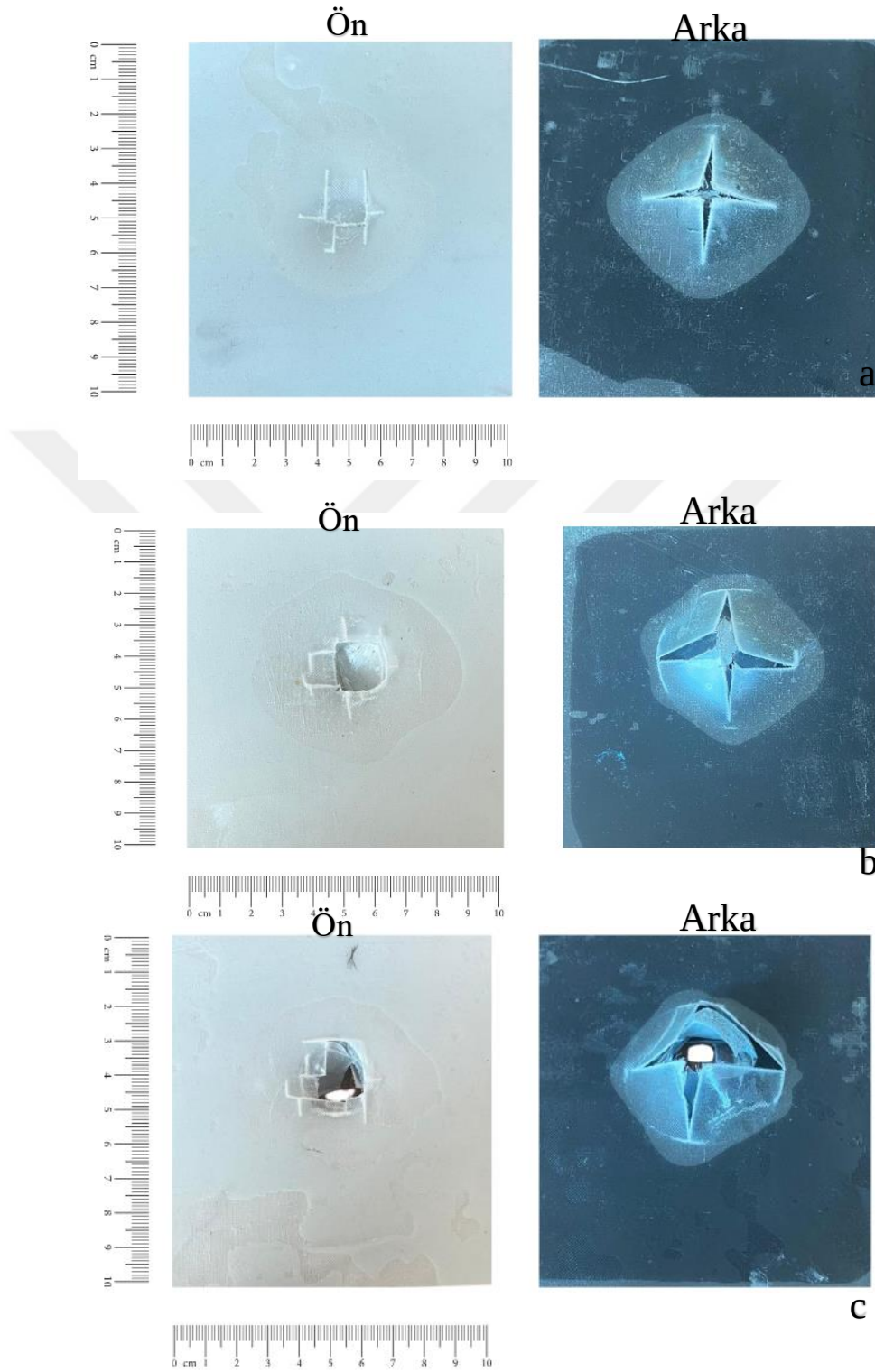
Şekil 4.1 Takviyesiz alüminyum kompozit panellerin kuvvet-zaman, enerji-zaman, kuvvet-deformasyon, enerji-deformasyon grafikleri

Kuvvet-deformasyon eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.1c)’da panelin maksimum kuvvete kadar benzer bir eğri oluştuğu gözlemlenmiştir. Ancak darbe enerjisi arttıkça deformasyon miktarı artmaktadır. Deneyler sonucunda 60 Joule enerjide yaklaşık 20 mm, 40 Joule enerjisinde yaklaşık 13 mm, 20 Joule enerjisinde yaklaşık 8 mm deformasyon oluştuğu gözlemlenmiştir.

