

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AL7075 TAKVİYELİ TABAKALI HİBRİT KOMPOZİT PLAKANIN
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burhan TEPEHAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr İsmail Yasin SÜLÜ

Mayıs 2023

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AL7075 TAKVİYELİ TABAKALI HİBRİT KOMPOZİT PLAKANIN
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burhan TEPEHAN
36193618078

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr İsmail Yasin SÜLÜ

Mayıs 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca zamanını, desteğini, bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemedi den yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Doç.Dr İsmail Yasin SÜLÜ'ye;

Tezin uygulama aşamasında (Proje Kodu: FYL-2021-2656) projeye vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı İnönü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne;

Yaşamım boyunca desteklerini benden esirgemeyen, maddi ve manevi her zaman yanımda bulunan, bu yaşlara gelmemde büyük emekleri ve fedakarlıkları olan annem ve babama;

İş yerindeki teçhizat ve labaratuvarı kullanma imkanı sunan Çalık Denim Şirketine;

Yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yanımda olan, bu süreçte tüm zorlukların üstesinden beraber geldiğimiz kıymetli arkadaşlarım Kadir DOĞAN ve Emine ÇETİNKAYA'ya;

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Al7075 Takviyeli Tabakalı Hibrit Kompozit Plakanın Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Burhan TEPEHAN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. GENEL BİLGİLER	5
3.1 Malzeme nedir?	5
3.2 Metal Malzemeler	5
3.3.1 Alüminyum tarihçesi	6
3.3.2 Alüminyum ve alaşımları	6
3.3.5 Alüminyum 7075-T6 alaşımı	7
3.4 Kompozit Malzemeler	8
3.4.1 Kompozit malzemelerin tarihçesi	9
3.4.2 Kompozit malzemelerin yapısı.....	11
3.4.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	12
3.4.3 Karma (Hibrid) kompozitler	13
3.5 Kompozit Malzemelerin Üretim Metodları	14
3.5.1 Vakum infüzyon yöntemi (VIF).....	14
3.6 Mekanik testler	16
4. MATERYAL VE YÖNTEM	18
4.1 Deneyler Yararlanılan Malzemeler.....	18
4.1.1 Karbon fiber kumaş	18
4.1.2 Cam fiber kumaş.....	19
4.1.3 Al7075-T6 alaşımı.....	20
4.1.4 MGS laminasyon epoksi reçine L160	21
4.1.5 MGS laminasyon epoksi sertleştirici H160	22
4.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihaz ve Gereçler.....	23
4.2.1 Vakum infüzyon pompası.....	23
4.2.2 Hassas terazi SF-400	23
4.2.3 Aramid(kevlar) makası ec-cutter elektrikli	24
4.2.4 Üç nokta eğme cihazı	24
4.2.5 Kül fırını	25
4.2.6 Basma Cihazı.....	26
4.2.7 Çekme Cihazı	27
4.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Yöntem.....	28
4.3.1 Vakum infüzyon yöntemi	28
4.4 Kompozit Plakaların Dizilimi ve Üretimi.....	30
4.4.1 Hibrid kompozit plakalar için belirlenen dizilimler	30
4.4.2 Kompozit plakaların üretimi.....	31

5. DENEYSEL BULGULAR	35
5.1 Üç Nokta Eğme Testi.....	35
5.1.1 Birinci dizilim (KF-CF-KF-AL7075-KF-CF-KF)	35
5.1.2 İkinci dizilim (CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF).....	37
5.1.3 Üçüncü dizilim (CF-KF-KF-AL7075-KF-KF-CF)	38
5.1.4 Dördüncü dizilim (KF-CF-CF-AL7075-CF-CF-KF).....	39
5.2 Yakma Testi.....	42
5.2.1 Karbon ve cam fiber tabakaların yakma testi	42
5.2.2 Karbon ve cam fiber tabakanın fiber oranı hesaplanması	44
5.3 Atış Testi.....	45
5.4 Basma Testi	48
5.4.1 Karbon plaka.....	48
5.4.2 Cam plaka	49
5.5 Çekme Testi	51
5.5.1 Karbon plaka	52
5.5.2 Cam plakası	54
5.5.3 Alüminyum Numunesi	55
5.5.4 Hibrid kompozit plaka (HKP) numuneleri	58
5.5.4.1 Birinci dizilim (KF-CF-KF-AL7075-KF-CF-KF)	59
5.5.4.2 İkinci dizilim (CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF).....	60
5.5.4.3 Üçüncü dizilim (CF-KF-KF-AL7075-KF-KF-CF)	62
5.5.4.4 Dördüncü dizilim (KF-CF-CF-AL7075-CF-CF-KF)	63
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Alüminyumun kimyasal özellikleri	6
Çizelge 3.2: Alüminyum 7075-T6 Kimyasal Bileşimi	8
Çizelge 3.3: Matris ve takviye elemanın temel görevleri.	12
Çizelge 3.4: Mekanik test standartları ve teknik resimleri.....	16
Çizelge 4.1: Karbon fiber teknik özellikleri	19
Çizelge 4.2: Cam fiberin teknik özellikleri	20
Çizelge 4.3: Al7075 –T6 malzemesinin teknik özellikleri	20
Çizelge 4.4: Laminasyon Reçinesi MGS L160 özellikleri	21
Çizelge 4.5: Sertleştirici özellikleri: H160.....	22
Çizelge 4.6: Reçine-sertleştiricinin oranının hesaplanması	23
Çizelge 4.7: Tabaka dizimleri	30
Çizelge 5.1: HKP'ların üç nokta eğme deneyi maximum kuvvet değerleri	40
Çizelge 5.2: HKP'ların üç nokta eğme deneyi maximum sehim değerleri.....	41
Çizelge 5.3: Karbon ve cam fiber numunelerin yakma öncesi ve sonrası teknik değerleri	44
Çizelge 5.4: Teorik ve gerçek fiber oranları	44
Çizelge 5.5: HKP'ların atış deneyi sonrası delinme durumu	47
Çizelge 5.6: Basma deneyi maksimum gerilme değerleri (MPa)	50
Çizelge 5.7: Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimi (mm/mm)	51
Çizelge 5.8: Karbon, cam ve alüminyum plakanın maksimum gerilme değerleri (MPa)...	56
Çizelge 5.9: Karbon, cam ve alüminyum plakanın birim şekil değişimi (mm/mm).....	57
Çizelge 5.10: HKP'ların çekme deneyi maksimum kuvvet değerleri (N)	64
Çizelge 5.11: HKP'ların çekme deneyi maksimum uzama değerleri (mm)	65
Çizelge 5.12: HKP'ların delaminasyon açısından uygunluk durumları.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Doğal kompozitler a)ağaç yapısı b) kemiğin görünümü	10
Şekil 3.2: Kompozit Malzeme Yapısı	11
Şekil 3.3: Kompozitlerin ana örgü yapısına göre sınıflandırılması	13
Şekil 3.4: Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması	13
Şekil 3.5: 3 ayrı hibrid yapı; (a) göbek-kabuk, (b) tabakalı-tabakalı, (c) kare-kare	14
Şekil 3.6: Vakum İnfüzyon yöntemi şeması	15
Şekil 4.1: Karbon Fiber kumaşının görüntüsü	18
Şekil 4.2: Cam fiber kumaşının görüntüsü.....	19
Şekil 4.3: AL7075-T6 Alüminyum alaşımının kesilmiş görüntüsü	20
Şekil 4.4: Reçine LR160	21
Şekil 4.5: Sertleştirici H160	22
Şekil 4.6: Görsel a) Vakum infüzyon seti b) Vakum infüzyon pompası	23
Şekil 4.7: Hassas Terazî SF-400	24
Şekil 4.8: Aramid(kevlar) makası ec-cutter elektrikli.....	24
Şekil 4.9: Üç nokta eğme cihazının test görüntüsü	25
Şekil 4.10: Kül fırını görüntüsü	26
Şekil 4.11: Basma test cihazı	26
Şekil 4.12: Basma test cihazı aparatı	27
Şekil 4.13: Çekme cihazı	27
Şekil 4.14: Vakum İnfüzyon yöntemi için kullanılan malzemelerin görüntüsü	30
Şekil 4.15: Kompozit plakanın üretim aşamaları.....	33
Şekil 4.16: Kompozit ve AL'nin a-b) Su jeti kesimi c-d) Deney numunlerin görüntüsü ..	34
Şekil 5.1: Üç nokta eğme testi.....	35
Şekil 5.2: Birinci dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası	36
Şekil 5.3: Birinci dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehîm grafiği	36
Şekil 5.4: İkinci dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası	37
Şekil 5.5: İkinci dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehîm grafiği.....	37
Şekil 5.6: Üçüncü dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası	38
Şekil 5.7: Üçüncü dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehîm grafiği.....	38
Şekil 5.8: Dördüncü dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası.....	39
Şekil 5.9: Dördüncü dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehîm grafiği	39
Şekil 5.10: Karbon ve cam fiber plaka yakma numunesi	42
Şekil 5.11: Karbon ve cam fiber plaka yakma öncesi ağırlıkları	42
Şekil 5.12: Kül fırını	43
Şekil 5.13: Karbon ve cam fiber plaka yakma sonrası ağırlıkları.....	43
Şekil 5.14: Tabanca mermisine ait teknik resim	45
Şekil 5.15: HKP'NİN atış sonrası ön, arka ve yan yüzde meydana gelen deformasyon	46
Şekil 5.16: Basma test cihazı	48
Şekil 5.17: Karbon plaka basma numunesi deney a) öncesi b) sonrası	48
Şekil 5.18: Karbon plaka basma numuneleri gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	49
Şekil 5.19: Cam plaka basma numunesi a) Deney öncesi b) Deney sonrası	49
Şekil 5.20: Cam plaka basma numuneleri gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	50
Şekil 5.21: Çekme Test Cihazı.....	51
Şekil 5.22: Karbon plakanın deney a) Öncesi b) Esnasında c) Kopma d) Sonuç	53
Şekil 5.23: Karbon plaka çekme deneyi gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	53
Şekil 5.24: Cam plakanın deney a) Öncesi b) Esnasında c) Kopma d) Sonuç	54
Şekil 5.25: Cam plaka çekme deneyi gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	55

Şekil 5.26: Alüminyum numunenin a) Deney Esnasında b) Sonuç	55
Şekil 5.27: Alüminyumun çekme deneyi gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	56
Şekil 5.28: HKP'nın görünüşleri a) Üstten b) izometrik c) yandan.....	58
Şekil 5.29: Birinci dizilim numunesi deney a) Öncesi b) Esnasında c) Kopma anı d) Sonuç	59
Şekil 5.30: Birinci dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği	60
Şekil 5.31: İkinci dizilim numunesi deney a) Öncesi b) Sonuç	61
Şekil 5.32: İkinci dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği	61
Şekil 5.33: Üçüncü dizilim numunesi a) Öncesi b) Sonuç.....	62
Şekil 5.34: Üçüncü dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği	62
Şekil 5.35: Dördüncü dizilim numunesi a) Öncesi b) Sonuç	63
Şekil 5.36: Dördüncü dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği.....	64



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Al	: Alüminyum
Al7075	: Alüminyum 7075 Alaşımı
AS	: Antisimetrik
BSD	: Brinel Sertlik Değeri
CF	: Cam Fiber
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
GRP	: Cam Takviyeli Polimer
HPP	: Yüksek Performanslı Polietilenler
HKP	: Hibrid Kompozit Plaka
KF	: Karbon Fiber
L	: Destek Mesafesi
Li	: Lityum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Manganez
PBO	: Polybenzobisoxazole
PPID	: Polypyridobisimidazole
R	: Hareketli Kafa Hızı
RTM	: Reçine Tranfer ile Kalıplama
sH	: Hibrid Kompozitin Gerilme
SH	: Hibrid Kompozitin Kuvveti
Si	: Silisyum
SM	: Simetrik
Ti	: Titanyum
Vf	: Fiber Oranı
VIF	: Vakum İnfuzyon Yöntemi
Vr	: Reçine Oranı
Zn	: Çinko

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AL7075 TAKVİYELİ TABAKALI HİBRİT KOMPOZİT PLAKANIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Burhan TEPEHAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

73+X sayfa

2023

Danışman: Doç. Dr İsmail Yasin SÜLÜ

Kompozitler, ikili ya da daha çok bileşenli malzemelerin bir araya gelmesi anlamına gelebilmektedir. Kompozit malzemeler neredeyse her alanda kullanılmakta olan ve birçok sanayi kuruluşu için önem arz eden bir malzeme grubudur.

Bu çalışmada, kompozit fiber kumaşların içerisine ilave edilmiş alüminyum alaşımından dört farklı dizilim de hibrit kompozit plaka elde edilmiştir. Hibrid plakayı imal etmek için yararlanılan kompozit malzemeler cam ve karbon fiberdir. Bu malzeme grubunda matris yapıyı oluşturacak takviye elemanı epoksi reçinedir. Çalışmada kullanılacak hibrit plakalar olarak laboratuvar ortamında üretilmiştir. Üretilen bu tabakalar üç nokta eğme deneyine, atış deneyine, basma deneyine ve çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Yapılan testlerde meydana gelen kuvvet, uzama, gerilme, deformasyon ve delaminasyon miktarı verilmiştir. Testler sonucunda bu dört farklı dizilim kendi aralarında kuvvet-sehim, kuvvet-uzama ve delaminasyon bakımından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF diziliminin yani ikinci hibrit kompozit dizilimin diğer dizilimlere kıyasla daha büyük kuvvetlere dayanım göstererek daha üstün özelliklerde olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Al7075, Atış testi, Hibrid plaka

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF HYBRID COMPOSITE PLATE WITH REINFORCED LAYER AL7075

Burhan TEPEHAN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

73+X sayfa

2023

Supervisor: Doç. Dr İsmail Yasin SÜLÜ

Composites can mean a combination of binary or more Decoupled materials. Composite materials are a group of materials that are used in almost every field and are important for many industrial organizations.

In this study, four different sequences of hybrid composite plates were obtained from aluminum alloy added to composite fiber fabrics. The composite materials used to manufacture the hybrid plate are glass and carbon fiber. In this group of materials, epoxy resin is the reinforcing element that will form the matrix structure. They were produced in the laboratory environment as hybrid plates to be used in the study. These produced sheets were subjected to three-point bending experiments, shooting experiments, pressing experiments and pulling experiments.

In the tests performed, the amount of force, elongation, stress, deformation and delamination occurred was given. As a result of the tests, these four different sequences were compared among themselves in terms of force-deceleration, force-elongation and delamination. As a result of this comparison, it has been shown that the CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF sequence, that is, the second hybrid composite sequence, has superior properties by withstanding greater forces compared to other sequences.

Keywords: Composite materials, Al7075, Shot analysis, Hybrid plate

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler günümüzde neredeyse her alanda yaygın bir kullanıma sahip olan savunma sanayisinin vazgeçilmez malzeme grubudur. Teknolojinin gelişmesiyle yeni keşfedilen malzemeler, bağlayıcılar, fiziksel yapılarının değiştirilmesi bu alanının gelişimine etki eden faktörlerdir. Yaygın kullanıma sahip olan bu malzemeler hemen hemen her sektörde karşımıza çıkmaktadır. Bu sektörler havacılık, uzay, deniz, spor, otomotiv, savunma sanayidir. Bu sektörlerde kullanılan metaryellerin büyük çoğunluğu kompozit malzeme ve bunların türevlerinden meydana gelmiştir. Sahip olduğu avantajlı özelliklerinden dolayı her sektörde cazip bir malzeme grubu olmuştur. Özellikle savunma sanayi ve ağırlığın dezavantajlı olduğu yerlerde karşımıza çıkmaktadır. Savunma sanayi alanında kullanmak amacıyla imal edilen kompozitlerden beklenen performanslar, direnci yüksek, yoğunluk, şekil alabilme, elektrik kabiliyeti, kimyasal ve korozyona karşı gösterilen direnç, renklendirme ile titreşim emilimidir. Askeri hava araçlarının kanat ve kuyruk bölümlerinde, inişi kalkış aşamasında, askeri çadırlarda, insansız hava araçlarında silah gövdelerinde, vücut koruyucu zırhlarda, tank ve panzerlerde kompozit malzemeler kullanılır (Eryıldız & Akdoğan Eker, 2015).

Kompozitlerin geniş çaplı kullanım alanlarından biri de askeri teçhizatlardır. Teçhizatların, imal edilmesinde pek çok malzeme çeşidi ile değişik imalat teknikleri ile meydana getirilmiştir. Askeri yapılar, yalnızca parçalanmaya karşı dayanım sebebiyle değil, aynı zamanda malzemenin, başkaca soğuk pres ile birlikte uygulamasında kullanılan çelikten imal ediliyormuş. Ancak bugünlerde modern teçhizatlar genel olarak kompozit yapılardan meydana gelmektedir. İlk kompozit miğferler 1960'lı yılların sonunda, balistik naylon kullanımı ile oluşturuldu. Kısa bir zaman sonrasında aramid takviyeleri tanıtılarak, nihayetinde askeri kasklarda çok yaygın kullanım alanı bulan malzeme olmuştu. Ekstra fazla moleküler ağırlığa sahip UHMWPE uzun senelerdir balistik programlarda kanıtlanmasına rağmen, kask çalışmalarında beklenen düzeyde çıktılar vermeye başlamışlardır. Kasklarda kullanım alanı bulan malzemeler genel olarak bu fonksiyonlardan birine yada daha fazlasına uyum sağlayan, fakat diğer fonksiyonlarla her daim çatışan niteliklere sahiptir. UHMWPE malzemelerinin balistik ile parça tehditlerini yok etmede çok iyi olması, fakat diğer malzemelerden çok daha fazla bozulma olmasıyla arka yüzde yer alan imzanın endişe halini alması örnek olarak verilebilir. Bu nedenlerle, etkin askeri teçhizatlar, bütün ihtiyaçları doğru şekilde karşılamak amacıyla tek malzeme

kullanımına indirgenemez. Neticede askeri teçhizat yapısı, müşterilerin ihtiyaçlarını tahmin edici düzeyde karşılanmasını sağlamak ve kabiliyetini ideal aralıkta oluşturmak için pekçok değişik malzemeyi hibrit yapılarında birleştirir (Giray & Bailey, 2019).