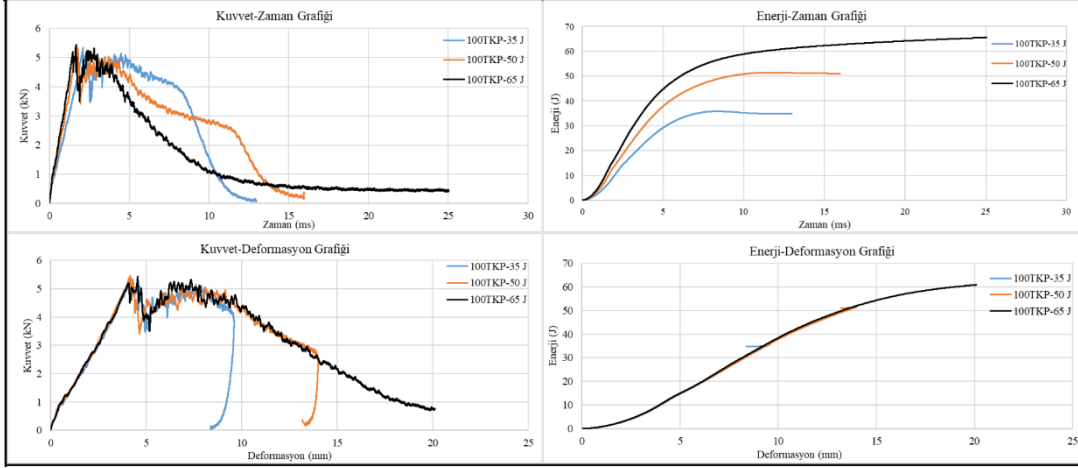
Enerji-Zaman grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.1a ve 4.1b) 20 Joule testlerinde yaklaşık 6 ms’de maksimum enerjiye ulaşmış, ardından kuvvet azalarak yaklaşık 10 ms’de sıfıra düşmüştür. Ayrıca maksimum kuvvet olarak 4 kN olarak görülmüştür. 40 Joule testlerinde yaklaşık 5 ms’de maksimum enerjiye ulaşmış, ardından kuvvet azalarak yaklaşık 14 ms’de sıfıra düşmüştür. 60 joule testlerinde ve yaklaşık 4 ms’de maksimum enerjiye ulaşmış, ardından kuvvet azalarak yaklaşık 12 ms’de sıfıra düşmüştür. 40 J ve 60 J deneylerinde maksimum kuvvet 5 kN olarak ölçülmüştür.

Enerji-Deformasyon eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.1d) 20 J ve 40 J darbe deneylerinde numuneler tüm enerjiyi absorbe etmiş fakat 60 J enerjisinde tüm enerjiyi absorbe edememiştir. Grafik incelendiğinde yaklaşık 58 j enerjiyi absorbe edebildiği görülmüştür.

4.1.2 100gr/mm² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel



Resim 4.2 100gr/mm² Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozit Panel'in A(35j), B(50j), C(65j) darbe altında basma test sonuç görüntüsü



Şekil 4.2 100gr/mm² Elyaf takviyelin kompozit panellerin kuvvet-zaman, enerji-zaman, kuvvet-deformasyon, enerji-deformasyon grafikleri

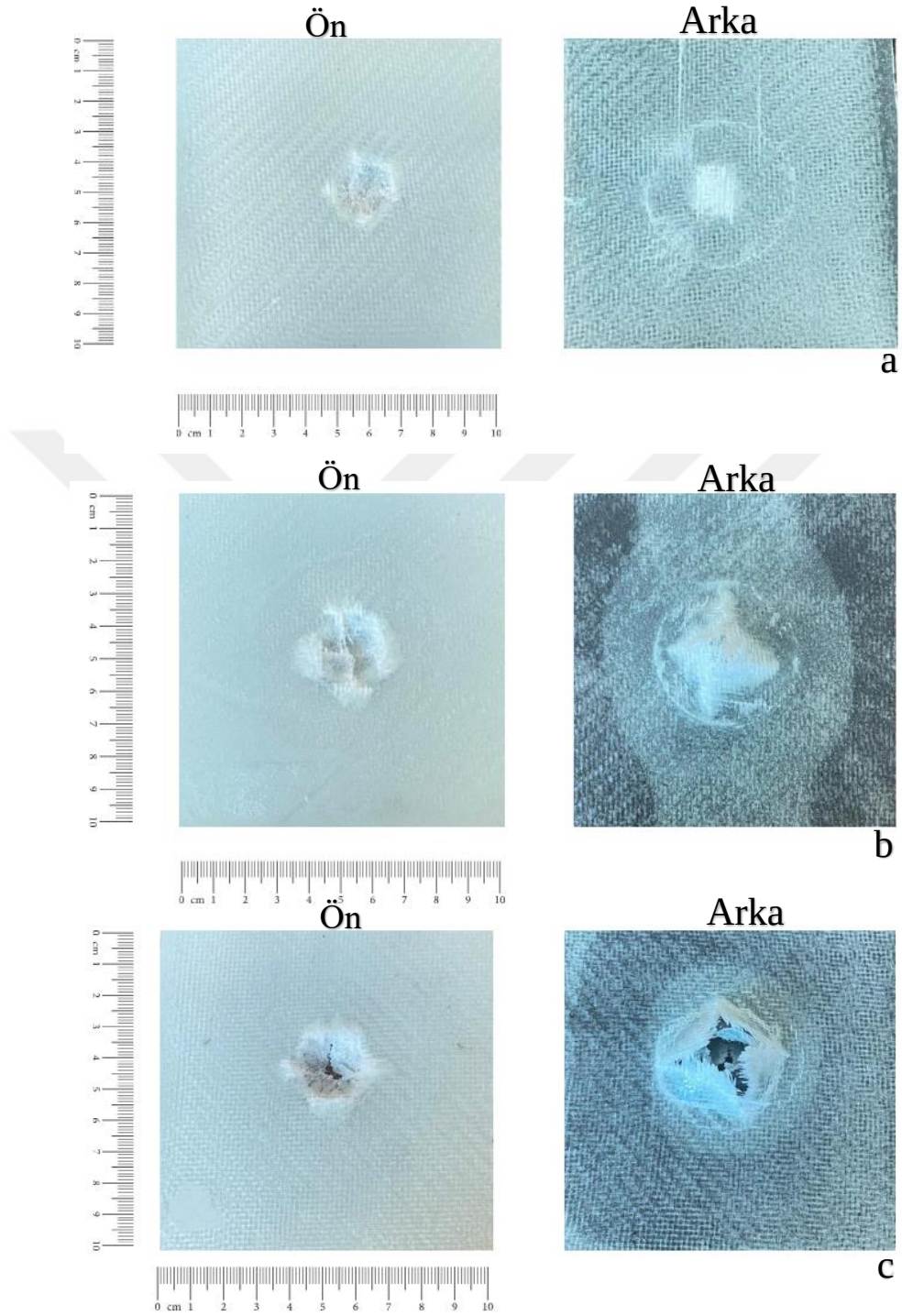
100 gr/mm² yoğunluğunda elyaf takviyeli kompozit panelin kuvvet-deformasyon ilişkisi incelenmiştir. Üç farklı test koşulunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir: Test numuneleri sırası ile, 35, 50, 65 Joule enerjiyle darbe testine maruz kalmıştır. Deney sonucunda 35 J deneylerinde geri sekme, 50 J deneylerinde saplanma, 65 J deneylerinde ise delinme gözlemlenmiştir (Şekil 4.2)

Kuvvet-Deformasyon eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.2c)'da panelin maksimum kuvvete kadar benzer bir eğri oluştuğu gözlemlenmiştir. Ancak darbe enerjisi arttıkça deformasyon miktarı artmaktadır. Deneyler sonucunda 65 Joule enerjide yaklaşık 20 mm, 50 Joule enerjisinde yaklaşık 13 mm, 35 Joule enerjisinde yaklaşık 10 mm deformasyon oluştuğu gözlemlenmiştir.

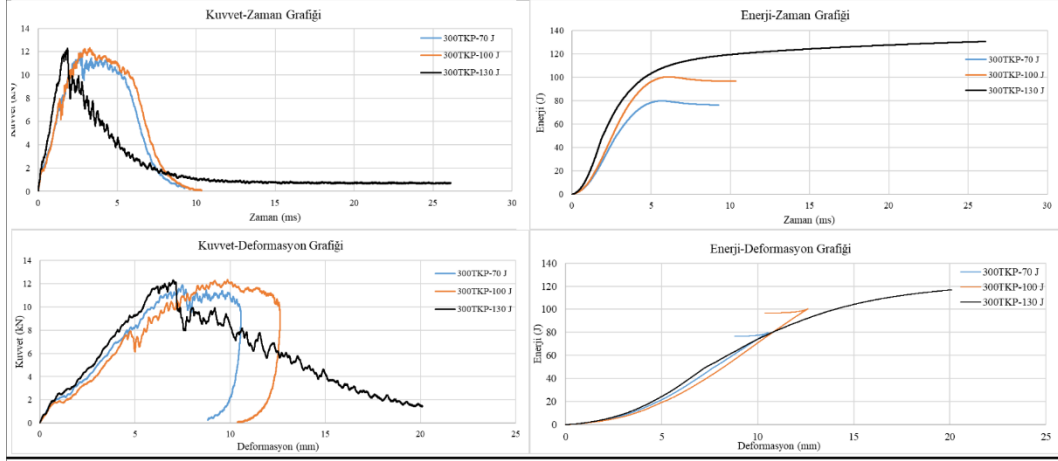
Kuvvet-Zaman ve Enerji-Zaman grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.2a ve 4.2b); 35 Joule testlerinde yaklaşık 6 ms'de maksimum enerjiye ulaşmış, ardından kuvvet azalarak yaklaşık, 12 ms'de sıfıra düşmüştür. 50 Joule testlerinde yaklaşık 10 ms'de maksimum enerjiye ulaşmış, ardından kuvvet azalarak yaklaşık 16 ms'de sıfıra düşmüştür. 65 Joule testlerinde ve yaklaşık 19 ms'de maksimum enerjiye ulaşmıştır. 35 J, 50 J ve 65 J deneylerinde maksimum kuvvet 5,5 kN olarak ölçülmüştür.

Enerji-Deformasyon eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.1d) 35 J ve 50 J darbe deneylerinde numuneler tüm enerjiyi absorbe etmiş fakat 65 J darbe enerjisinde tüm enerjiyi absorbe edememiştir. Grafik incelendiğinde yaklaşık 60 J enerjiyi absorbe edebildiği görülmüştür.

4.1.3 300gr/mm² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel



Resim 4.3 300gr/mm² Cam elyaf takviyeli alüminyum kompozit panel'in A(70j), B(100j), C(130j) darbe altında basma test sonuç görüntüsü



Şekil 4.3 300gr/mm² Elyaf takviyelin kompozit panellerin kuvvet-zaman, enerji-zaman, kuvvet-deformasyon, enerji-deformasyon grafikleri

300gr/mm² yoğunluğunda elyaf takviyeli kompozit panelin kuvvet-deformasyon ilişkisi incelenmiştir. Üç farklı test koşulunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir: Test numuneleri sırası ile, 70, 100, 130 Joule enerjiyle darbe testine maruz kalmıştır. Deney sonucunda 70 J denetlerinde geri sekme, 100 J deneylerinde saplanma, 130 J deneylerinde ise delinme gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).

Kuvvet-Deformasyon eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.2c)'da panelin maksimum kuvvete kadar benzer bir eğri olduğu gözlemlenmiştir. Ancak darbe enerjisi arttıkça deformasyon miktarı artmaktadır. Deneyler sonucunda 130 Joule enerjide yaklaşık 20 mm, 100 Joule enerjisinde yaklaşık 13 mm, 70 Joule enerjisinde yaklaşık 11 mm deformasyon olduğu gözlemlenmiştir.

Kuvvet-Zaman ve Enerji-Zaman grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.3a ve 4.3b); 70 Joule testlerinde yaklaşık 5 ms'de maksimum enerjiye ulaşmış, ardından kuvvet azalarak yaklaşık 9 ms'de sıfıra düşmüştür. 100 Joule testlerinde yaklaşık 6 ms'de maksimum enerjiye ulaşmış, ardından kuvvet azalarak yaklaşık 11 ms'de sıfıra düşmüştür. 130 Joule testlerinde ve yaklaşık 15 ms'de maksimum enerjiye ulaşmıştır. 70 J, 100 J ve 130 J deneylerinde maksimum kuvvet 12 kN olarak ölçülmüştür.