Bakıldığında balistik dayanımı iyi, hafif ve ergonomik balistik teçhizat malzemeleriyle alakalı yapılan çalışmalar yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Geliştirilen bu çalışmada, yapılan çalışmalardan farklı olarak karma (hibrid) kompozit yapısına alüminyum alaşımının ilavesiyle meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu teknik ve çalışma sonucunda cam fiber kumaş ve karbon fiber kumaşların farklı dizilimleri ele alınarak araya eklenecek olan alüminyum alaşımının gerilme ve deformasyon değerlerindeki değişimleri incelenecektir. Yapılan çalışma neticesinde elde edilen bu malzeme, benzer seviye tehditin olduğu tüm balistik malzemelerde kullanılabilir. Daha az et kalınlığı ve daha hafifleştirilmiş alışagelmeyen hibrid yapısı geliştirmek bu aşamalardan sonraki çalışmalar için kaynaklık edebilecek güvenilirliği yüksek, zamandan ve paradan kazançlı vb. pek çok avantaj ile insanlara faydalı bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Çalışmalar aynı özelliklerde plaka halinde gerçekleştirilecektir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışmada, fiber takviyeli hibrid kompozit plakaların mekanik testleri deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada üretilen hibrid plakaların içerisine eklenen Al7075 ile hafif ve dayanımı yüksek bir plaka elde edilmesi hedeflenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalardan biri İmak ve arkadaşlarının çalışmasında olan tabakalı hibrit kompozit malzemelerin yorulma davranışlarını incelemişler. Yaptıkları çalışmada farklı malzemelerden (KF ve CF) oluşan ve farklı oryantasyon açılarında tasarlanmış katmanlı hibrit kompozit yapıların yorulmaya karşı davranışları deneysel şekilde incelenmiştir (İmak, Solmaz, & Topkaya, 2016). Diğer bir çalışmada, Sözen ve arkadaşları önleyici teçhizatların tasarımı için kompozit ekipmanlar ve fiber yapılar ile ilgilenmiştir. Çalışmalarında aramid, HPPE, PBO fiber kumaş, Yüksek kabiliyetli cam fiberler ve PPID fiberleri ile ilgili balistik alanda kullanılan malzemeler ile ilgili çalışma yapmışlar (Sözen, Gündüz , & İmren, 2016) . Odacı, dalgali alüminyum projektörlerlr bir test metodu olan projektör çarpışma testini kullanarak AL dalgali ve lif destekli polimer kompozitle alüminyumun çekirdekli kompozit sandviçlerin patlama vb. karşılaşılan yüke karşı deney ve sonlu elemanlar nümerik değerlerinin bulunması ile ilgili çalışma yapmıştır (Odacı, 2015). Literatürde bulunan bir diğer çalışma ise Yılmaz'ın yaptığı savunma sanayii uygulamalarına yönelik fonksiyonel kademeli, alüminyum matris içeren kompozit malzeme geliştirmesi ile ilgili bir çalışmadır. Fonksiyonel dereceli malzemeler olarak tanımladığı FDM malzemesinde rastlanılan ilk çalışmasında, alümina ve olivinden ikinci olarak, gözenek yapılı yüksek dayanımlı AA7075 (Al-Zn-Cu-Mg) malzemeleri kullanarak metal matrisli kompozitler elde etmiştir (Yılmaz , 2019). Bir diğer çalışmada ise Alarçin Savunma sanayiinde tercih edilen kompozit malzemeler ile balistik özellikleri tespit edilmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapmıştır. Farklı özelliği polietilen ve aramid kumaşları birleştirmiştir. Birleştirilen bu kompozit yapıya farklı hızlarında atış deneyi uygulanmıştır. Kompozit malzemeler atış deneyinin yanı sıra şartlandırma işlemi yapılmış ve şartlandırma etkisi balistik yapılar için incelenmiştir (Alarçin, 2014). Bir diğer çalışmada ise Giray ve arkadaşı hafifletilmiş balistik miğfer üretiminin gelişimi üzerine bir çalışma yapmıştır. Modern hafif yapılı kompozit miğferin fonksiyonel özellikleri temel şekilde anlatılmakta ve ölçümünde kullanılan ve rutin şekilde değerlendirilmesinde ki ana kriterleri teknik dökümanlar ile vermektedir. Modern hafif kompozit miğferlerin yapıları detaylandırılmaktadır. Miğferlerde görülen kompozit yapıların miğferler yani balistik anlamda en etkin yapıya ulaşacak farklı kompozit malzemelerden türetilen ve melez yapıda

dizilimler ile meydana getirildiği belirtilmektedir (Giray & Bailey, 2019) . Bir diğer çalışmada ise Aydın yüksek lisans tezinde üst kısmında yüzey çatlağı/açıklığı olan hibrid tabakalı kompozit plakaların dinamik tepkilerini incelemiştir (Aydın, 2013). Başka bir çalışmada ise Demircioğlu ve arkadaşları organik matris yapıları kompozit malzemeden oluşturulan hibrid balistik plakanın balistik özellik davranışlarının belirlenmesi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında askeri teçhizatların zırhlandırılmasına yönelik 9 mm'lik tabanca mermisinin tehdit durumunda para-aramid (Kevlar) ve st37 sac malzemeleri kullanılarak geliştirilen balistik malzemesinin uygun standartlarda testini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalarını Sonlu elemanlardan yararlanarak yapmıştır (Demircioğlu, Candan, & Ay , 2011). Başka bir çalışmada ise Solmaz ve arkadaşı tabakalı kompozit plakaların takviye malzemesinin yanı sıra oryantasyon açısından gerilmeye olan etkisi konusunda bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında, farklı oryantasyon açılarındaki tabakalı kompozitlerin aksel çekme yükü altındaki durumlarını deney yapılarak elde edilmektedir. Yapı içerisindeki matriste kullanılan polyester reçine diğer taraftan takviye materyali için 0.30- 0.40 mm çelikten türetilen telden yapıya 2 farklı takviyenin seçilmesi ile tamamlamıştır. Oryantasyon açıları için yaptığı bu bilimsel çalışmada kompozit malzemelerin bire bir benzer destekleyici ekipmanına ve destekleyici materyalin kesit yapısına sahip kompozit yapılarında karşıt simetrik sıralamasına sahip kompozit için hesaplanan gerilmeler, simetrik dizilimde ki elde edilen gerilmelerden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. (Solmaz & Gür, 2007). Şenel yapmış olduğu çalışmada karbon nanopartikül takviyeli ve içerisinde AL ilaveli kompozitlerin yer aldığı plakanın mekanik özelliklerinin ve mikro yapısının incelenmesi konusunda çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında, partikül yapısı üretim aşamalarını kullanılarak birden fazla katmanlı karbon nanotüp partikül destekli AL bazlı kompozit plakalar malzeme üretmiştir(Şenel, 2021). Başka bir çalışmada ise bitlisli ve yazıcı arkadaşlar araç zırhlamasında tercih edilen kompozit yapıların balistik özelliklerini incelemiştir. Çalışmasında kullandığı malzemeler Karbon fiber (KF), Cam fiber (CF) , UHMWPE, Kevlar türleri ile matris malzemesiz üst üste yerleştirerek sıcaklık ve basınçtan yararlanarak katmanlı bir yapı meydana getirmiştir (Bitlisli & Yazıcı, 2019). Görüldüğü üzere literatürde Karbon Cam ve Al7075'in hibrid bir yapıda vakum infüzyon metodu kullanarak bir araya getirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Malzeme nedir?

Malzemeler, mühendislik alanındaki ürünlerin üretilmesinde kullanılan ve kimyasal, mekanik, fiziksel olarak çeşitli niteliklere sahip materyallerdir. Malzemelerin sınıflandırması çeşitli biçimlerde olabilir fakat mühendisler açısından uygun olan sınıflandırma aşağıdaki gibidir (Aran, Malzeme Bilgisi, 2008).

- Metaller
- Seramikler
- Polimerler
- Kompozitler
- Yarı-iletkenler

3.2 Metal Malzemeler

Mühendislik alanında kullanılan malzemelerin önemli bir kısmını metaller ve bu metallerin alaşımları meydana getirmektedir. Metal, kelimesi Yunanca da yer kabuğundan elde etmek manasına gelen “Metallon” kelimesinden türemiştir. Periyodik cetvelde yer alan elementlerin dörtte üçü metaldir. Civa hariç tüm metaller doğada katı bir biçimde bulunmaktadır (Bırol, 2014). Metal malzemelerin karakteristik özellikleri (Aran, Malzeme Bilgisi, 2008) ;

- Kristal bir yapıya sahiptirler.
- Dayanma güçleri yüksektir.
- Kolay bir biçimde şekillenebilirler.
- Toklukları fazladır.
- Korozyon direnci düşüktür.
- Yüksek sıcaklık ve elektrik iletkenliklerine sahiptirler.
- Basma dirençleri çekme dirençlerine yaklaşık olarak eşittir.

Metaller geniş çaplı bir sınıflandırmaya sahiptirler. Fakat mühendislik malzemeleri bakımından iki grupta incelenebilirler (Aran, Malzeme Bilgisi, 2008);

- **Demir İçerikli Alaşım:** Çelikler, Dökme Demirler
- **Demir Harici Alaşım:** Titanyum, Alüminyum, Bakır, Nikel, Magnezyum, Çinko ve alaşımları

3.3.1 Alüminyum tarihçesi

Alüminyumun teknik özelliklerinin sağladığı yararlarından kaynaklı bugünlerde yükselen bir kullanım oranına sahiptir. AL ve AL alaşımlarının çelik-demir grubu ile karşılaştırılma nedeni son zamanlarda tıp alanı, otomotiv sektörü, inşaatlar, uçak yapıları, kimyevi ve elektiriksel sektörlerde süratli bir biçimde tercih edilme oranının neticesinde AL değerini her geçen an ortaya koymaktadır (Özderin, 2017). Alüminyumun kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Alüminyumun kimyasal özellikleri (Özderin, 2017)

Kimyasal Sembol	Al	Isıl Genleşme Katsayısı	23,8x10 ⁻⁶ /°C
Atom numarası	13	Atom ağırlığı	28,6
Çekme mukavemeti	4-9 kPa/mm ²	Akma mukavemeti	1-3 kPa/mm ²
Kaynama sıcaklığı	2300°C	Kopma uzaması	30-50%
Ergime sıcaklığı	660,24°C	Sertlik	15-30 HB30

3.3.2 Alüminyum ve alaşımları

Alüminyum ile alaşımları özgül ağırlıkları düşük, dirençli, rahat işlenebilir, termal ve elektrik iletimi fazladır. AL nitelikleri ile her alanda olduğu gibi günlük yaşamımız da sıkça kullanılır. AL kolay bir şekilde diğer elementlerle bileşikler yaptığından dolayı çok sayıda alaşımları (al-bakır, al-silis-magnezyum, al-magnezyum-çinko, al-magnezyum, al-silis, al-kalay, al-bor gibi) vardır. Az oranlarda ki bu elementin varlığı bile bir yapıda büyük oranda değişikliklere yol açabilmektedir. Bu değişimin sonucun yenilenen, gelişen ya da yeni bir hal alan bu alaşım yeni alanlarda kullanıma imkan sağlamaktadır (Eroğlu & Şahiner, 2018).

Amerikan AL birliği, AL dövme alaşımlarını rakamla gruplandırmaktadır. Bu gruplama aşağıdaki verilmiştir (Akdoğan, 2008);

- 1YYY: Saf AL. Genel olarak kimya ve elektrik endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır.
- 2YYY: Alüminyum-bakır alaşımları temel alaşım unsuru bakırdır. Magnezyum ilk kısım ile birlikte çeşitli alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet tercih edilen hava endüstrisinde geniş bir yelpaze alanına sahiptir.
- 3YYY: Alüminyum-Magnezyum alaşımları temel alaşım unsuru mangandır. Mimari, akışkan tankları ile boru uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır.
- 4YYY: Alüminyum-Silisyum alaşımlarının temel alaşım unsuru silisyumdur. Isıl genişleme katsayısı düşük, tribolojik dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynak, levha imalatı ve otomotiv sektöründe yedek parça imalatında kullanılmaya sahiptir..
- 5YYY: Alüminyum-Magnezyum alaşımlarının temel alaşım ögesi magnezyumdur. Magnezyum seviyesi yükseldikçe direnç ve sertlikte artma fakat süneklikte azalma meydana gelir.
- 6YYY: Alüminyum-Magnezyum-Silisyum alaşımlarının temel alaşım unsuru silisyum ve magnezyum. Sıcaklık ve basınçla (ekstürizyon) ile imal yapılan parça proseslerinde çok sık kullanılır.
- 7YYY: Alüminyum-Zirkonyum alaşımının temel alaşım unsuru bakır olup, zirkonyum, krom ile magnezyum eklenmesiyle gelişen bir alaşımdır grubudur. 7YYY'li yapı, AL alaşımlarından maksimum dayanıma sahip olan ailedir. Dayanım isteyen özellikle savunma ve havacılık sektörlerinde karşılaşılr.
- 8YYY: Al-Lityum alaşımları temel alaşım unsuru lityumdur. İlâveten kalay eklentisi de görülmektedir. Bu aile iyi derece de yorulma direnci ile tokluk niteliklerini gösterir. Proses maliyeti yüksektir.

3.3.5 Alüminyum 7075-T6 alaşımı

Hafif metaller grubunda bulunan AL7075–T6 alaşımı, sahip olduğu hafif yoğunluk, arttırılmış sertlik, ısıl ve direnç özellikleri sebebiyle, bilhassa savunma sanayisi, otomotiv ve otomotiv alanında kapsamlı bir şekilde faaliyet göstermektedir. Bu yapının işlenebilirliği, aynı grupta yer alan diğer yapılardan daha kolay ve ucuz olduğu bilinmektedir (Çaydaş & Çelik, 2017).

7075 AL alaşımındaki hafiflik ve T6 ısıl işlem koşullarında ulaştığı ylık direnç nitelikleri sebebiyle uçak endüstrisinde kapsamlı bir şekilde kullanılan yapı malzemesidir. 1943 yılında geliştirilen Al7075 alaşımı ilk kez bu tarihte uygulaması görölmüştür. Bu alaşımlar sıklıkla plaka şeklinde imal edilir üretilir. Kullanımının yaygınlaşması sonucunda sıcaklık ve basınç ile üretilen ürünlerin ve kalın tabakaların imalatında da kullanımı yaygındır(Soyyigit, 2009). Çizelge 3.2' de Alüminyum 7075 malzemesinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 3.2: Alüminyum 7075-T6 Kimyasal Bileşimi (Sönmez & Başak, 2017)

Bileşenler	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Diğer	Al
Ortalama % Miktar	5.60	2.50	1.6	0.5	0.4	0.30	0.23	0.20	0.15	Kalan

Bu alaşımlar malzemelerine yapılan T6 termal işlemi ticari ısıl işlem sağlayan en fazla direnç seviyesidir. 7000 serisi içerisinde maksimum dayanım seviyesini veren ticari çalışmadır. Konvansiyonel T6 işlemi, ardından malzeme malzemeye su ile verilerek 24 saat boyunca 24 ile yaşlandırma sonucunda kazanılır. AL alaşımı T6 ısıl işlemi yapılarak nitelikleri gelişmektedir. Çekme dayanım 223 MPa'dan 575MPa'e. Akma dayanımı 102 MPa'dan 505 MPa'e, sertliği 601 BSD'ndan 151 BSD'ne kadar yükselmektedir (Soyyigit , 2009).

3.4 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme; en az iki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelerek kendi özelliklerinden daha üstün bir yapı oluşuran malzemere denir. Kompozitler oluşurken aralarında kimyasal çözünme olmadan yalnızca fiziksel olarak bir araya gelerek oluşturulmaktadır. Bu oluşum sırasında atomsal bir alışveriş söz konusu değildir. Bu boyutta oluşan üstün özellikli yeni bir malzeme türüne kompozit denir. Kompozit malzemelerin bahsedilen olumlu ve olumsuz yönlerine bakıldığından olumlu yönlerinin ağır basması sebebiyle hemen hemen her sektörde kullanılan teknik özellikleri yüksek bir malzeme grubu olarak bilinmekte ve kendine geniş bir yer bulmaktadır. Kompozitler savunma sanayisinde sıklıkta görölse bile otomotiv, inşaat, hava ve uzay sanayi, deniz, enerji alanı, spor endüstrisinde, Tarım-Gıda alanı gibi daha adından bahsedilmeyen birçok alan ve yerde kullanımı mevcuttur. Kompozit malzemeleri olumlu yönleri aşağıda verilmiştir. Olumlu yönleri sırasıyla şunlardır (Asi, 2018);

1. Yüksek dayanım/yoğunluk
2. Yüksek rijidite/yoğunluk
3. Yüksek korozyon
4. Yüksek tribolojik dayanım
5. Yüksek termal dayanım
6. Yüksek reaksiyonlanma dayanımı
7. Havalandırma şartlarının ve UV'e dayanımı
8. İyi ısı ve ısı iletimi
9. Elektrik ve termik yalıtım
10. Hafif
11. İşlenme kabiliyeti yüksek
12. Reaktif (gömülü/kalıcı) renklendirme
13. Titreşim emilimi

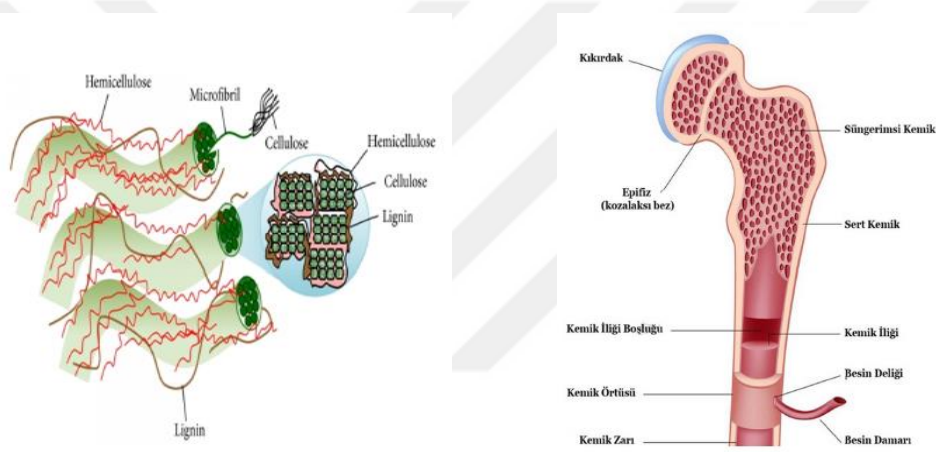
Kompozit malzemelerin olumlu yönlerinin yanı sıra olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin olumsuz yönleri sırasıyla aşağıda ki gibi verilmiştir(Asi, 2018).