Enerji-Deformasyon eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.1d) 70 J ve 100 J darbe deneylerinde numuneler tüm enerjiyi absorbe etmiş fakat 135 J darbe enerjisinde tüm enerjiyi absorbe

edememiştir. Grafik incelendiğinde yaklaşık 120 J enerjiyi absorbe edebildiği görülmüştür.

4.2 Çekme Test Sonuçları

Hazırlanan deney numunelerinde 3'er takviyesiz panel (TKZ), 100 gr/mm² (100TKP) ve 300 gr/mm² (300TKP) elyaf ile takviyeli kompozit panel olmak üzere toplam 9 adet çekme test numunesi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda Şekil 4.4'de gösterilen Kuvvet-Şekil değişimi grafikleri oluşturulmuştur.



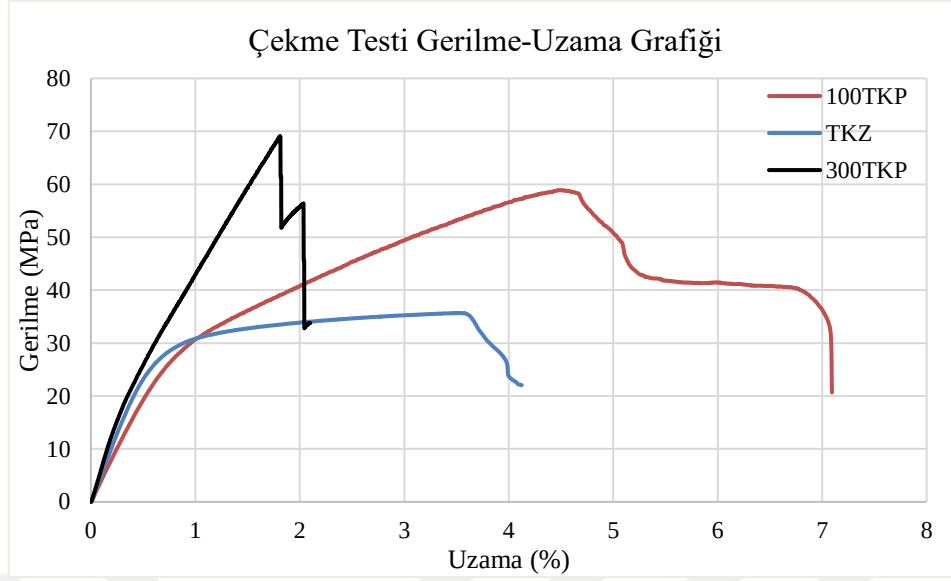
Resim 4.4 Alüminyum Kompozit Panellerin Çekme Testi öncesi görüntüleri

- a. Takviyesiz Alüminyum Kompozit Panel
- b. 100gr/mm² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel
- c. 300gr/mm² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel



Resim 4.5 Alüminyum Kompozit Panellerin Çekme Testi sonrası görüntüleri

- a. Takviyesiz Alüminyum Kompozit Panel
- b. 100gr/mm² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel
- c. 300gr/mm² Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Panel

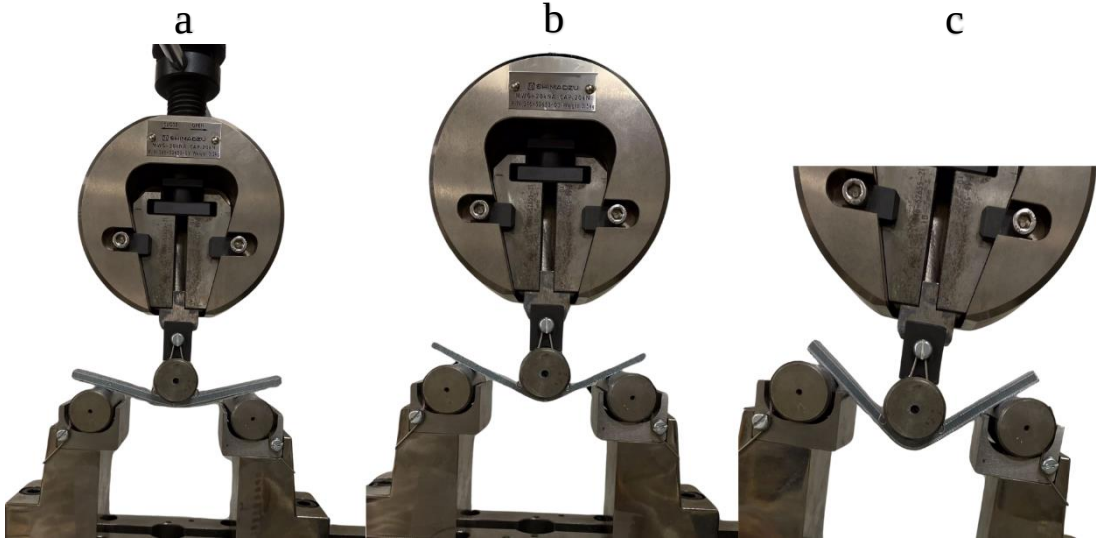


Şekil 4.4 Çekme test sonuç grafiği

Şekil 4.4’de gösterilen grafikte, 100gr/mm², 300gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panel ve alüminyum kompozit panellerden çekme testinde elde edilen veriler doğrultusunda uzama sonuçları incelenmiştir. Bu sonuçlara baktığımızda 300 gr/mm² elyaf kaplamalı kompozit panelin çekme kuvveti daha yüksek olduğu görülmektedir. Alüminyum kompozit panelin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Testleri yapılan numunelerin maksimum gerilme değerleri 300TKP, 100TKP ve TKZ sırasıyla 70 N, 60 N ve 30 N değerlerine ulaşmaktadır. Testlerin maksimum şekil değiştirme değerleri ise 300TKP, 100TKP ve TKZ sırasıyla yaklaşık 2 mm, 4.5 mm ve 3.5 mm değerlerine ulaşmaktadır.

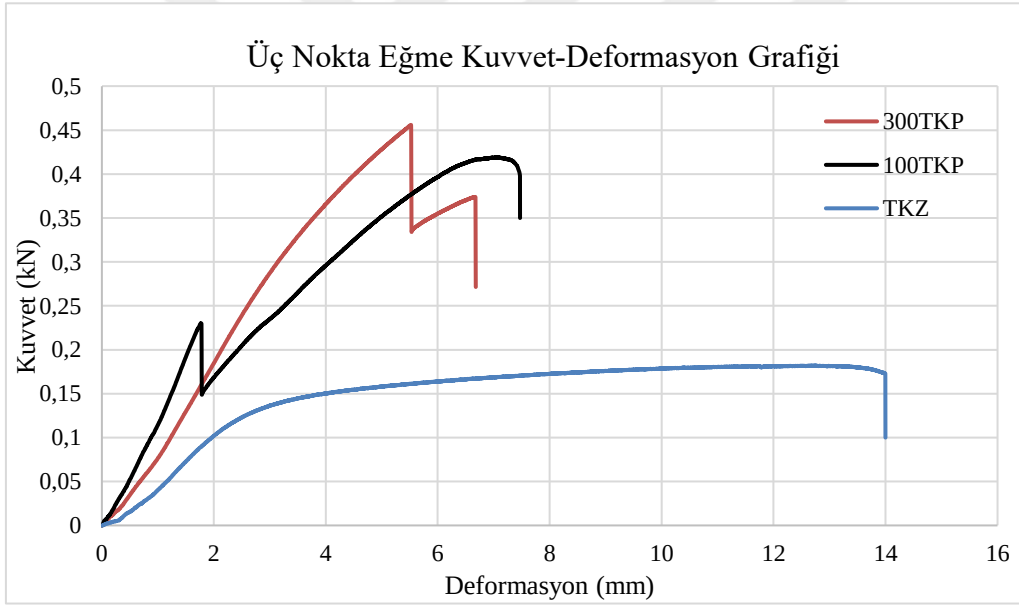
4.3 Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

Yapılan çalışmada üç nokta eğme testi için üç farklı koşulda gerçekleşen, takviyesiz alüminyum panel (TKZ), 100 gr/mm² (100TKP) ve 300 gr/mm² (300TKP) elyaf ile kaplanmış kompozit panele sahip her bir malzemenin üç nokta eğme testlerinin kuvvet-deformasyon ilişkileri incelenmiştir. Her bir deneyden 3’er adet numune test edilmiş ve ortalamaları alınarak maksimum kuvvet ve deformasyon değerleri hesaplanarak grafikler çizilmiştir.



Resim 4.6 Kompozit panellerin üç nokta eğme testi esnasında görüntüleri

- a. Takviyesiz Alüminyum Kompozit Panel,
- b. 100 gr/mm² Takviyeli Kompozit Panel,
- c. 300 gr/mm² Takviyeli Kompozit Panel



Şekil 4.5 Üç nokta eğme test sonuç grafiği

Yapılan üç nokta eğme test sonuçları Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu sonuçlara baktığımızda 300 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panelin eğilme dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir. Sandviç paneller de takviyeli malzemenin yoğunluğunu sandviç kompozitlerin mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkileyen kritik bir bileşendir. Şekil 4.5’de gösterildiği gibi takviyeli yoğunluğu arttıkça malzemenin dayanımı da artmaktadır.

Takviyesiz alüminyum kompozit panel, diğer iki malzemeye kıyasla daha düşük kuvvet değerleri gösterilmektedir. Başlangıçta yaklaşık 0,15 kN kuvvet ile 4 mm deformasyona kadar lineer bir artış sergilemektedir. Daha sonrasında malzeme sünek bir yapı sergilemiş olup sabit kuvvet de kalarak 14 mm deformasyon da deney numunesi kırılmıştır. 100 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panel, yaklaşık 0,23 kN kuvvet ile yaklaşık 18 mm deformasyona kadar lineer hareket etmiştir. Daha sonra deney numunesinin üst elyaf takviyesi kırılarak kuvvette düşüş görülmüştür. Bu noktadan sonra maksimum kuvvet yaklaşık 0,41 kN ve deformasyon ise yaklaşık 7 mm değerlerine ulaşarak malzeme kırılmıştır. 300 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panel ise, yaklaşık 0,45 kN kuvvet ve yaklaşık 5 mm deformasyon değerinde üst elyaf takviyesi kırılması görülmüştür. Bu noktadan sonra kuvvet düşerek malzeme kırılmıştır.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı yoğunluk ve enerji seviyelerinde elyaf takviyeli kompozit paneller ve alüminyum kompozit panellerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda, panellerin kuvvet-deformasyon, enerji-deformasyon ve kuvvet-zaman, gerilme-şekil değişimi ve kuvvet-şekil değişimi ilişkileri değerlendirilmiştir.

Takviyesiz alüminyum kompozit panellerin (TKZ), Enerji-Deformasyon grafiği incelendiğinde, 20 J ve 40 J darbe testlerinde numune enerjisinin tamamını absorbe etmiş fakat 60 J darbe testinde enerjinin yaklaşık 58 J absorbe etmiş olduğu görülmüştür.