1. Kompozit malzemelerde sabit özellik bulunmaz
2. Aynı plakada farklı değerler elde edilebilir
3. Üretimi karmaşık
4. İşlenebilirlik düşük
5. Geri dönüşümü zor
6. İmalat Maliyeti yüksek

3.4.1 Kompozit malzemelerin tarihçesi

İki ya da daha fazla büyük ölçekte birbiri ile alışveriş ve çözünme yapmadan birleştirilmesiyle meydana gelen yeni gruba kompozit denir (Zor, 2022). İnsanlık tarihine bakıldığında insanoğlu hayatla daha kolay mücadele etmenin yollarını sürekli olarak aramıştır. Tarihler boyunca sürekli olarak değişen şartlar karşısında ise yeni malzemelerin

üretilmesine ve geliştirilmesine ihtiyaç duymuştur. İnsanları bu malzemeleri üretmesinde ilham olan şey doğa olmuştur. Doğa sürekli olarak kendini yenileyen, eşsiz, her anlamda mükemmel özellikteki malzemeleri bünyesinde barındıran insanlığın yararına sunan bir alan sunmuştur. Doğa bunların yanı sıra insanlığa, bilime ve mühendislikte karşılaşılan problemlere akılcı çözümler sunar. Örneğin; ağaç yapısı ve kemik bilinen en doğal kompozit malzemedir. Ahşap %44 selüloz, %20 hemiselüloz ve %35 ligninden oluşmaktadır. Ağaç malzeme esnekliğini selüloz ve hemiselülozun yapısından, sertliğini ligninin yapısından kazanır. Kemik yumuşak doku, sert doku, kıkırdak ve ilikten oluşur. İnsan kemiğinin %25'i su,%45'i inorganik madde, %30'u organik maddedir. Kemiğe esneklik özelliğini inorganik maddeler, sertlik özelliğini ise organik maddeler verir. Şekil 1'de bu yapılar ile ilgili görsel verilmiştir (Kaya, 2015).



a) Ağacın yapısı

b) Kemiğin yapısı

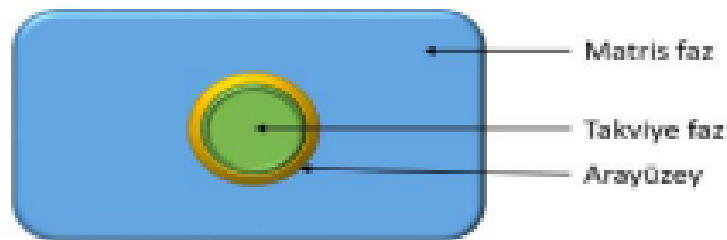
Şekil 3.1: Doğal kompozitler a) ağaç yapısı b) kemiğin görünümü (Kaya, 2015)

Temelde kompozit kelimesinin dendiğinde zaman lif ile dayanımı artırılıp güçlendirilmiş plastik yapı sanılmaktadır. Amerika 1930 sonunda CF elyafın keşfedilmesiyle ile o dönem ilkelliğin dışında kompozit üretimi ortaya çıkarken ve CF takviyeli kompozitler dünyaya açılmıştır. O dönemlerden günümüze değin kompozit malzeme üretimi ve hammaddesinde pek çok yenilikler olmuştur. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve çevresel etkenlere karşı dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozitler,

özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasına rağmen çok daha hafiftirler. Karbon-Termoplastik ve diğer kompozit birleşimleri günümüzde tercih edilmesinin ve kullanımlarındaki artışın mutlak sebepleri sağlamlıkları ve hafiflikleridir. Çeşitli plastik malzemelerin seramik, metal bazen de sert polimerlerin fiberleri ile güçlendirilerek ileri derecede faydalar sağlayan malzemeler üretmek mümkündür. İçindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilen ve takviye fiberler sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme birleşimleri, kompozitler her gün yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar (Bingöl, 2008).

3.4.2 Kompozit malzemelerin yapısı

Kompozit malzemeler, en az iki veya daha fazla malzemenin birlikte kendine özgü üretim yöntemleri ile bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Malzemeler; takviye ve matris elemanı olarak iki ana kısımdan oluşur. Şekil 3.2’ de kompozit malzeme yapısı verilmiştir. Takviye elemanları malzemenin mukavemet özelliklerini sağlamakta, matrisler ise birleştirici rolünü üstlenir. Kompozit malzemeler, doğada olan diğer malzemelere kıyasla daha karmaşık yapılar olup, hala standartlaşan bir üretim ve test standardı yoktur. Bilgisayar ortamında modellenmesi, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi zor malzemelerdir (Kaya, 2015).



Şekil 3.2: Kompozit Malzeme Yapısı (İbrahim, 2022)

Matris, kompozit yapıyı meydana getiren ve ilave edilen diğer metaryallerin bir arada kalmasını sağlayarak yapılarda elde edilmek istenen formun alınmasını sağlayan malzemelerdir. Yalnızca kimyasal etkilere karşı değil aynı zamanda fiziksel etkilere karşıda yapıyı muhafaza eden destekleyici (takviye) elemanında meydana gelen kuvvet ve yüklenme durumunda bu etkileri ileten yapıyı meydana getirir. Matrislerde oluşan

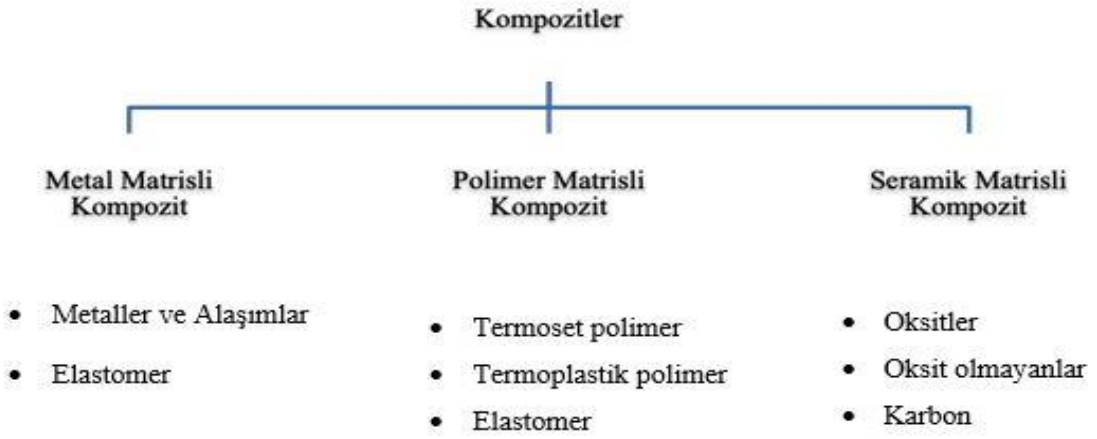
gerilmelerin karşılanması ana görevi olup, ilaveten liflerde kopma ve çatlama önleyici bir yapı oluşturur. Kompozitlerde dayanım matris malzemesine bağlıdır. Matris ıslatıcılık ve şekillendirilebilirlik gibi özelliklerine bağlı olarak akışkan yapıda kullanılır. Matrisin Viskosite değeri oldukça önemli bir parametredir. Kompozitlerin üretimi esnasında matrisin kimyasal verileri, ısıl direnç, kütleme zamanı ve ekonomikliği belirleyici parametrelerdir. Kompozitler çok farklı destekleyici(takviye) eleman kütüphanesi bulunmaktadır. Takviye elemanı olan elyaflardan, viskerler grubu, kırılmış fiber lifler, metal takviyeli partikül seramik vb. kullanılabilir. Destekleyici (takviye) elemanları değişik oryantasyonlarda hibrid, karma vb. yapılarda kullanılmaktadır. Kompozitler destekleyici(takviye) elemanlarının yapılarıyla anımsanırlar(Yastımoğlu & Özkan, 2017). Matris ve takviye elemanlarının görevleri aşağıdaki Çizelge 3.3’ de detaylıca verilmiştir.

Çizelge 3.3: Matris ve takviye elemanının temel görevleri (Yastımoğlu & Özkan, 2017).

MATRİS	TAKVİYE ELEMANI
1) Kompozit parçaya şeklini veren kısımdır	1) Kompozit malzemenin dayanım rijitlik ve diğer mekanik özelliklerini oluşturan kısımdır.
2) Tokluk gibi hem matris malzemesine hem de takviye elemanına bağlı özelliklere katkı sunar.	2) Matristen gelen yükü taşıması matrisin dayanım/modülünü artırmasıdır.
3) Takviye elemanlarına yük aktarır	
4) Takviye elemanlarını dış etmenlere karşı korur.	

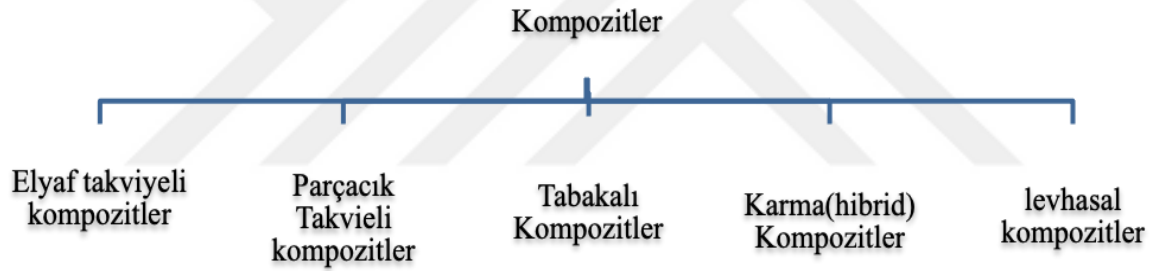
3.4.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemenin sınıflandırılması sadece bir kategori altında toplanamamaktadır. Kompozit malzemeler kullanılan malzemesinden içerisindeki takviye elemanının boyutuna kadar çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kompozitler ana örgüsünün yapısını meydana getiren matrise bağlı olmak üzere aşağıda Şekil 3.3’ de gibi sınıflandırılmaktadır (Beşergil, 2018).



Şekil 3.3: Kompozitlerin ana örgü yapısına göre sınıflandırılması (Beşergil, 2018).

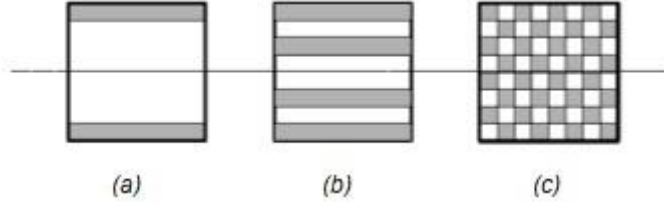
Başka bir sınıflandırma türü ise takviye elemanına göre sınıflandırmadır(Zor, 2022). Takviye elemanına göre sınıflandırma Şekil 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4: Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması (Zor, 2022).

3.4.3 Karma (Hibrid) kompozitler

Çeşitli yapıdaki fiberlerin bir tek matris yapısında birleştirilmesiyle karma(hibrid) kompozitler elde edilir. Farklı gayelerle bir araya getirilen iki veya daha çok fiber tipinin biraraya gelerek oluşan farklı örgü yapılı karma (hibrid) takviye malzemelerde bulunmaktadır. Birleştirme farklı şekillerde yapılabilir ve bu durum Şekil 3.5' de verilmiştir (Beşergil, 2018).



Şekil 3.5: 3 ayrı hibrid yapı; (a) göbek-kabuk, (b) tabakalı-tabakalı, (c) kare-kare (Beşergil, 2018).

Bir matris (reçine) içindeki birden fazla yapıda türlerin takviye elemanı ile birleşmesinden oluşan karma(hibrid) kompozit davranışı basit bir yaklaşım metodu ile verilemez. Yapılan cam/karbon ve aramid/karbon karma(hibrid) yapılardaki çalışma sonucunda bu özelliklerin her durumda geçerli olmadığını göstermiştir. Bir diğer tabir ise hibrid tesiri, bu karma yapıdaki aksiyonlarının ‘karışma-kuralı’ndan uzaklaşması olarak söylebilir. Olumlu hibrid tesiri hibridin özellikleri karışma kuralınca belirlenen sayısal değerden daha yüksek, negatif hibrid tesir ise daha düşük olmasıdır (Beşergil, 2018).

3.5 Kompozit Malzemelerin Üretim Metodları

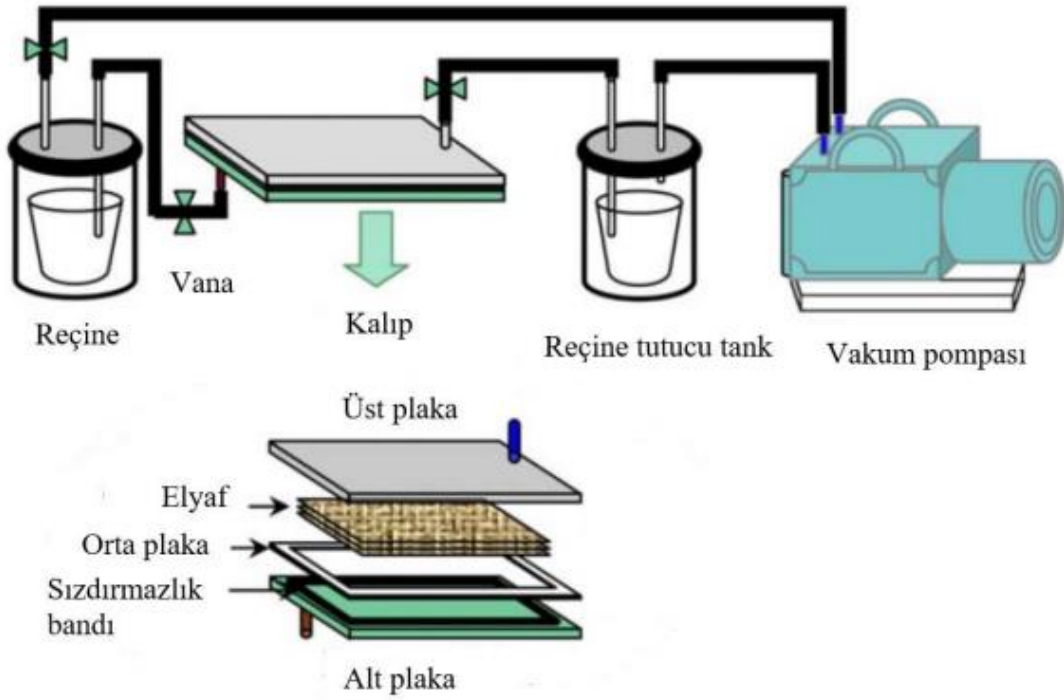
Kompozit malzemelerin üretilmesinde pek çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla (Erdoğan, 2020);

1. Vakum İnfüzyon Yöntemi (VIF)
2. Elle yatırma
3. Filament Sarma Yöntemi
4. Reçine Transfer ile Kalıplama (RTM)
5. Profil Çekme / Pultrüzyon
6. Hazır Kalıplama
7. Vakum Torbası Yöntemi
8. Otoklav

3.5.1 Vakum infüzyon yöntemi (VIF)

Bu yöntemde reçine elyaflara vakum ortamında emdirilir. Aşağıda gösterildiği gibi kalıbın içindeki hava, vakum pompası yardımıyla çekilir ve reçinenin kumaş üzerinden ve aralarından boylu boyunca akması sağlanır. Elyafların doyduktan sonra emmediği artık

reçine, nem ve hava vakum pompası yardımıyla birlikte reçineyi hapseden tanka ulaşarak sıvıların dibte olmasını ve gazların vakuma alınmasını sağlar. Kürlenme işlemi oluşturulan kalıplara fırında ısı vererek ya da oda sıcaklığı içerisinde beklemesiyle sağlanır (Erdoğan, 2020). Vakum infüzyon yöntemi şeması aşağıdaki Şekil 3.6' da verilmiştir.



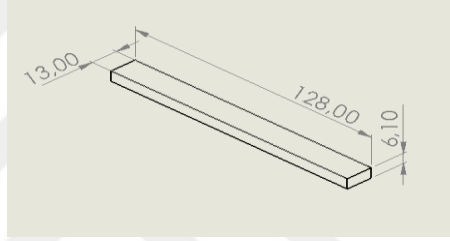
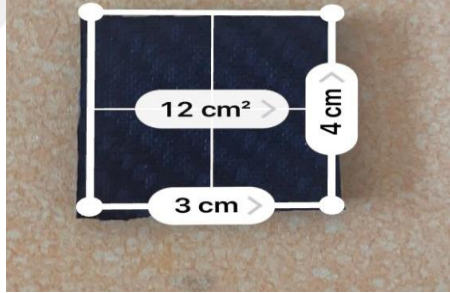
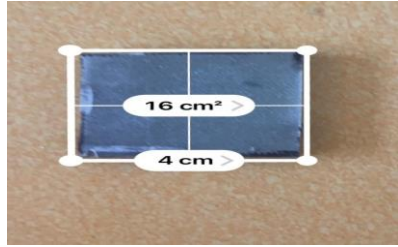
Şekil 3.6: Vakum İnfüzyon yöntemi şeması (Erdoğan, 2020)

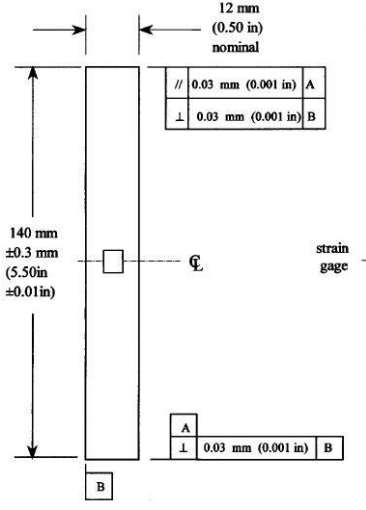
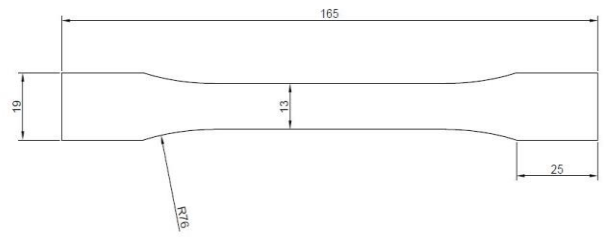
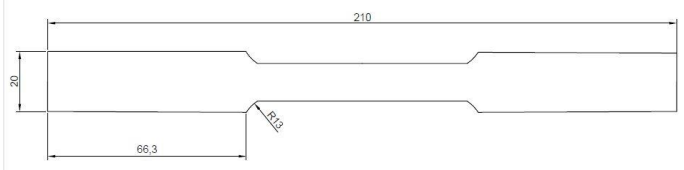
VIF yönteminde, düşük maliyetli malzeme kullanılır ve düşük viskoziteli reçine, vakum basıncı sayesinde ıslanmamış elyafa enjekte edilir. Bu teknik, tekne kabuğu, rüzgar türbin kanat yapısında ve uçak yapısı gibi büyük kompozit yapılarda ekonomik şekilde üretilmesine olanak sağlar. Yüksek kaliteli ve düşük maliyetli doğal elyaf yapıları için gelecek görülen bir yöntemdir (Gu, X., Z, & Z.). Bu yöntemle üretilen bir tabakalarda elyafın reçine emme kalitesi, elle serim metoduna kıyasla daha iyidir ve bu yöntemle tabaka içindeki hava boşlukların daha az olması sağlanır. Viskozite, VIF yönteminde önemlidir ve reçinenin kumaş boyunca uygun akışı için viskozitenin 100-1000 Cp aralığında olması beklenir (Kabir, Wang, Lau, Cardona, & F., 2012).