Kuvvet-Deformasyon grafiğinde, 60 Joule enerjide yaklaşık 20 mm, 40 Joule enerjisinde yaklaşık 13 mm, 20 Joule enerjisinde yaklaşık 8 mm deformasyon olduğu gözlemlenmiştir. 20 J deneylerinde geri sekme, 40 J deneylerinde saplanma, 60 J deneylerinde ise delinme gözlemlenmiştir.

Enerji-Zaman grafiklerinde ise, maksimum kuvvetin 5 kN olarak tespit edilmiştir. Bunu sebebi bu kuvvetten sonra malzemenin dayanamaması sebebi ile delinmesinden kaynaklanmaktadır. Deneylerde kuvvetin maksimum değere ulaştıktan sonra azalması, uygulanan enerji miktarına bağlı olarak değişmektedir. Deneylerde enerjiye bağlı olarak 5 ms civarında maksimum seviyeye çıkmış sonrasında malzemenin deformasyonu ile birlikte sıfıra düşmüştür.

100 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panellerin (100TKP) Kuvvet-Deformasyon grafiği incelendiğinde, 35 J deneylerinde geri sekme, 50 J deneylerinde saplanma, 65 J deneylerinde ise delinme gözlemlenmiştir. Deformasyon kapasiteleri sırasıyla 10 mm, 12mm ve 20 mm olarak tespit edilmiştir.

Enerji-Deformasyon grafiği incelendiğinde, 35 J ve 50 J darbe deneylerinde numuneler tüm enerjiyi absorbe etmiş fakat 65 J darbe enerjisinde tüm enerjiyi absorbe edememiş, 60 J enerjiyi absorbe edebildiği görülmüştür.

100 gr/mm² cam elyafa takviyeli numunelerin Kuvvet-Zaman ve Enerji-Zaman grafiklerinde ise, enerji emilim süreleri 35 J testinde 12 ms, 50 J testinde 14 ms ve 65 J testinde ise 18 ms olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla enerji miktarı arttıkça absorbe sürelerinin de arttığı görülmektedir.

300 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panellerin (300TKP) Kuvvet-Deformasyon grafiği incelendiğinde, 130 J, 100 J ve 70 J enerjide sırasıyla yaklaşık 20 mm, 13 mm ve 11 mm deformasyon olduğu gözlemlenmiştir.

300 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panellerin (300TKP) Enerji-Deformasyon grafiğinde 70 J ve 100 J darbe deneylerinde numuneler tüm enerjiyi absorbe etmiş fakat 135 J darbe enerjisinde tüm enerjiyi absorbe edememiş yaklaşık 120 J enerjiyi absorbe edebildiği görülmüştür.

300 gr/mm² elyaf kaplamalı kompozit panellerin (300TKP) Kuvvet-Zaman ve Enerji-Zaman grafiklerinde 70 J, 100 J ve 130 J enerji testlerinde maksimum enerjiye sırasıyla yaklaşık 5 ms, 6 ms ve 15 ms'de ulaşmıştır. Üç farklı enerji seviyelerinde maksimum kuvvet 12 kN olarak ölçülmüştür.

100 gr/mm² ve 300 gr/mm² yoğunluğunda elyaf takviyeli kompozit paneller ile takviyesiz alüminyum kompozit panellerin mekanik özellikleri, üç nokta eğme ve çekme testlerinden elde edilen sonuçlar, malzeme yoğunluğunun ve kompozit türünün mekanik performans üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan üç nokta eğme testi ve çekme testlerinde 300 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panel, 100 gr/mm² elyaf takviyeli kompozit panele ve takviyesiz alüminyum kompozit panele kıyasla yüksek kuvvet ve gerilme değerlerine ulaşmıştır. Bu nedenle panel üzerine kaplanan elyafın yoğunluğu doğrudan numunelerin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Dolayısıyla elyaf yoğunluğu doğrudan numunelerin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Dolayısıyla elyaf yoğunluğu ile mukavemet arasında doğru orantı olup yoğunluk arttıkça mukavemette buna bağlı olarak artmaktadır.

Takviyesiz kompozit panel, 100 gr/mm² ve 300 gr/mm² yoğunluğunda elyaf takviyeli kompozit paneller elde edilen sonuçlar, uygulanan enerji miktarının artmasıyla maksimum kuvvetin ve deformasyon kapasitelerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, elyaf takviyeli kompozit panellerde enerji absorbe sürelerinin, uygulanan enerji miktarına bağlı olarak uzadığı da tespit edilmiştir.

Elyaf takviyeli kompozit panellerin yüksek enerji absorbe kapasitesi ve dayanıklılığı, bu malzemelerin çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanım potansiyelini artırmaktadır. Alüminyum kompozit paneller ise belirli bir deformasyon seviyesine kadar benzer enerji emilim kapasitesine sahip olup, hafif yapı elemanları ve enerji emici sistemlerde önemli avantajlar sunmaktadır.