3.6 Mekanik testler

Çalışma için üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, üretilen kompozit plakalardan uygun boyutlarda numuneler hazırlanarak üç nokta eğilme çekme, basma ve yakma testleri uygulanmıştır. Mekanik test standartları ve teknik resimleri Çizelge 3.4’ de verilmiştir.

Çizelge 3.4: Mekanik test standartları ve teknik resimleri

Mekanik Test	Test Standardı	Teknik Resimleri
Eğilme Testi (3 Nokta)	ASTM D 790-03 (Standard A.S.T.M, 2003)	
Yakma Testi (Karbon Fiber Plaka)	-	
Yakma Testi (Cam Fiber Plaka)	-	

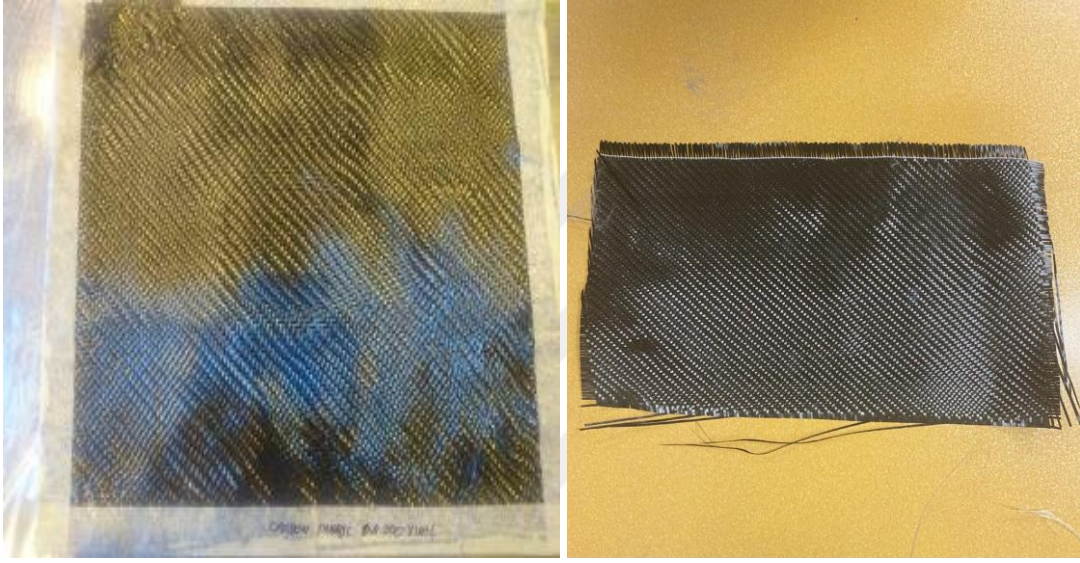
<p>Basma Testi</p>	<p>D 3410 (ASTM International)</p>	
<p>Çekme Testi Kompozitler</p>	<p>ASTM 638-14 (Erdoğan, 2020).</p>	
<p>Çekme Testi Alüminyum</p>	<p>ASTM-E8 (Çavuşoğlu & Gürün, 2014)</p>	

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Deneyle Yararlanılan Malzemeler

4.1.1 Karbon fiber kumaş

Çalışma da kullandığımız kompozit elyaflardan biri olan karbon elyafıdır. Karbon fiber Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Karbon Fiber Kumaş 245 gr /m² kumaş ağırlığına sahip 3k twil dokuma yapısına sahiptir.



Şekil 4.1: Karbon Fiber kumaşının görüntüsü

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi karbon fiber kumaşı hibrid kompozit tabakanın oluşturulmasında deneysel çalışmada kullanılmıştır. Karbon Fibere ait teknik özellikler Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Karbon fiber teknik özellikleri (Dost Kimya, 2017)

Karbon Fiber (KF)	
Kumaş kalınlığı (mm)	0.4
Alan ağırlığı (gr /m²)	245
Reçine Kullanımı (gr /m²)	281
Yoğunluğu (gr /cm³)	1.8
Elastisite Modülü (GPa)	220-240
Gerilme dayanımı (MPa)	3450 – 4850

4.1.2 Cam fiber kumaş

Çalışma da kullandığımız kompozit elyaflardan biri olan cam elyafıdır. Cam fiber Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Cam Fiber Kumaş 296 gr /m² kumaş ağırlığına sahip ve atlas dokuma yapısına sahiptir.



Şekil 4.2: Cam fiber kumaşının görüntüsü

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi cam fiber kumaşı hibrid kompozit tabakanın oluşturulmasında deneysel çalışmada kullanılmıştır. Cam fibere ait teknik özellikler aşağıdaki Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Cam fiberin teknik özellikleri (Dost Kimya, 2017)

Cam Fiber (CF)	
Fiber kumaş kalınlığı (mm)	0.35
Alan ağırlığı (gr/m ²)	296
Reçine Kullanımı (gr /m ²)	294
Yoğunluğu (gr /cm ³)	2.54
Elastisite Modülü (GPa)	70
Gerilme Mukavemeti (MPa)	2200

4.1.3 Al7075-T6 alaşımı

Çalışma da kullandığımız bir diğer malzeme Alüminyum alaşımı olan Al7075-T6'dır. AL7075-T6 alaşımı Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3: AL7075-T6 Alüminyum alaşımının kesilmiş görüntüsü

Şekil 4.3 'de gösterildiği gibi Al7075-T6 alaşımı hibrid kompozit plakanın güçlendirilmesinde deneysel çalışmada kullanılmıştır. AL7075 ait teknik özellikler aşağıda Çizelge 4.3 'de verilmiştir.

Çizelge 4.3: Al7075 –T6 malzemesinin teknik özellikleri (Seykoç Alüminyum, 2017)

Isıl işlem	Akma değeri (MPa)	Çekme değeri (MPa)	Elastikiyet (%)	Sertlik değeri (Brinel)
T6	465-510	525-565	9-11	135-165

4.1.4 MGS laminasyon epoksi reçine L160

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal epoksi reçinedir. Epoksi reçine Şekil 4.4 'de verilmiştir. Malzemenin temini dost kimya tarafından sağlanmıştır.



Şekil 4.4: Reçine LR160

Kimyasal bağlayıcı reçineye ait teknik özellikler aşağıdaki Çizelge 4.4 'de detaylı şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.4: Laminasyon Reçinesi MGS L160 özellikleri (Dost Kimya, 2017)

Laminasyon Reçinesi MGS L160 özellikler:	
Yoğunluk (gr /cm ³)	1,13-1,17
Akışkanlık mPas	700-900
Epoksi eşdeğeri gr/eşdeğer	166-182
Epoksi değeri eşdeğer/100gr	0,55-0,60
Refraktör göstergesi	1,5480-1,5530
Ölçü Koşulları	25°C
Sertleştiriciler	H160 H163 H260S
Özkütle (gr /cm ³)	0,96-1,00 / 0,94-0,97 / 0,93-0,97
Akışkanlık (mPas)	10-50 / 10-60 / 80-10
Amin (mgr KOH/gr)	550-650 / 520-580 / 450-500

4.1.5 MGS laminasyon epoksi sertleştirici H160

Deneysel çalışmalarda kullanılan bir diğer kimyasal epoksi sertleştiricidir. Epoksi sertleştiric Şekil 4.5 'de verilmiştir. Malzemenin temini dost kimya tarafından sağlanmıştır.



Şekil 4.5: Sertleştirici H160

Kimyasal sertleştiriciye ait teknik özellikler aşağıdaki Çizelge 4.5’de detaylı şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.5: Sertleştirici özellikleri: H160 (Dost Kimya, 2017)

Sertleştirici özellikleri:	
H160 / H163 / H260S	
Yoğunluk (gr /cm ³)	0,96-1,00 / 0,94-0,97 / 0,93-0,97
Vizkosite (mPas)	10-50 / 10-60 / 80-100
Amin değeri (mgr KOH/gr)	550-650 / 520-580 / 450-500
Refraktör göstergesi	1,5200-1,5210 / 1,5108-1,5115 / 1,4980-1,4985
Ölçü Koşulları	25°C Olmalıdır.

Reçine ve sertleştiricinin bir araya getirilirken kimyasal içerikleri hacimce veya ağırlıkça oranla hesaplanmaktadır. Bu oranlar Çizelge 4.6 ‘da detaylı şekilde verilmiştir. Bu deneyde kimyasal oluşturulan ağırlık baz alınmıştır.

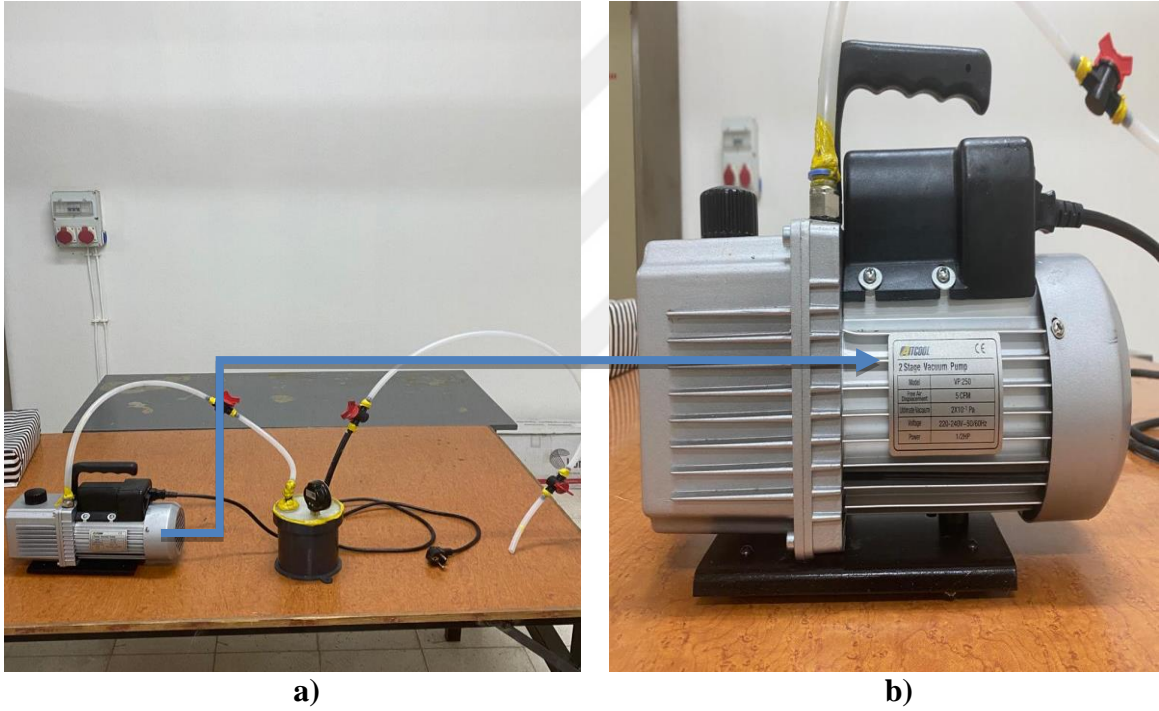
Çizelge 4.6: Reçine-sertleştiricinin oranının hesaplanması (Dost Kimya, 2017)

Laminasyon Reçinesi L160 - Sertleştirici H160-H163-H260S	
Hacimsel	100 :30+-2/100 :34+-2/100 :43+-2
Ağırlıkça	100 :25+-2/100 :28+-2/100 :36+-2

4.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihaz ve Gereçler

4.2.1 Vakum infüzyon pompası

Deneyde kullanılan cihazlardan biri olan vakum infüzyon pompası Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6: Görsel a) Vakum infüzyon seti b) Vakum infüzyon pompası

4.2.2 Hassas terazi SF-400

Deneyde kullanılan cihazlardan bir diğeri Hassas Terazi SF-400'dir. Deneyde kullanım amacı kimyasal bileşenlerin gramaj değerlerini ölçmektir. Hassas terazi Şekil 4.7 'de verilmiştir.



Şekil 4.7: Hassas Terazî SF-400

4.2.3 Aramid(kevlar) makası ec-cutter elektrikli

Deneyde kullanılan cihazlardan bir diğeri aramid(kevlar) makasıdır. Deneyde kullanılan bu cihazın amacı karbon ve cam fiber kumaşın kesimini yapmaktır. Aramid(kevlar) makası Şekil 4.8' de verilmiştir.



Şekil 4.8: Aramid(kevlar) makası ec-cutter elektrikli

4.2.4 Üç nokta eğme cihazı

Kompozit plakalardan kesilen numuneler numaralandırıldıktan sonra orta kısımları belirlenmiştir. En boyu 13 mm olduğu görülmüş ve ortalama et kalınlığı ise 6.11 mm olduğu saptanmıştır. Et kalınlığının cihaz ayakları arasındaki mesafeye oranlandığında bu değer 16:1 şekilde belirlenmiştir. Mandrenler arası mesafe (L) 97.61 mm, dinamik cihaz

hızı (V) ise 2.61 mm/dk şeklinde olup ASTM D 790-03'e göre formülize edilmiş ve formül (4.4)'te verilen förmülde kullanılmıştır (Erdoğan, 2020).

$$R=ZL^2/6h \quad (4.4)$$

Burada,

V: Dinamik cihaz hızı (eğdirme hızı) (mm/dk),

L: Mandrenler arası mesafe (mm),

h: Et kalınlığı (mm),

Z: Harici (dış) kumaş gerilme hızı (mm/mm/dk), (Z=1) olarak alınmıştır.

Ayaklar arası mesafesi belirlenmiş olan 3'er adet deney parçalarının mandrenlere karşılık gelen alanlar işaretlendikten sonra ASTM D 790-03 standardına göre Shimadzu AGS-X marka 10 kN yükleme kapasiteli test cihazı ile üç nokta eğilme testi uygulanmıştır. Üç nokta eğme cihazı Şekil 4.9'da verilmiştir. ASTM D 790-03 standardına göre cihaz manuel durdurulmayarak kırılma esnasında kendiliğinden duruşa geçmiştir.



Şekil 4.9: Üç nokta eğme cihazının test görüntüsü

4.2.5 Kül fırını

Kül fırını sadece karbon ve sadece cam fiberden oluşan kompozit dikdörtgen plakaların reçineden arındırılarak fiber oranlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Kül fırını aşağıda Şekil 10' da verilmiştir.



Şekil 4.10: Kül fırını görüntüsü

4.2.6 Basma Cihazı

Kompozit plakalardan D-3410 standartlarına uygun olarak basma numuneleri hazırlanmıştır. Plakalardan 140 x 12 mm ölçülerinde kesilen basma numuneleri numaralandırılıp sonra basma cihazına aparat yardımıyla bağlanmıştır. Cihaz kafasının hızı 1.5 mm/dakika şeklindedir. Shimadzu marka 50 kN yükleme kapasiteli test cihazı ile basma testi uygulanmıştır. Cihaz Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11: Basma test cihazı

Test için cihaza ilave olarak basma aparatı takılmıştır. Basma aparatı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12: Basma test cihazı aparatı

4.2.7 Çekme Cihazı

Kompozit plakalar ASTM D638-14 standartlarına uygun olarak çekme numuneleri hazırlanmıştır. Alüminyum ise ASTM-E8 standartlarına uygun olarak numune hazırlanmıştır. Plakalar standartlara göre uygun ölçülerinde kesilip sonra çekme cihazına bağlanmıştır. Shimadzu marka 50 kN yüklem kapasiteli test cihazı ile çekme testi uygulanmıştır. Çekme cihazı görüntüsü Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13: Çekme cihazı

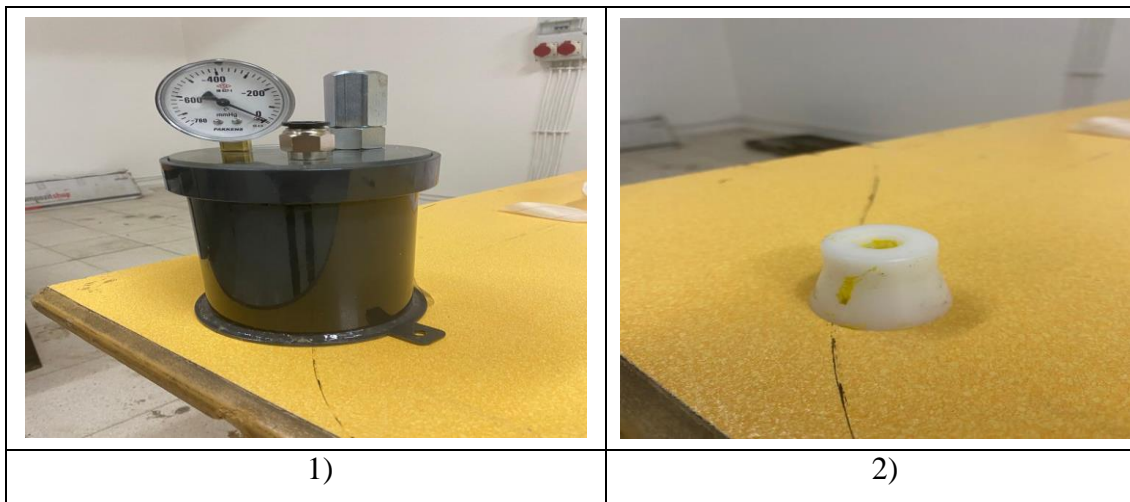
4.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Yöntem

4.3.1 Vakum infüzyon yöntemi

Vakum infüzyon yöntem kompozit hibrid plakanın üretilmesi için belirlenen bir yöntemdir. Vakum infüzyon yöntemi hemen hemen bütün kompozit malzemelerin imal edilmesinde kullanılabilir. Bu yöntemin uygulanmasında aşağıda bulunan malzemelerin bulunması gerekmektedir.

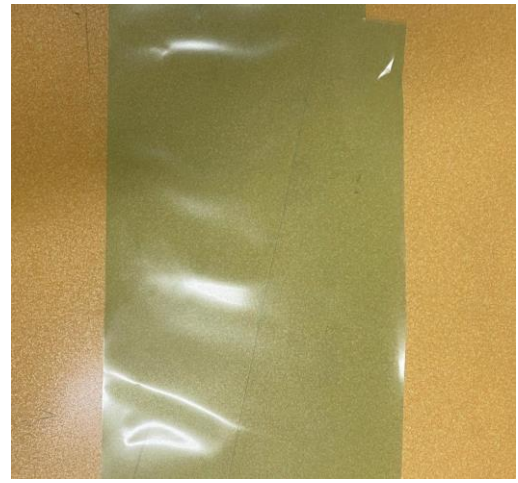
1. İnfüzyon Reçine Tankı-Çelik
2. İnfüzyon Konnektörü
3. Vakum Hortumu
4. Vakum Naylonu
5. Peel Ply
6. İnfüzyon Fıçısı
7. İnfüzyon Spiral Hortum
8. Vakum Sızdırmazlık Bandı
9. İnfüzyon Hortum Kelepçesi
10. İnfüzyon Sprey Yapıştırıcı

Vakum İnfüzyon yöntemi için kullanılan malzemeler Şekil 4.14' de verilmiştir.