Yapılan çalışma sonucunda mühendislik uygulamalarında doğru malzeme seçimi ve tasarım kararları için önemli bilgiler sağlamaktadır. Elyaf takviyeli kompozit panellerin yüksek enerji absorbe kapasitesi ve dayanıklılığı, bu malzemelerin çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanım potansiyelini artırmaktadır. Takviyesiz alüminyum kompozit paneller ise hafif yapılar ve enerji emici sistemlerde önemli avantajlar sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, bu panellerin performansını daha da optimize etmek ve farklı uygulamalardaki kullanımını genişletmek için yol gösterici olacaktır. Bu çalışma, takviyesiz alüminyum ve elyaf takviyeli kompozit panellerin mühendislik uygulamalarındaki potansiyelini ortaya koyarak, gelecekteki araştırmalara ve uygulamalara ışık tutmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Ahcene A S, Kamel B, Hocine M, 2020, Mechanical fatigue test of aluminium composite panel (ACP) with Aramid Nida-Core under cyclic bending, *Strojnický Casopis*, 70(2), 1-10.
- Alves Fidelis M, Pereira T, Gomes O, De Andrade Silva, F, Filho T, 2013, The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers, *Journal of Materials Research and Technology*, 2(2), 149-157.
- Ardanuy M, Claramunt J, Toledo Filho R D, 2015, Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research, *Construction and Building Materials*, 79, 115-128.
- Balea A, Fuente E, Blanco A, Negro C, 2019, Nanocelluloses: Natural-based materials for fiber-reinforced cement composites, A critical review, *Polymers*, 11(3), MDPI AG.
- Barabash V, Akiba M, Bonal J P, Federici G, Matera R, Nakamura K, vd., 1998, Carbon fiber composites application in ITER plasma facing components, *Journal of Nuclear Materials*, 1-11.
- Bijelic-Donova J, Garoushi S, Lassila L V J, Keulemans F, Vallittu P K, 2016, Mechanical and structural characterization of discontinuous fiber-reinforced dental resin composite, *Journal of Dentistry*, 52, 70-78.
- Chukov D, Nematulloev S, Zadorozhnyy M, Tcherdyntsev V, Stepashkin A, Zhrebtsov D, 2019, Structure, mechanical and thermal properties of polyphenylene sulfide and polysulfone impregnated carbon fiber composites, *Polymers*, 11(4).
- De Zanet A, Casalegno V, Salvo M, 2021, Laser surface texturing of ceramics and ceramic composite materials, A review, *Ceramics International*, 47(6), 7307-7320.
- Dickson A N, Ross K A, Dowling D P, 2018, Additive manufacturing of woven carbon fibre polymer composites, *Composite Structures*, 206, 637-643.
- Du Y, Li D, Liu L, Gai G, 2018, Recent achievements of self-healing graphene/polymer composites, *Polymers*, 10(2), MDPI AG.
- Emilian I, C, Oancea G, Constantin N, 2017, Impact testing on composite panels of fiberglass, carbon and Kevlar-carbon: A comparison and validation study, *Materials and Design*, 700-707.

- Fernandes R R, van de Werken N, Koirala P, Yap T, Tamijani A Y, Tehrani M, 2021, Experimental investigation of additively manufactured continuous fiber reinforced composite parts with optimized topology and fiber paths, *Additive Manufacturing*, 44.
- Ferreira F, Cividanes L, Gouveia R, Lona L, 2019, An overview on properties and applications of poly(butylene adipate-co-terephthalate), PBAT based composites, *Polymer Engineering and Science*, 59(s2), E7-E15.
- Ferreira F V, Lona L M F, Pinheiro I F, de Souza S F, Mei L H I, 2019, Polymer composites reinforced with natural fibers and nanocellulose in the automotive industry: A short review, *Journal of Composites Science*, 3(2).
- Ganilova O A, Cartmell M P, Kiley A, 2022, Application of a dynamic thermoelastic coupled model for an aerospace aluminium composite panel, *Composite Structures*, 288.
- Ghosh T, Kim H C, De Kleine R, Wallington T J, Bakshi B R, 2021, Life cycle energy and greenhouse gas emissions implications of using carbon fiber reinforced polymers in automotive components: Front subframe case study, *Sustainable Materials and Technologies*, 28.
- Golewski G L, 2017, Effect of fly ash addition on the fracture toughness of plain concrete at third model of fracture, *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(5), 613-620.
- Guler O, Bagci N, 2020, A short review on mechanical properties of graphene reinforced metal matrix composite, *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6808-6833.
- Harris B, 1999, Engineering composite materials, *Engineering Materials*, 1-193,
- Holloway C L, Sarto M S, Johansson M, 2005, Analyzing carbon-fiber composite materials with equivalent-layer models, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 47(4), 833-844.
- Hou Z, Tian X, Zheng Z, Zhang J, Zhe L, Li D, vd., 2020, A constitutive model for 3D printed continuous fiber reinforced composite structures with variable fiber content, *Composites Part B: Engineering*, 189.
- Hsissou R, Seghiri R, Benzekri Z, Hilali M, Rafik M, Elharfi A, 2021, Polymer composite materials: A comprehensive review, *Composite Structures*, 262.

- Huang S, Fu Q, Yan L, Kasal B, 2021, Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials, A critical review, *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1441-1484.
- Jadhav A R, Jagtap A P, Jagtap N G, Surve R S, Kaldate A P, 2022, Vibration analysis of composite internal door panel of a car, *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 10.
- Karimi A, Rahmatabadi D, Baghani M, 2024, Various FDM mechanisms used in the fabrication of continuous-fiber reinforced composites: A review, *Polymers*, 16(6).
- Lebreton L C M, Van Der Zwet J, Damsteeg J W, Slat B, Andrady A, Reisser J, 2017, River plastic emissions to the world's oceans, *Nature Communications*, 8.
- Linul E, Lell D, Movahedi N, Codrean C, Fiedler T, 2019, Compressive properties of zinc syntactic foams at elevated temperatures, *Composites Part B: Engineering*, 167, 122–134.
- Liu G, Xiong Y, Zhou L, 2021, Additive manufacturing of continuous fiber reinforced polymer composites: Design opportunities and novel applications. *Composites Communications*, 27.
- Liu W, Ke Y, Sugio K, Liu X, Guo Y, Sasaki G, 2022, Microstructure and mechanical properties of Al₂O₃-particle-reinforced Al-matrix composite sheets produced by accumulative roll bonding (ARB), *Materials Science and Engineering: A*, 850.
- Lotfi A, Li H, Dao D V, Prusty G, 2021, Natural fiber-reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(2), 238–284.
- Mehdikhani M, Gorbatiikh L, Verpoest I, Lomov S V, 2019, Voids in fiber-reinforced polymer composites: A review on their formation, characteristics, and effects on mechanical performance, *Journal of Composite Materials*, 53(12), 1579–1669.
- Mohaney P, Soni E G, 2018, Aluminium Composite Panel as a Facade Material, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 55(2).
- Movahedi N, Linul E, 2017, Quasi-static compressive behavior of the ex-situ aluminum-alloy foam-filled tubes under elevated temperature conditions, *Materials Letters*, 206, 182–184.