3)



4)



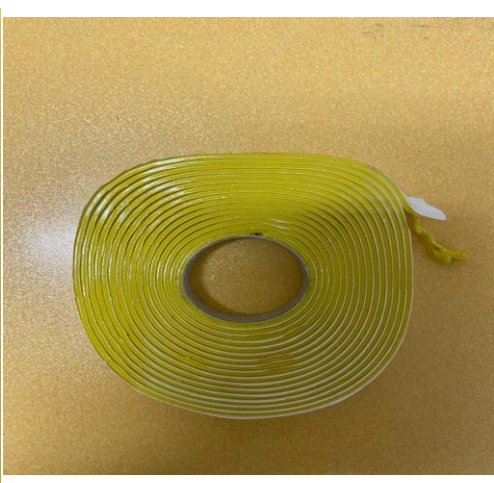
5)



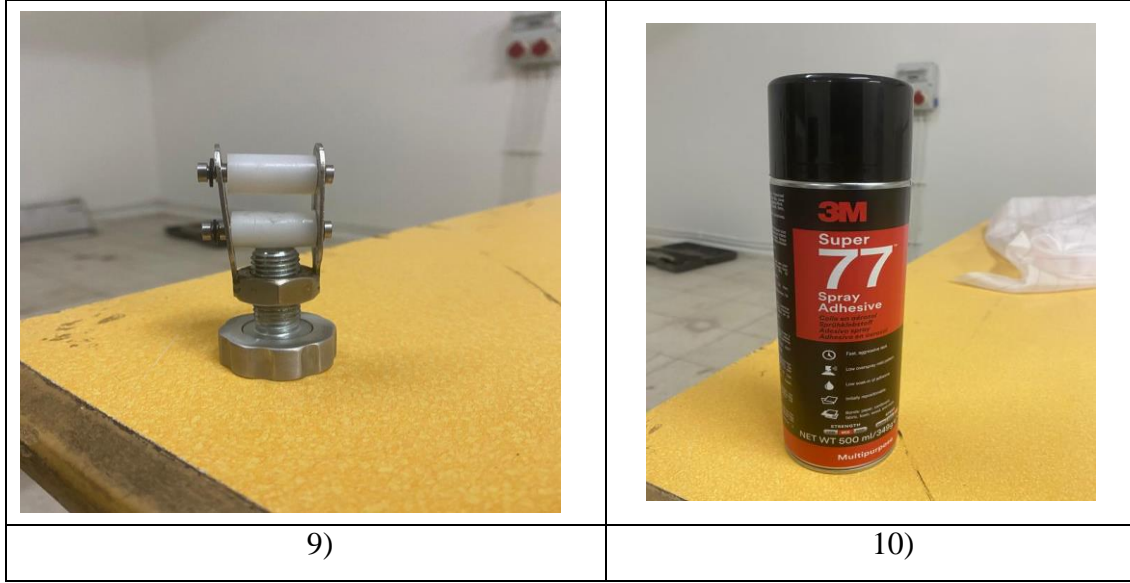
6)



7)



8)



Şekil 4.14: Vakum İnfuzyon yöntemi için kullanılan malzemelerin görüntüsü

4.4 Kompozit Plakaların Dizilimi ve Üretimi

4.4.1 Hibrid kompozit plakalar için belirlenen dizilimler

Bu hafifletilmiş ve dayanımı artırılmış hidrid plakasını oluşturulurken Karbon fiber (KF), Cam fiber (CF) ve Alüminyum 7075 alaşımı (A17075) malzemeleri kullanılmıştır. Hidrid plakasında özellikle dizilimi önemli bir parametredir. Bu hibrid kompozit yapıya ait dizilim dört farklı şekilde olup Çizelge 4.7’de detaylıca verilmiştir. Tabaka sıralandırması yukarıdan aşağıya doğru olacak şekilde verilmiştir. Her tabakaya 3 adet kumaş gelecek şekilde üretilmiş olan HKP’ları üretmek için toplam 18 adet kumaş kullanılmıştır.

Çizelge 4.7: Tabaka dizilimleri

TABAKALAR →	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Birinci Dizilim	KF	CF	KF	A17075	KF	CF	KF
İkinci Dizilim	CF	KF	CF	A17075	CF	KF	CF
Üçüncü Dizilim	CF	KF	KF	A17075	KF	KF	CF
Dördüncü Dizilim	KF	CF	CF	A17075	CF	CF	KF

Kompozit plaka için üretimi yapılması belirlenen boyutlar aşağıdaki gibidir. Bu değerlerin esas alınmasında ki sebep daha önce yapılan bildiri ve makale çalışmasındaki nümerik analizde belirlenen plaka boyutları ile eşdeğer olmasıdır. Bu hibrid kompozit plakaların üretilmesinde belirlenen boyutlar sırasıyla en, boy ve kalınlık olmak üzere 250x250x15 mm boyutlarındadır.

4.4.2 Kompozit plakaların üretimi


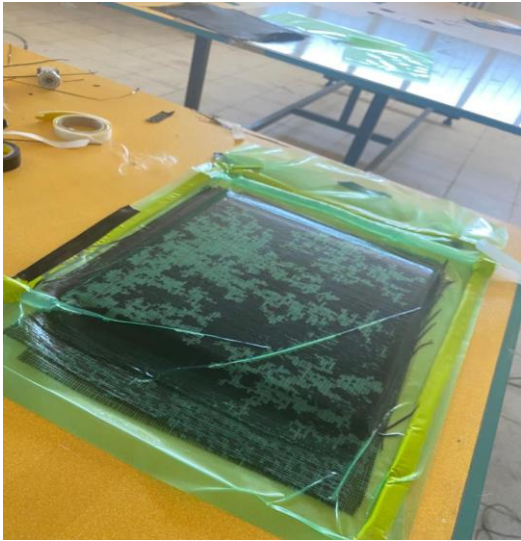
Kompozit plakalar üretilirken belirlenen kompozit kumaşlar ve Al7075 alüminyum alaşımı teknik resimdeki ölçülerde tek tek kesilip hazırlanmıştır. Vakum infüzyon metoduna uygun bir şekilde vakum ile havasız bir yapı elde edilmiştir. Elde edilen bu vakumsuz ortama Karbon ve Cam fiberin reçine tüketim oranına göre reçine hazırlanmış ve kumaşlara nüfuz edilmiştir. Islanan kumaşlar 24 saat doğal kürlenme ile bekletilip plaka üretimi tamamlanmıştır. Üretimi Şekil 4.15 de verilmiştir.

Kompozit plakalar üretimi sırasıyla aşağıda ki aşamalardan oluşmaktadır;

- 1) Karbon ve Cam fiber Kumaş kesilmiştir. (Toplam 18 adet)
- 2) Al7075 alaşımı kesilmiştir.
- 3) Al7075 alaşımı üzeri 80 No zımpara ile zımparalanmıştır.
- 4) Vakum Naylonu 3 tarafı açık kalacak şekilde kesilmiştir.
- 5) En alt tabakaya vakum infüzyon filesi serilmiştir.
- 6) Onun üzerine peel ply kumaşı serilmiştir.
- 7) Belirlenen dizilimine göre her tabakaya 3 adet kumaş gelecek şekilde serilmiştir. 1. Dizilim aşağıda detaylıca verilmiştir.
 - a. 3 adet karbon fiber kumaş serilmiştir.
 - b. 3 adet cam fiber kumaş serilmiştir.
 - c. 3 adet karbon fiber kumaş serilmiştir.
 - d. 1 adet Al7075 plaka serilmiştir.
 - e. 3 adet karbon fiber kumaş serilmiştir.
 - f. 3 adet cam fiber kumaş serilmiştir.
 - g. 3 adet karbon fiber kumaş serilmiştir.

- 8) Kompozit plakanın ana kısımları serildikten sonra üzeri Peel ply kumaşı serilmiştir.
- 9) Peel ply üzerine vakum infüzyon filesi serilmiştir.
- 10) Vakum konnektörü, vakum infüzyon hortumu ve spiral hortum içerisine konulmuştur.
- 11) Vakum infüzyon naylonu sızdırmalık bantları 3 tarafıda kapatılmıştır.
- 12) Vakum infüzyon seti kurulduktan sonra bir taraftan hava vakumlanırken diğer taraftan reçine girişi olmaktadır.
- 13) Bu işlem Reçine transferi karşıdaki vakum infüzyon tankına ulaşana kadar devam eder.
- 14) Vanalar kapatılır ortama hava girmemesi mutlak önemlidir.
- 15) Kompozit plaka 24 saat vakum ortamında 24 saatte dışarda doğal kürlenmeden sonra kullanıma hazır hale getirilmiştir.



	<p>2) İkinci Aşama</p> <p>Bu aşamada kab içerisinde yer alan reçinenin tamamı vakumlu alan içerisinde ve pompa kapalı konumda iken reçine transferi devam etmektedir.</p>
	<p>3) Üçüncü Aşama</p> <p>Bu aşamada pompa kapalı reçine transferi devam ediyor.</p>

Şekil 4.15: Kompozit plakanın üretim aşamaları

Kompozit plakalar şekilde görüldüğü üretimi tamamlandıktan sonra kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu kompozit plakalar ve A17075-T6 alaşımı su jeti ile belirlenen standartlarda kesilmiştir. Su jeti kesimi Şekil 4.16' da verilmiştir.

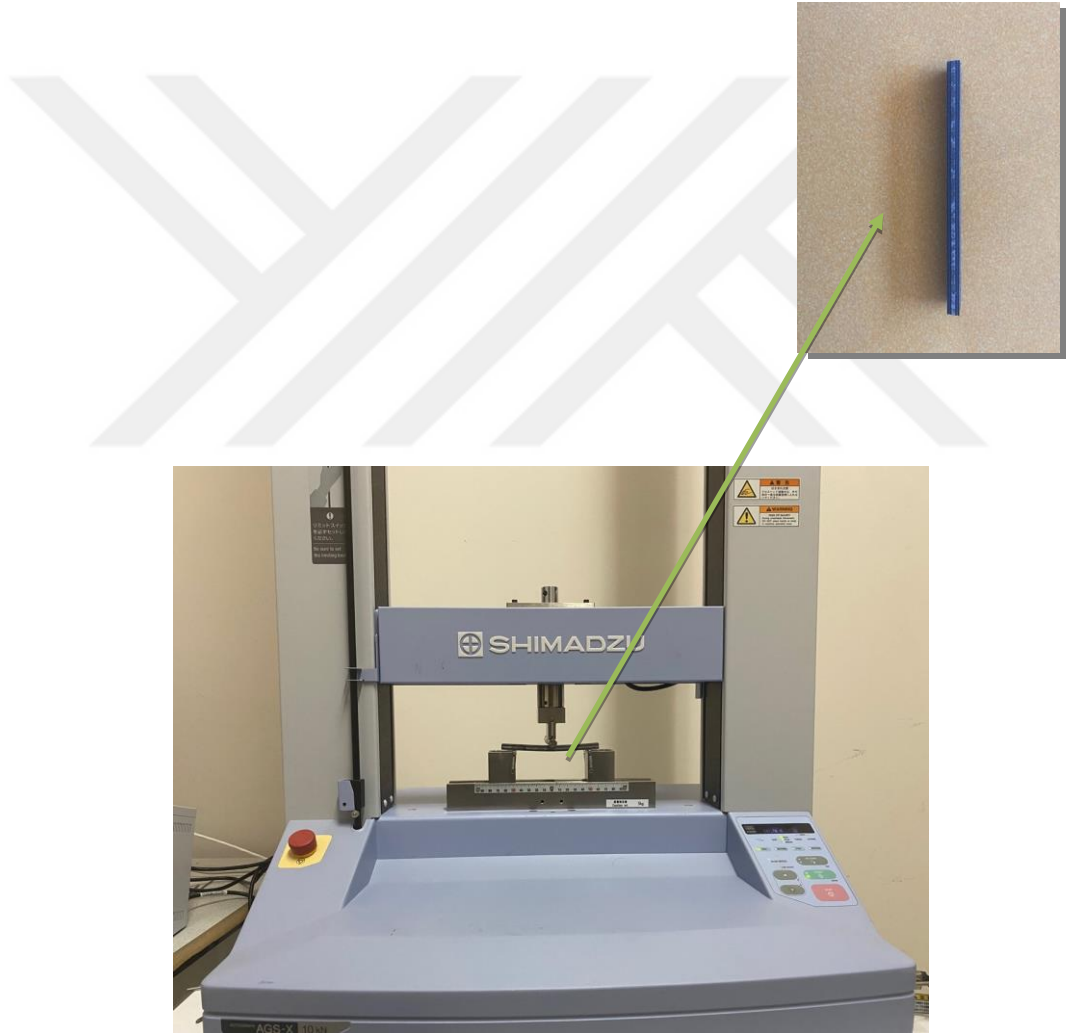


Şekil 4.16: Kompozit ve AL'nin a-b) Su jeti kesimi c-d) Deney numunlerin görüntüsü

5. DENEYSEL BULGULAR

5.1 Üç Nokta Eğme Testi

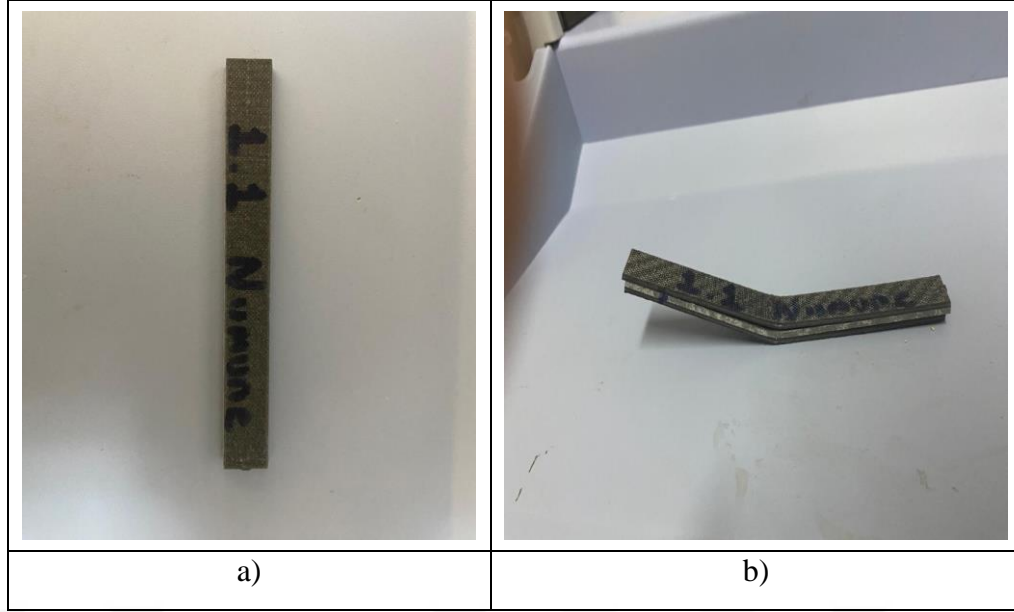
Tez çalışmamız kapsamında hibrid kompozit plakalardan (HKP) hazırlanan üç nokta eğme numuneleri cihaza bağlanarak üç nokta eğme kuvvetine maruz bırakılmıştır. Üç nokta eğme testine ait test standartları ve teknik resimleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Dört farklı hibrid kompozit dizilim için 3’er adet eğme deneyi yapılmıştır. Üç nokta eğme testi için toplamda 12 adet eğme deneyi gerçekleştirilmiştir. Dört farklı dizilim için birer test görüntüsü ve grafiği verilmiştir. Üç nokta eğme testi Şekil 5.1’de verilmiştir.



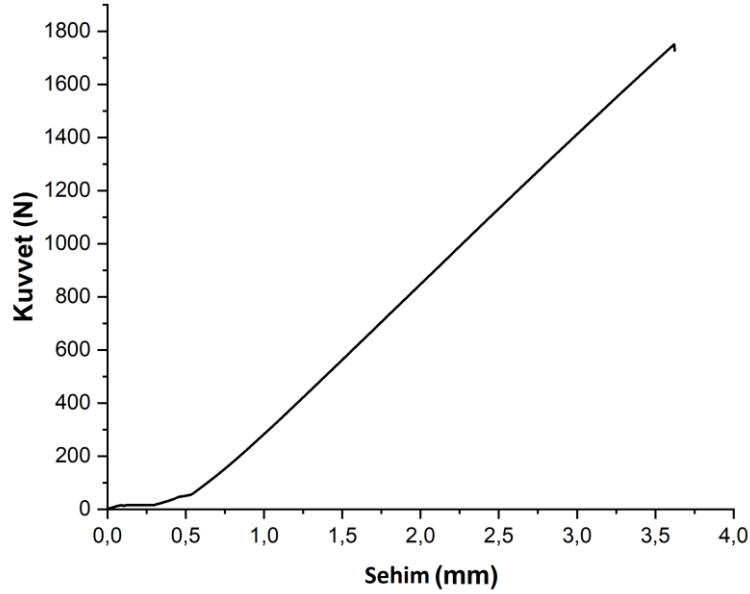
Şekil 5.1: Üç nokta eğme testi

5.1.1 Birinci dizilim (KF-CF-KF-AL7075-KF-CF-KF)

Aşağıdaki şekillerde birinci dizilimine ait numunelerin görüntüsü Şekil 5.2’de verilmiştir. Birinci dizilime ait grafik Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Birinci dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası

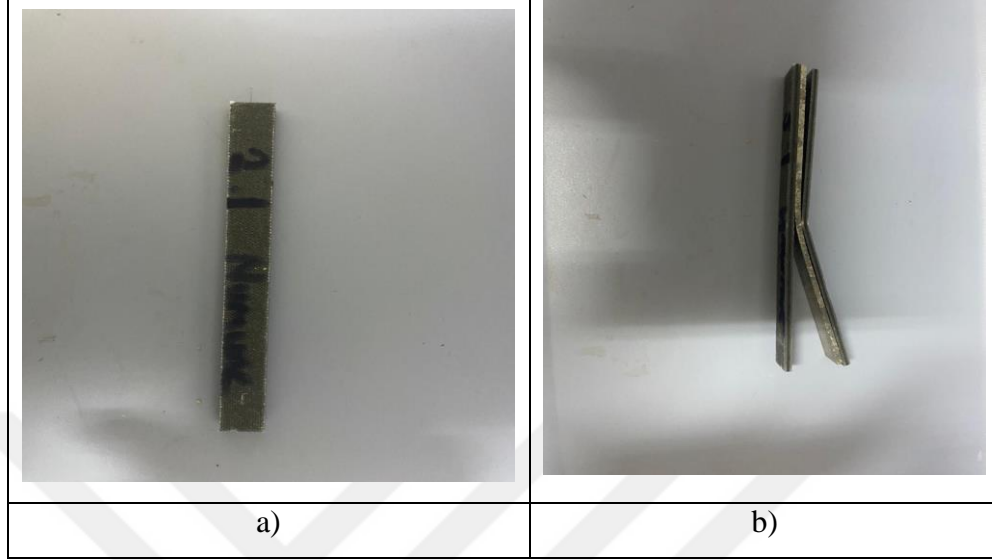


Şekil 5.3: Birinci dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehim grafiği

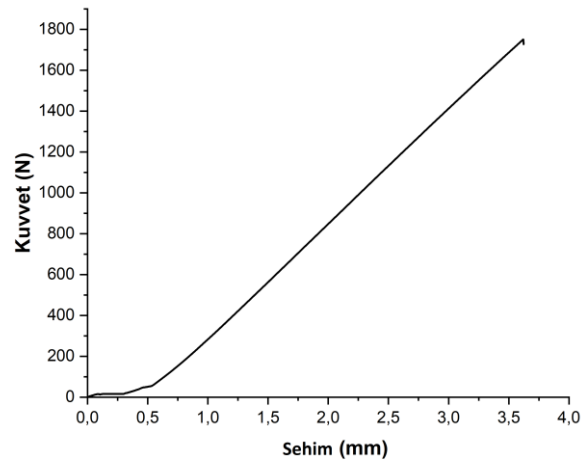
Üç nokta eğme testi yapılan birinci dizilimin birinci numunesinden elde edilen maksimum kuvvet grafik üzerinden 1741,15 N olarak okunmuştur. Bu numune üzerinde maksimum kuvvete karşılık gelen maksimum sehim ise 3.71387 mm'dir. Hibrid plaka üzerinde, eğme kuvvetinin etkisiyle sehim bölgesinde 3. ve 5.tabaka da yer alan fiber tabakaların alüminyum tabakadan ayrıldığı görülmektedir. Cihaz, numune üzerinde herhangi bir hasar tespit etmesi durumunda otomatik olarak durmaya programlıdır.

5.1.2 İkinci dizilim (CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF)

Aşağıdaki şekillerde ikinci dizilime ait numunelerin görüntüsü Şekil 5.4’de verilmiştir. İkinci dizilime ait grafik Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4: İkinci dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası

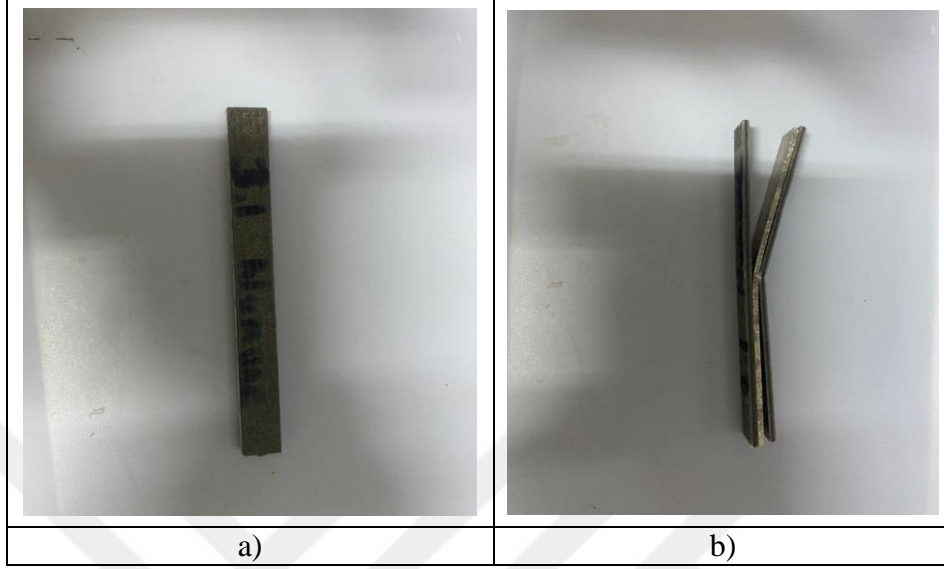


Şekil 5.5: İkinci dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehim grafiği

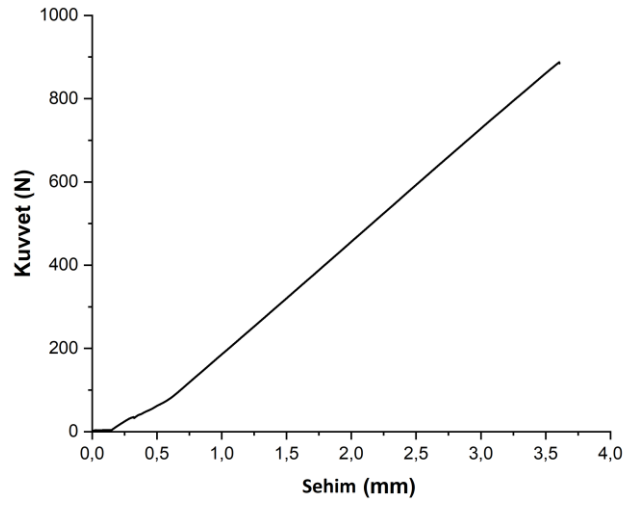
Üç nokta eğme testi yapılan ikinci dizilimin birinci numunesinden deneyde elde edilen maksimum kuvvet grafik üzerinden 1750,57 N olarak okunmuştur. Bu numune üzerinde maksimum kuvvete karşılık gelen maksimum sehim ise 3.61983 mm’dir. Hibrid plaka üzerinde, eğme kuvvetinin etkisiyle 3. tabaka da sol kenar bölgesindeki fiber tabanın yine 5.tabaka da sağ kenar bölgesinde yer alan fiber tabakanın alüminyum tabakadan ayrıldığı görülmektedir.

5.1.3 Üçüncü dizilim (CF-KF-KF-AL7075-KF-KF-CF)

Aşağıdaki şekillerde üçüncü dizilime ait numune görüntüleri Şekil 5.6'de verilmiştir. Üçüncü dizilime ait grafik Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Üçüncü dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası

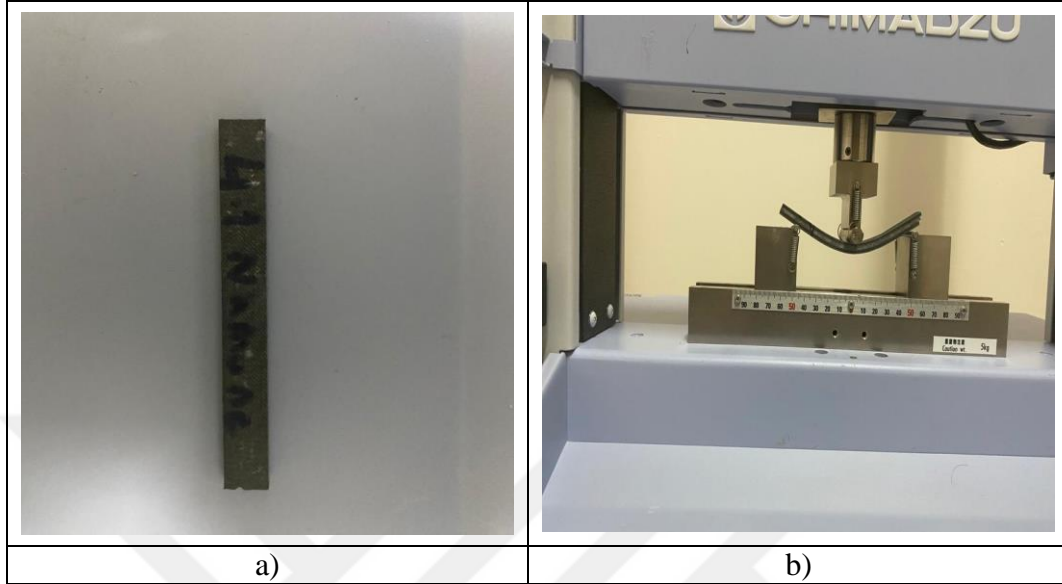


Şekil 5.7: Üçüncü dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehim grafiği

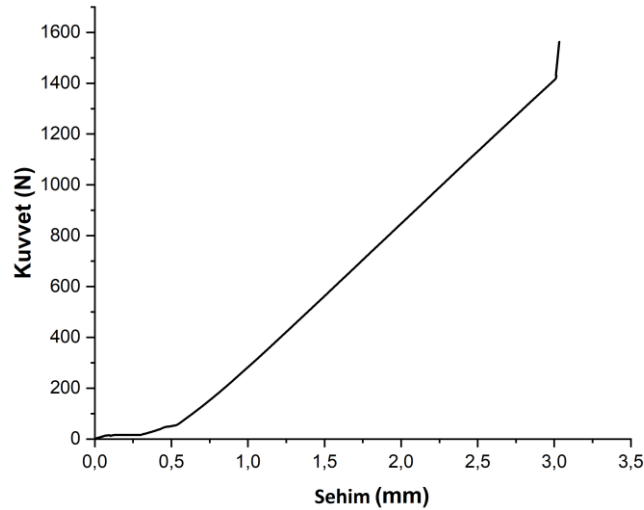
Üç nokta eğme testi yapılan üçüncü dizilimin birinci numunesinden deneyde elde edilen maksimum kuvvet grafik üzerinden 887,76 N olarak okunmuştur. Bu numune üzerinde maksimum kuvvete karşılık gelen maksimum sehim ise 3.60533 mm'dir. Hibrid plakası, eğme kuvvetinin etkisiyle 3. tabaka da sağ kenar bölgesindeki fiber tabanın yine 5.tabaka da sol kenar bölgesinde yer alan fiber tabakanın alüminyum tabakadan ayrıldığı görülmektedir.

5.1.4 Dördüncü dizilim (KF-CF-CF-AL7075-CF-CF-KF)

Aşağıdaki şekillerde dördüncü dizilime ait numune görüntüleri Şekil 5.8’de verilmiştir. Dördüncü dizilime ait grafik Şekil 5.9’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Dördüncü dizilim üç nokta eğme deneyi a) Öncesi b) Sonrası



Şekil 5.9: Dördüncü dizilim üç nokta eğme numunesi kuvvet ve sehim grafiği

Üç nokta eğme testi yapılan dördüncü dizilimin birinci numunesinden deneyde elde edilen maksimum kuvvet grafik üzerinden 1563,38 N olarak okunmuştur. Bu numune üzerinde maksimum kuvvete karşılık gelen maksimum sehim ise 3.03240 mm’dir. Hibrid plaka üzerinde, eğme kuvvetinin etkisiyle sehim bölgesinde 3. ve 5.tabaka da yer alan fiber tabakaların alüminyum tabakadan ayrıldığı görülmektedir.

Hibrid kompozit plakalara (HKP) uygulanan üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen maksimum kuvvet verileri sırasıyla Çizelge 5.1 verilmiştir.

Çizelge 5.1: HKP'ların üç nokta eğme deneyi maximum kuvvet değerleri

	1. Numune	2.Numune	3.Numune
Birinci dizilim	1741,15	1911,33	1572,10
İkinci dizilim	1750,57	2041,94	1461,47
Üçüncü dizilim	887,76	1232,91	965,27
Dördüncü dizilim	1563,38	1830,67	1335

Üç nokta eğme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak birinci dizilimden sırasıyla 1741,15 – 1911,33-1572,10 N'luk kuvvetler elde edilmiştir. Birinci dizilim 2. numune 1911,33 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 3. Numune 1572,10 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Birinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 1741,52 N olarak hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak ikinci dizilimden sırasıyla 1750,57 – 2041,94 -1461,47 N'luk kuvvetler elde edilmiştir. İkinci dizilim 2. numune 2041,94 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 3. Numune 1461,47 ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. İkinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 1751,32 N olarak hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak üçüncü dizilimden sırasıyla 887,76 – 1232,91-965,27 N'luk kuvvetler elde edilmiştir. Üçüncü dizilim 2. numune 1232,91 ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 1. Numune 887,76 ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Üçüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 1028,64 N olarak hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak dördüncü dizilimden sırasıyla 1563,38 –1830,67-1335 N'luk kuvvetler elde edilmiştir. Dördüncü dizilim 2. numune 1830,67 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 3. Numune 1335 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Dördüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 1576,35 N olarak hesaplanmıştır.

HKP'lara uygulanan üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen maksimum sehîm verileri sırasıyla Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.2: HKP'ların üç nokta eğme deneyi maksimum sehîm değerleri

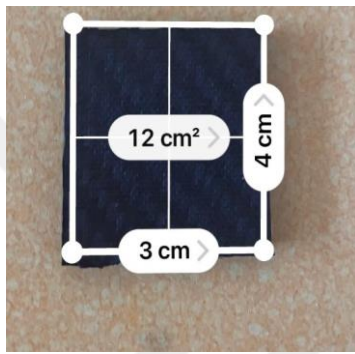
	1. Numune	2.Numune	3.Numune
Birinci dizilim	3.71387	3.17360	2.86083
İkinci dizilim	3.61983	4.10157	3.26450
Üçüncü dizilim	3.60533	2.35147	1.49180
Dördüncü dizilim	3.03240	3.48840	2.67953

Üç nokta eğme testi maksimum sehîm verilerinden yola çıkarak birinci dizilimden sırasıyla 3.71387–3.17360-2.86083 mm'lik maksimum sehîm değerleri elde edilmiştir. Birinci dizilim 1. numune 3.71387 mm ile en yüksek sehîm değerini oluştururken 3. Numune 2.86083 mm ile en düşük sehîm değerini oluşturmaktadır. Birinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama sehîm değeri 3.24943 mm olarak hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testi maksimum sehîm verilerinden yola çıkarak ikinci dizilimden sırasıyla 3.61983–4.10157-3.26450 mm'lik maksimum sehîm değerleri elde edilmiştir. İkinci dizilim 2. numune 4.10157 mm ile en yüksek sehîm değerini oluştururken 3. Numune 3.26450 mm ile en düşük sehîm değerini oluşturmaktadır. İkinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama sehîm değeri 3.66196 mm olarak hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testi maksimum sehîm verilerinden yola çıkarak üçüncü dizilimden sırasıyla 3.60533–2.35147-1.49180 mm'lik maksimum sehîm değerleri elde edilmiştir. Üçüncü dizilim 1. numune 360533 mm ile en yüksek sehîm değerini oluştururken 3. Numune 1.49180 mm ile en düşük sehîm değerini oluşturmaktadır. Üçüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama sehîm değeri 2.48286 mm olarak hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testi maksimum sehîm verilerinden yola çıkarak dördüncü dizilimden sırasıyla 3.03240–3.48840-2.67953 mm'lik maksimum sehîm değerleri elde edilmiştir. Üçüncü dizilim 2. numune 3.48840 mm ile en yüksek sehîm değerini oluştururken 3. Numune 2.67953 mm ile en düşük uzama değerini oluşturmaktadır. Dördüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama sehîm değeri 3.06677 mm olarak hesaplanmıştır.

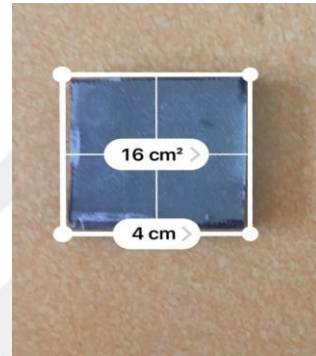
5.2 Yakma Testi

5.2.1 Karbon ve cam fiber tabakaların yakma testi

Yakma testi, teorik olarak verilen fiber ve reçine oranını gerçekte oluşan fiber ve reçine karşılaştırmak için yapılmıştır. Bu numuneler 10 adet kumaştan olacak şekilde üretilmiştir. Sadece karbon ve sadece cam fiber plakalardan alınan numuneler yakma testine maruz bırakılmıştır. Yakma testine ait test standartları ve teknik resimleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Yakma testi sonucunda plaka içerisinde yer alan fiber oranları tespiti yapılmıştır. Testler için kesilen dikdörtgen numuneler Şekil 5.10’da verilmiştir.



a) Karbon Fiber



b) Cam Fiber

Şekil 5.10: Karbon ve cam fiber plaka yakma numunesi

Karbon ve Cam fiber plakanın yakma testi öncesindeki ağırlıkları Şekil 5.11’ de verilmiştir.



a) Karbon Fiber



b) Cam Fiber

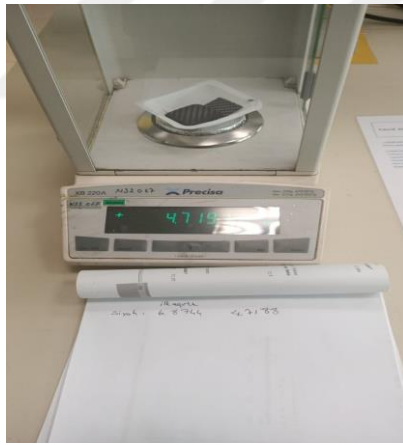
Şekil 5.11: Karbon ve cam fiber plaka yakma öncesi ağırlıkları

Yakma testleri Çalık Denim bünyesinde yer alan kül fırınında yapılmıştır. Kül fırını için belirlenen parametreler maksimum kapasite sıcaklıkta (600°C) ve 15 dakikadır. Kül fırını Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12: Kül fırını

Fırın içerisinde 15 dakika sonra kaldıktan sonra plakalar oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Yaklaşık olarak 1 saat oda sıcaklığında kalan kumaş üzerindeki kurumlar temizlenmiştir. Fırınlama ve kurum temizleme işleminin ardından reçineden arındırılan kumaşların ağırlıkları tekrar ölçülmüştür. Ölçüm sırasında elde edilen değerler Şekil 5.13’de verilmiştir.



a) Karbon Fiber yakma sonrası



b) Karbon fiber yakma öncesi

Şekil 5.13: Karbon ve cam fiber plaka yakma sonrası ağırlıkları

Yakma testi tamamlanan numunelerin teknik değerleri (boyutlar, alan, ilk ağırlık ve son ağırlık) Çizelge 5.3 verilmiştir.

Çizelge 5.3: Karbon ve cam fiber numunelerin yakma öncesi ve sonrası teknik değerleri

	Karbon Fiber	Cam Fiber
Boyutlar	4x3 cm	4x4 cm
Alan	12 cm ²	16 cm ²
İlk Ağırlık	6,8793	10,0034
Son Ağırlık	4,7193	6.0752

5.2.2 Karbon ve cam fiber tabakanın fiber oranı hesaplanması

Karbon ve cam fiber takaların reçineden arındırıldıktan sonra fiber oranlarının tespiti için aşağıdaki 2 bağıntıdan yararlanılmaktadır. Sırasıyla karbon fiber ve cam fiber için;

$$V_r = \frac{6,8793 - 4,7193}{6,8793} = 0.31 \} \text{ Yani \%69 fiber \%31 Reçine}$$

$$V_f = 1 - 0.31 = 0.69$$

$$V_r = \frac{10,0034 - 6,0752}{10,0034} = 0.392 \} \text{ Yani \%60,8 Fiber \%39,2 Reçine}$$

$$V_f = 1 - 0.39 = 0.608$$

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'den verilen karbon ve cam fiberin teknik özelliklerinden Fiber oranı (Vf) teorik olarak hesaplanmıştır. Bölüm 5.2' de verilen yakma testi sonucunda elde edilen gerçek durumdaki fiber oranları ile karşılaştırılmıştır. Teorik ve gerçek fiber oranları Çizelge 5.4' de verilmiştir.