- Oladele I O, Omotosho T F, Adediran A A, 2020, Polymer-Based Composites: An Indispensable Material for Present and Future Applications, *International Journal of Polymer Science*, 2020.
- Paktiawal A, Alam M, 2021, An experimental study on effect of aluminum composite panel waste on performance of cement concrete, *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 83–98.
- Pegoretti A, Fabbri E, Migliaresi C, Pilati F, 2004, Intraply and interply hybrid composites based on E-glass and poly(vinyl alcohol) woven fabrics: Tensile and impact properties, *Polymer International*, 53(9), 1290–1297.
- Petersen R C, 2005, Discontinuous-fiber-reinforced composites above critical length, *Journal of Composite Materials*.
- Pickering K L, Efendy M G A, Le T M, 2016, A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112.
- Qiao Y, Fring L D, Pallaka M R, Simmons K L, 2023, A review of the fabrication methods and mechanical behavior of continuous thermoplastic polymer fiber–thermoplastic polymer matrix composites, *Polymer Composites*, 44(2), 694–733.
- Rani M, Choudhary P, Krishnan V, Zafar S, 2021, A review on recycling and reuse methods for carbon fiber/glass fiber composites waste from wind turbine blades, *Composites Part B: Engineering*, 215.
- Redhwi H H, Siddiqui M N, Andrady A L, Furquan S A, Hussain S, 2023, Durability of High-Density Polyethylene (HDPE) and Polypropylene (PP) Based Wood-Plastic Composites Part 1: Mechanical Properties of the Composite Materials, *Journal of Composites Science*, 7(4).
- Salazar A, Rodriguez A, Vargas N, Vergara L, 2021a, Improving classification of composite materials measured by ultrasounds using classifier combination, *Proceedings, 2021 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2021*, 1582–1587.
- Salazar A, Rodriguez A, Vargas N, Vergara L, 2021b, Improving classification of composite materials measured by ultrasounds using classifier combination, *Proceedings, 2021 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2021*, 1582–1587.

- Sathishkumar T P, Satheeshkumar S, Naveen J, 2014a, Glass fiber-reinforced polymer composites, A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(13), 1258–1275.
- Sathishkumar T P, Satheeshkumar S, Naveen J, 2014b, Glass fiber-reinforced polymer composites, A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(13), 1258–1275.
- Scaffaro R, Maio A, Lopresti F, 2018, Physical properties of green composites based on poly-lactic acid or Mater-Bir filled with *Posidonia Oceanica* leaves, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 112, 315–327.
- Şenol B, 2023, Farklı Yoğunluklardaki Elyaf Takviyeli Polimer Köpük Çekirdekli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi.
- Srinivasan T, Suresh G, Santhoshpriya K, Chidambaram C T, Vijayakumar K R, Munaf A, 2021, Experimental analysis on mechanical properties of banana fibre/epoxy (particulate) reinforced composite, *Materials Today: Proceedings*, 45, 1285–1289.
- Stelea L, Filip I, Lisa G, Ichim M, Drobotă M, Sava C, vd., 2022, Characterisation of hemp fibres reinforced composites using thermoplastic polymers as matrices, *Polymers*, 14(3).
- Sun M, Sun X, Wang Z, Chang M, Li H, 2018, The influence of shape memory alloy volume fraction on the impact behavior of polymer composites, *Polymers*, 10(11).
- Sun Z, Chen H, Song Z, Liu H, Cui R, Guo X, vd., 2021, Three-point bending properties of carbon fiber/honeycomb sandwich panels with short-fiber tissue and carbon-fiber belt interfacial toughening at different loading rates, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 143.
- Tasdemirci A, Hall I W, Gama B A, Guden M, 2004, Stress wave propagation effects in two-and three-layered composite materials, *Journal of Composite Materials*, 38(12), 995–1009.
- Tekalur S A, Shukla A, Shivakumar K, 2008, Blast resistance of polyurea based layered composite materials, *Composite Structures*, 84(3), 271–281.
- Väer K, Anton J, Klauson A, Eerme M, Õunapuu E, Tšukrejev P, 2017, Material characterization for laminated glass composite panel, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 81.

- Wang J, Potter K D, Hazra K, Wisnom M R, 2012, Experimental fabrication and characterization of out-of-plane fiber waviness in continuous fiber-reinforced composites, *Journal of Composite Materials*, 46(17), 2041–2053.
- Xie C, Cao M, Khan M, Yin H, Guan J, 2021a, Review on different testing methods and factors affecting fracture properties of fiber reinforced cementitious composites, *Construction and Building Materials*, 273.
- Xie C, Cao M, Khan M, Yin H, Guan J, 2021b, Review on different testing methods and factors affecting fracture properties of fiber reinforced cementitious composites, *Construction and Building Materials*, 273.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://saray.com/grup-faaliyetlerimiz/aluminyum-kompozit-panel/urunler/saray-aluboard-3mm/>, 05.02.2024