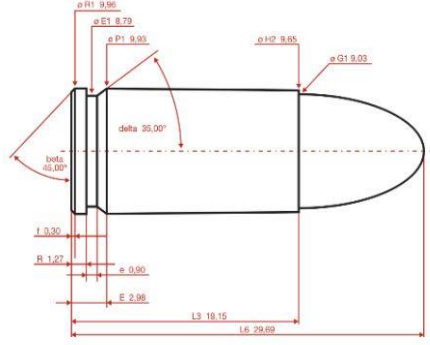
Çizelge 5.4: Teorik ve gerçek fiber oranları

	Teorik Fiber Oranı	Gerçek Fiber oranı
Karbon Fiber	% 47	% 69
Cam Fiber	% 49.8	% 60.8

Karbon fiberin teorik olarak hesaplanan fiber oranı %47'dir. Yakma testi sonucunda karbon fiber için gerçek durumda oluşan fiber oranı %69 oranındadır. Teorik karbon fiber oranı ile gerçek karbon fiber oranı arasındaki fark %22'dir. Cam fiberin teorik olarak hesaplanan fiber oranı %49.8'dir. Yakma testi sonucunda cam fiber için gerçek durumda oluşan fiber oranı %60.8 oranındadır. Teorik cam fiber oranı ile gerçek cam fiber oranı arasındaki fark %11 'dir.

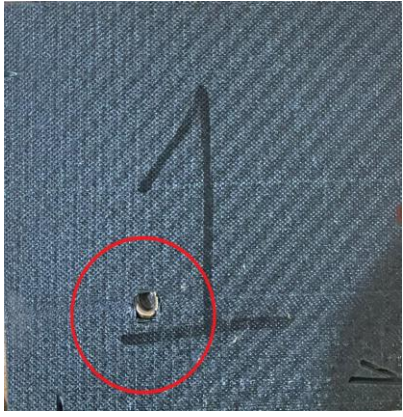

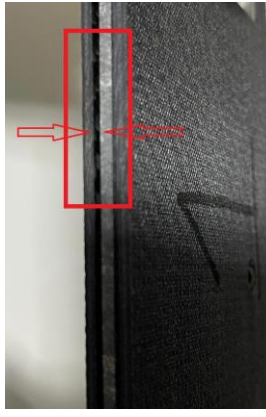
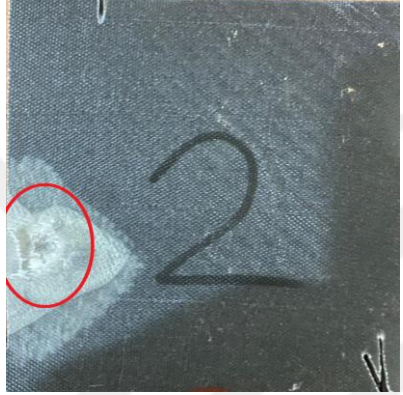
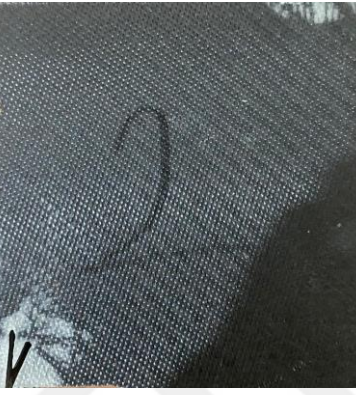

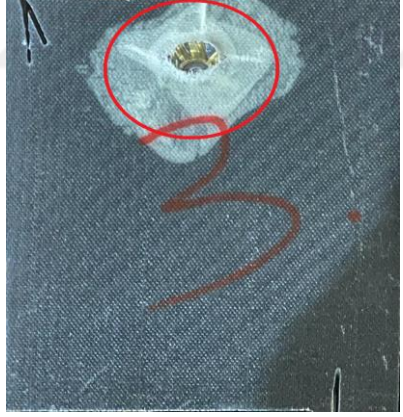
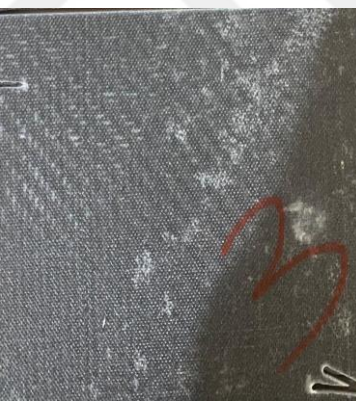



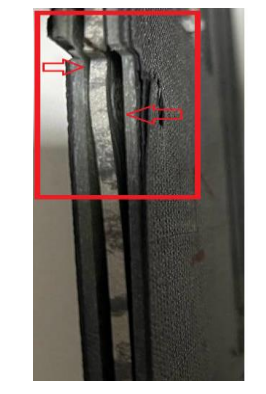
5.3 Atış Testi

Üretilen dört farklı hibrid kompozit dizilimlerine, poligon ortamında yetkili kişiler tarafından birer el ateş edilmiştir. Ateş sırasında kullanılan mermiye ait teknik resim Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14: Tabanca mermisine ait teknik resim(MKEK Hafif ve Ağır Mühimmat Ailesi, 2021)

Deneylerde, atış standartları önemsenerek 7.95-8 gram ağırlığa sahip 9x19 mm boyutlarında ki mermi kullanılmıştır. Hedefte 4.5-5 m aralığında atış yapılmıştır. Mukasey ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ortalama mermi hızı 371 m/sn'dir. Kullanılan mermi ve atış özellikleri aynı olduğundan dolayı bu çalışmada mermi hızı olarak bu değer referans alınmıştır (Mukasey & Diğ., 2008). Hibrid kompozit plaka dizilimlerine atış testlerinden sonra plaka ön yüzlerinden, arka yüzlerinden ve yan yüzlerinde oluşan tesirlerin görüntüsü Şekil 5.15'de verilmiştir.

	Ön Yüz	Arka Yüz	Yan Yüz
1. Dizilim atış testi sonrası			
2. Dizilim atış testi sonrası			
3. Dizilim atış testi sonrası			
4. Dizilim atış testi sonrası			

Şekil 5.15: HKP’NIN atış sonrası ön, arka ve yan yüzde meydana gelen deformasyon

HKP'ların delinme durumları ve tabakalarının deliminasyon durumları hakkında Çizelge 5.5'de bilgi verilmiştir. HKP'da delinme varsa (DV) delinme yoksa (DY) yazılmıştır. Tabaka deliminasyonları kısmi veya tam deliminasyon şeklinde belirtilmiştir.

Çizelge 5.5: HKP'ların atış deneyi sonrası delinme durumu

	Delinme Durumu	Tabakaların Deliminasyonu
1. Dizilim (KF-CF-KF-AL7075-KF-CF-KF)	DY	Kısmi deliminasyon 4-5 Tabakada
2. Dizilim (CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF)	DY	Kısmi deliminasyon 4-5 Tabakada
3. Dizilim (CF-KF-KF-AL7075-KF-KF-CF)	DY	Kısmi deliminasyon 4-5.Tabakada
4. Dizilim (KF-CF-CF-AL7075-CF-CF-KF)	DY	Tam deliminasyon

Atış testi sonrası HKP'ların delinme durumları incelendiğinde atış deneyi sonrası mermi çekirdeğinin 1. Dizilim ön yüzündeki 1,2 ve 3 tabakalara saplandığı 4. tabaka yani alüminyum yüzeye ulaşmadığı belirlenmiştir. Bu dizilimin arka yüzünde herhangi bir hasar görülmemiştir. Buna ilave olarak yan yüzden incelendiğinde ise 4 ve 5 tabakalar arasında (alüminyum ile karbon fiber plaka arası) deliminasyon tespit edilmiştir. Atış testi sonrası mermi çekirdeğinin 2. Dizilimin ön yüzündeki ilk tabakalayı hasara uğratıp dışarı savrulduğu görülmüştür. Çekirdeğin alüminyum yüzeye ulaşmadığı ve herhangi bir hasara uğratmadığı belirlenmiştir. Plakanın arka yüzünde herhangi bir hasar görülmemiştir. Buna ilave olarak yan yüzden incelendiğinde ise 4 ve 5 tabakalar arasında (alüminyum ile cam fiber plaka arası) deliminasyon tespit edilmiştir. Atış testi sonrası mermi çekirdeğinin 3. Dizilimin ön yüzündeki ilk tabakaya saplanıp yüzeye yayıldığı görülmüştür. Çekirdeğin alüminyum yüzeye ulaşmadığı ve herhangi bir hasara uğratmadığı belirlenmiştir. Plakanın arka yüzünde herhangi bir hasar görülmemiştir. Buna ilave olarak yan yüzden incelendiğinde ise 4 ve 5 tabakalar arasında (alüminyum ile karbon fiber plaka arası) deliminasyon görülmüştür. Atış testi sonrası mermi çekirdeğinin 4. Dizilimin ön yüzündeki ilk tabakalayı hasara uğratıp dışarı savrulduğu görülmüştür. Çekirdeğin alüminyum yüzeye ulaşmadığı ve herhangi bir hasara uğratmadığı belirlenmiştir. Plakanın arka yüzünde herhangi bir hasar görülmemiştir. Buna ilave olarak yan yüzden incelendiğinde ise bütün tabakaların çarpışma etkisiyle tam deliminasyon tespit edilmiştir.

5.4 Basma Testi

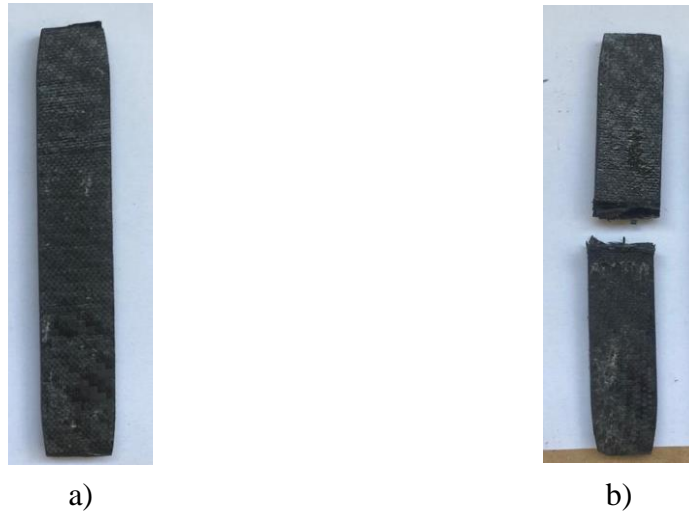
Tez çalışması kapsamında hazırlanan 2 adet karbon ve 2 adet cam basma numuneleri cihaza bağlanarak basma kuvvetine maruz bırakılmıştır. Her bir numune 10 adet kumaştan olacak şekilde üretilmiştir. Basma testine ait test standartları ve teknik resimleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Basma testine ait basma test cihazı Şekil 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.16: Basma test cihazı

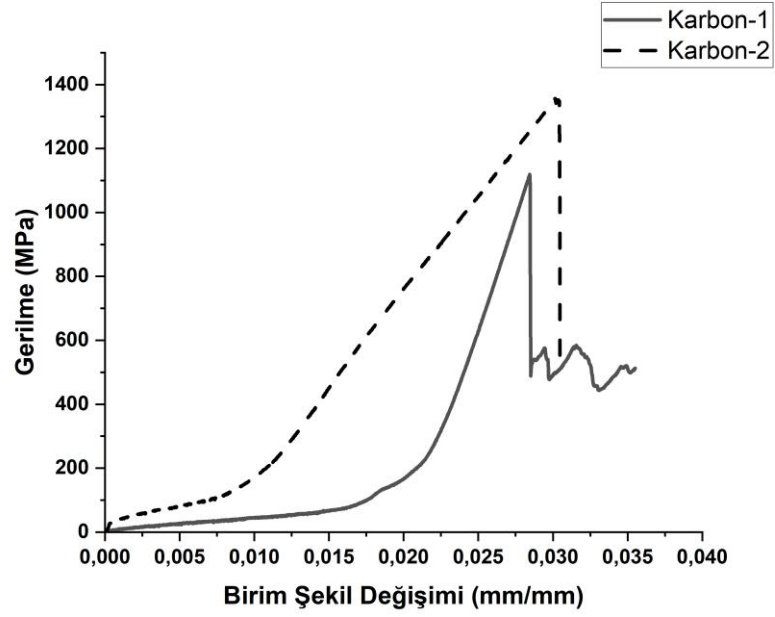
5.4.1 Karbon plaka

Aşağıda karbon fiberden oluşan 2 adet basma numunesine basma testi uygulanmıştır. Karbon plaka basma numunesi Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17: Karbon plaka basma numunesi deney a) öncesi b) sonrası

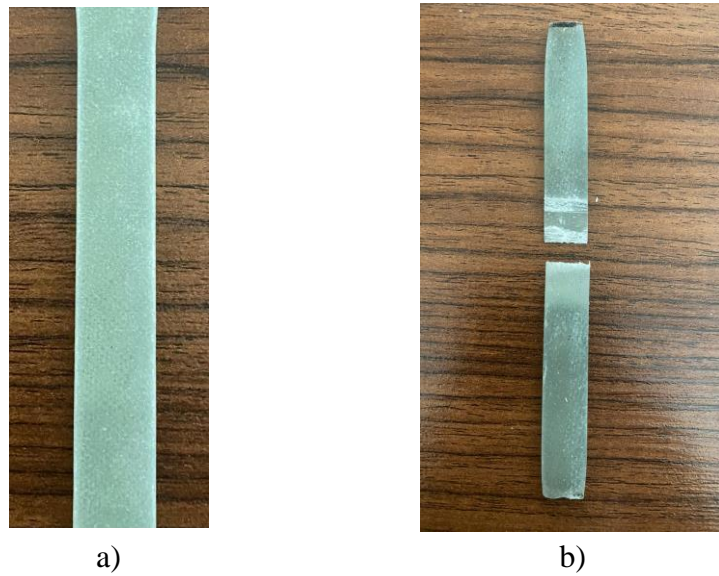
Karbon plaka basma numunelerine ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği aşağıdaki Şekil 5.18’ de verilmiştir.



Şekil 5.18: Karbon plaka basma numuneleri gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

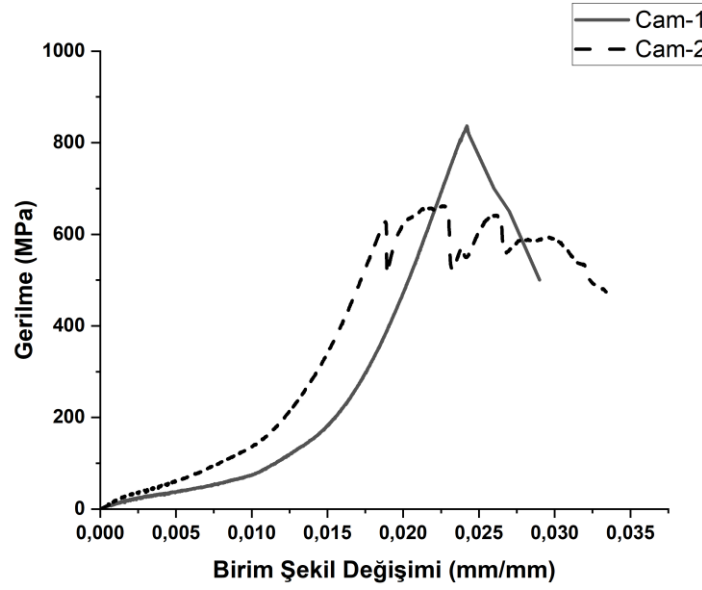
5.4.2 Cam plaka

Aşağıda cam fiberden oluşan 2 adet basma numunesine basma testi uygulanmıştır. cam plaka basma numunesi Şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19: Cam plaka basma numunesi a) Deney öncesi b) Deney sonrası

Cam plaka basma numunelerine ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği aşağıdaki Şekil 5.20' de verilmiştir.



Şekil 5.20: Cam plaka basma numuneleri gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Karbon ve cam numunelerinden oluşan basma numuneleri basma deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen maksimum gerilme değerleri Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6: Basma deneyi maksimum gerilme değerleri (MPa)

	1. Numune	2. Numune
Karbon plaka	1119	1356
Cam plaka	836	641

Basma testi sonucunda elde edilen gerilme verilerinden yola çıkarak karbon fiber plaka numunelerinden sırasıyla 1119 ve 1356 MPa'lık maksimum gerilme değerleri elde edilmiştir. 2. numune 1356 MPa ile maksimum gerilme değerini oluşturmuştur. Cam fiber plaka numunelerinden sırasıyla 641 ve 836 MPa'lık maksimum gerilme değerleri elde edilmiştir. 1. numune 836 MPa ile maksimum gerilme değerini oluşturmuştur.

Karbon ve cam numunelerinden oluşan basma numuneleri basma deneyine tabi tutulmuş ve birim şekil değişimleri hesaplanmıştır. Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişim verileri Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.7: Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimi (mm/mm)

	1. Numune	2. Numune
Karbon plaka	0.0284	0.0301
Cam plaka	0.0261	0.0242

Basma testi sonucunda birim şekil değişimi verileri elde edilmiştir. Karbon plakaya ait maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimi sırasıyla 0.0281 ve 0.0301 değerleri elde edilmiştir. 2. numune 0.0301 ile maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimini oluşturmaktadır. Cam fiber plaka numunelerinden sırasıyla 0.0261 ve 0.0242 değerleri elde edilmiştir. 1. numune 0.0261 maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimini oluşturmaktadır.

5.5 Çekme Testi

Bu çalışma kapsamında hazırlanan 2 adet karbon plaka numunesi, 2 adet cam plaka numunesi, 2 adet Alüminyum numunesi ve 3'er adetten oluşan 12 adet hibrid çekme numunesi toplamda 18 numune çekme cihazına bağlanarak çekme standartları doğrultusunda teste tabi tutulmuştur. Çekme testine ait test standartları ve teknik resimleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. Çekme test cihazı Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21: Çekme Test Cihazı

Bu çalışma kapsamında hazırlanan 2 adet karbon plaka numunesi, 2 adet cam plaka numunesi, 2 adet Alüminyum numunesine çekme testi yapılmıştır. Çekme testi sonucunda

elde edilen kuvvet-uzama değerleri yardımıyla gerilme-birim Şekil değiştirme grafiği elde edilmiştir. Burada hesaplanacak kesit alanları iÇin gerekli olan tabaka kalınlıkları sırasıyla karbon iÇin 4 mm, cam iÇin 3,5 mm ve alüminyum iÇin 2 mm'dir. Burada uzunluk her test numunesi iÇin standart olup 13 mm'dir AŞağıda ki Formül 5.5 ile gerilme değerleri hesaplanıp gerilme-Şekil değiştirme grafiği karbon, cam ve alüminyum iÇin ayrı ayrı verilmiştir.

$$\sigma_{\text{Őeki}} = \frac{F}{A}$$

(Formül 5.5)

Burada;

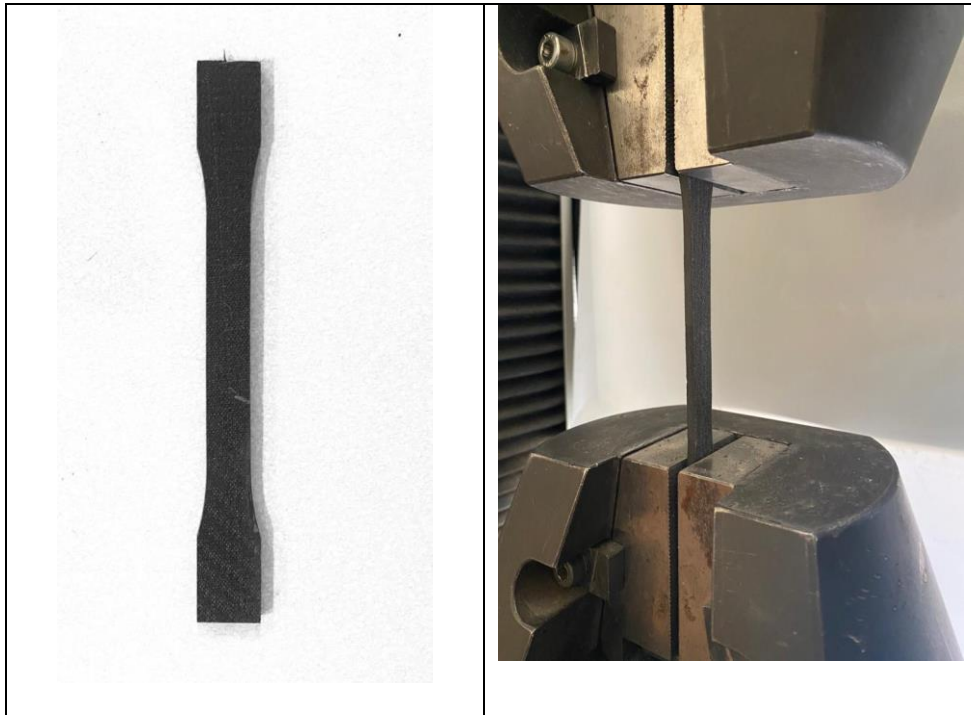
$\sigma_{\text{Őeki}}$ – Őeki gerilmesi

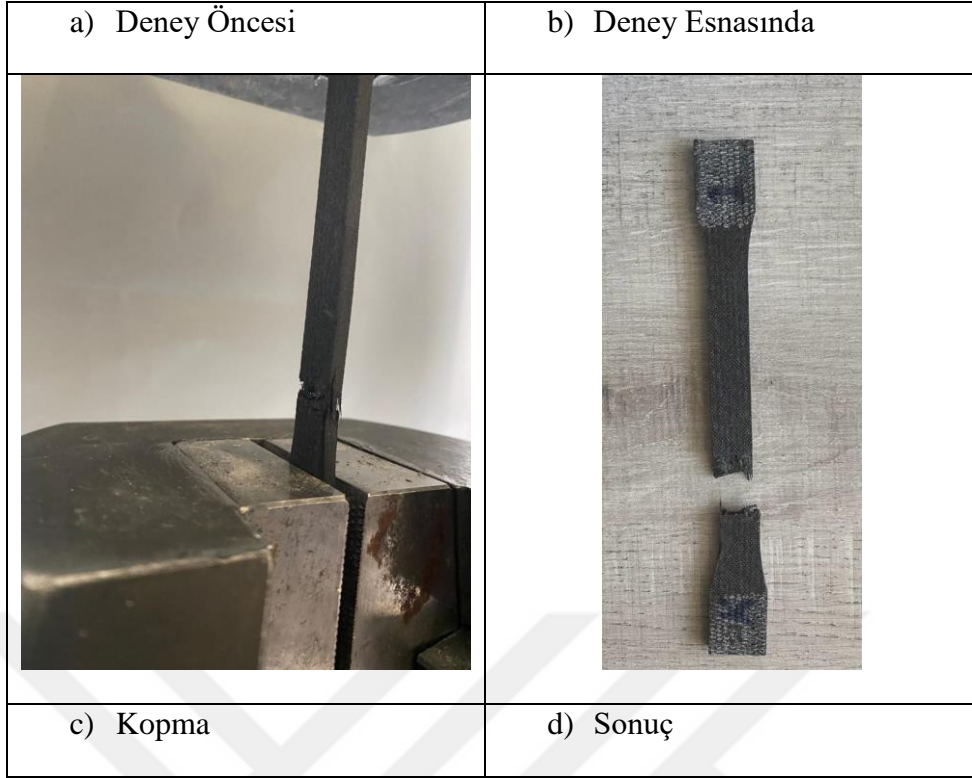
A – Kesit alanı

F - Kuvvet

5.5.1 Karbon plaka

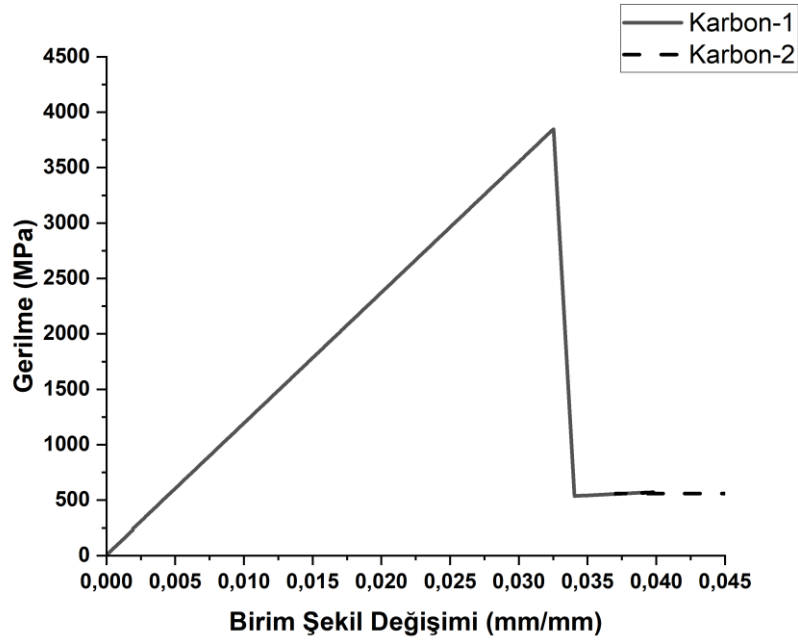
AŞağıda karbon fiberden oluşan 2 adet Çekme numunesine Çekme testi uygulanmıştır. Karbon Çekme numunesi Şekil 5.22'de verilmiştir.





Şekil 5.22: Karbon plakanın deney a) Öncesi b) Esnasında c) Kopma d) Sonuç

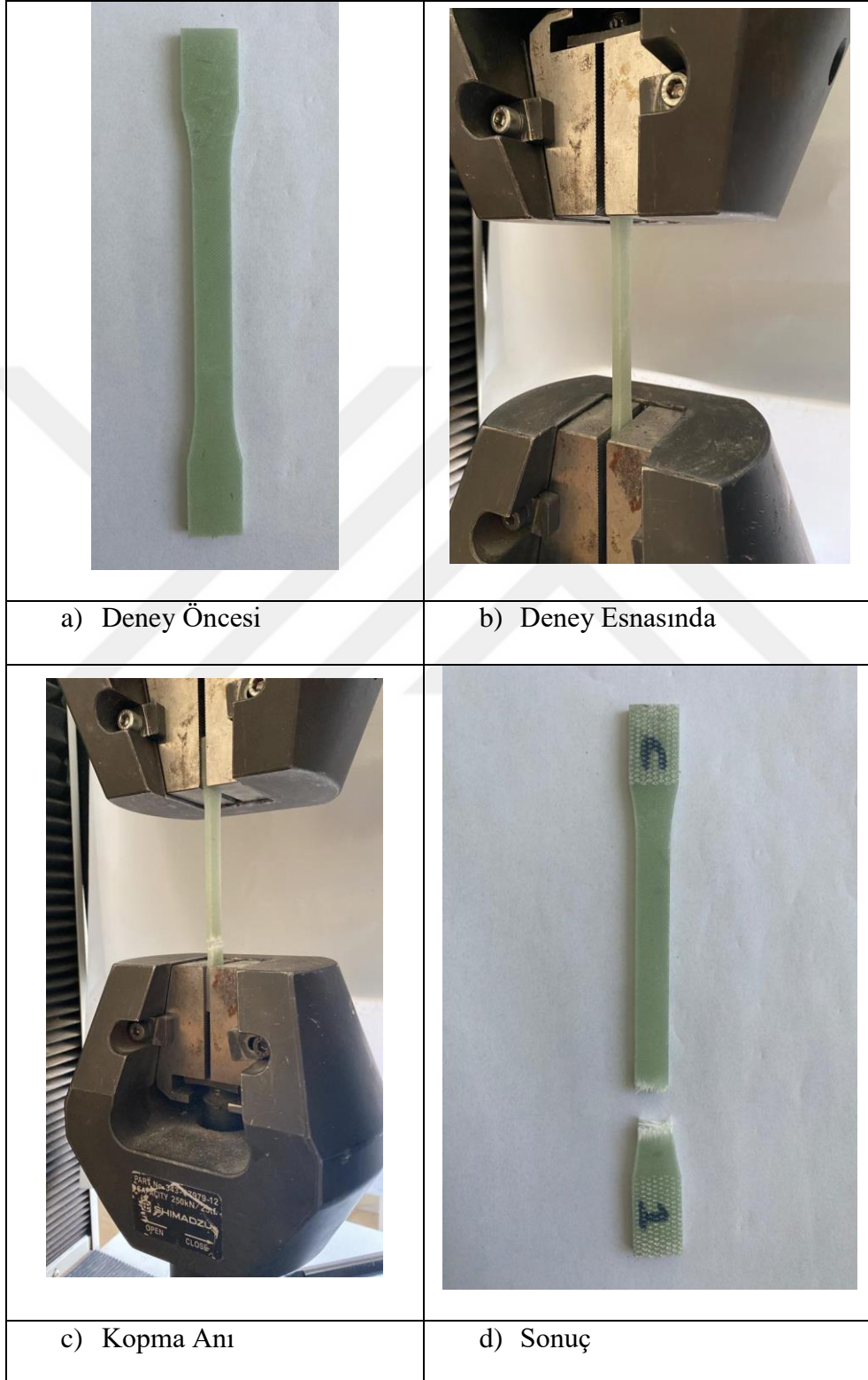
Çekme deneyi sonucunda karbon plakaya ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği aşağıdaki Şekil 5.23' de verilmiştir.



Şekil 5.23: Karbon plaka çekme deneyi gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

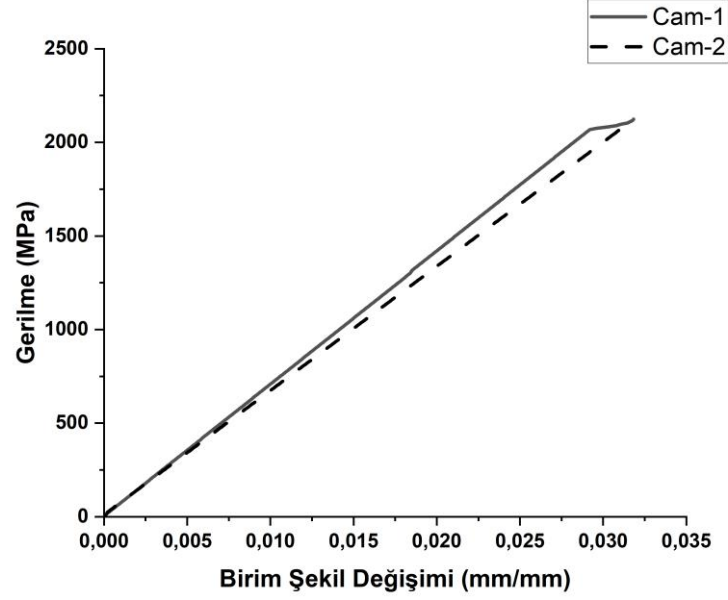
5.5.2 Cam plakası

Aşağıda cam fiberden oluşan 2 adet çekme numunesine çekme testi uygulanmıştır. Cam çekme numunesi Şekil 5.24' de verilmiştir.



Şekil 5.24: Cam plakanın deney a) Öncesi b) Esnasında c) Kopma d) Sonuç

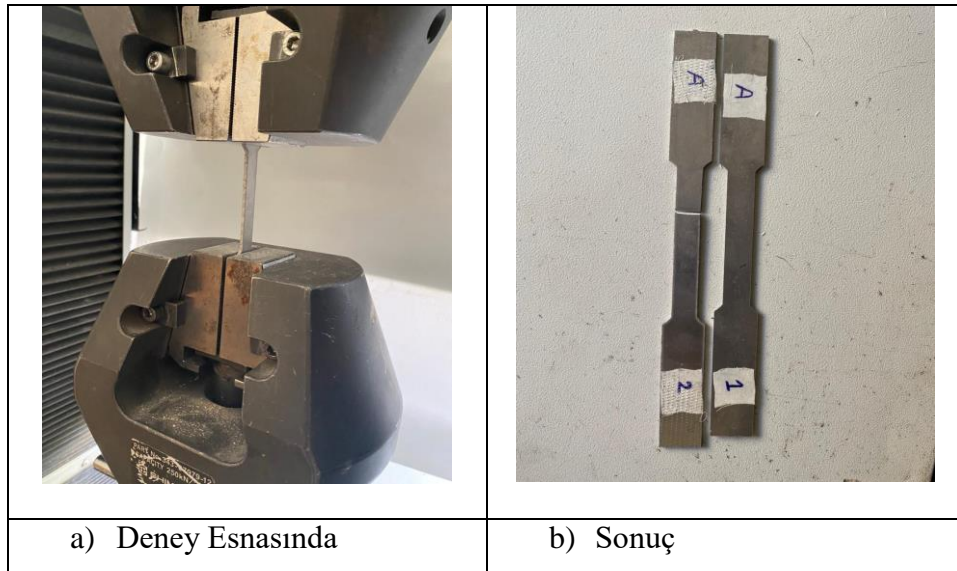
Çekme deneyi sonucunda cam plakaya ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.25 ile verilmiştir.



Şekil 5.25: Cam plaka çekme deneyi gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

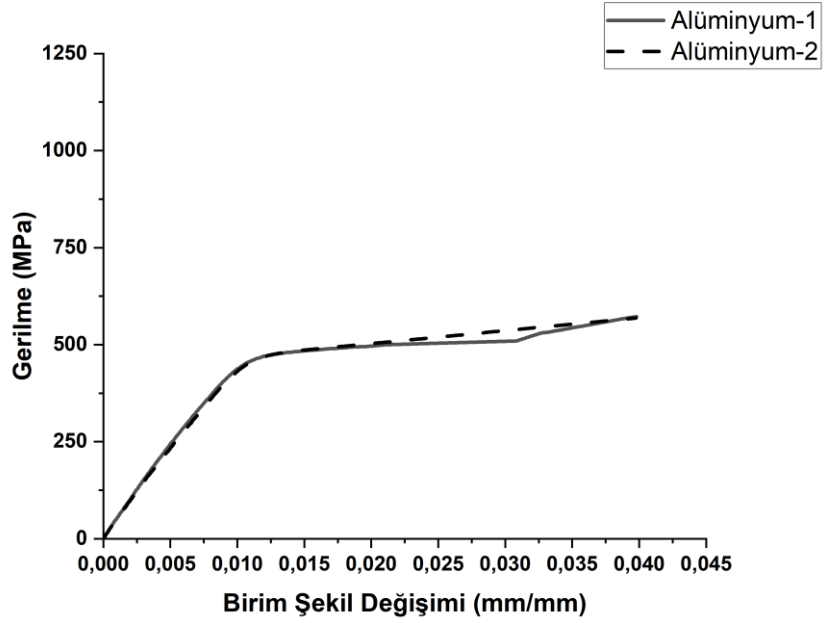
5.5.3 Alüminyum Numunesi

Aşağıda alüminyumdan oluşan 2 adet çekme numunesine çekme testi uygulanmıştır. Alüminyum numunesi Şekil 5.26' de verilmiştir.



Şekil 5.26: Alüminyum numunenin a) Deney Esnasında b) Sonuç

Çekme deneyi sonucunda alüminyuma ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği aşağıdaki Şekil 5.27’ de verilmiştir.



Şekil 5.27: Alüminyumun çekme deneyi gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Karbon, cam ve alüminyum numuneleri sırasıyla çekme deneyine tabi tutulmuş ve kuvvet-şekil değişimi değerleri elde edilmiştir. Çekme numunelerinden elde edilen bu kuvvet değerleri Formül 5.5 ile verilen bağıntı yardımıyla gerilme değerleri hesaplanmıştır. Karbon, cam ve alüminyum plakalar için maksimum gerilme değerleri sırasıyla Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Karbon, cam ve alüminyum plakanın maksimum gerilme değerleri (MPa)

	1. Numune	2. Numune
Karbon Plaka	3848	4038
Cam Plaka	2125	2136
Alüminyum Plaka	572	568

Çekme testi sonucunda karbon plakanın maksimum gerilme değeri 1 ve 2. numune sırasıyla için 3848 ve 4038 MPa olarak hesaplanmıştır. 1. Numune 3848 MPa’lık gerilme ile en yüksek gerilme değerini oluştururken 2. Numune 4038 MPa ile en düşük gerilme

değerini oluşturmaktadır. Çekme testi sonucunda cam plakanın maksimum gerilme değeri 1 ve 2. numune sırasıyla için 2125 ve 2136 MPa olarak hesaplanmıştır. 2. Numune 2136 MPa'lık gerilme ile en yüksek gerilme değerini oluştururken 1. Numune 2125 MPa ile en düşük gerilme değerini oluşturmaktadır. Çekme testi sonucunda alüminyum plakanın maksimum gerilme değeri 1 ve 2. numune sırasıyla için 572 ve 568 MPa olarak hesaplanmıştır. 1. Numune 572 MPa'lık gerilme ile en yüksek gerilme değerini oluştururken 2. Numune 568 MPa ile en düşük gerilme değerini oluşturmaktadır.

Karbon, cam ve alüminyum numuneleri sırasıyla çekme testi tabii tutulmuş ve kuvvet-şekil değişimi değerleri elde edilmiştir. Bu veriler yardımıyla birim şekil değişimi değerleri hesaplanmıştır. Karbon, cam ve alüminyum plakalar için maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimi değerleri sırasıyla Çizelge 5.9 ile verilmiştir.

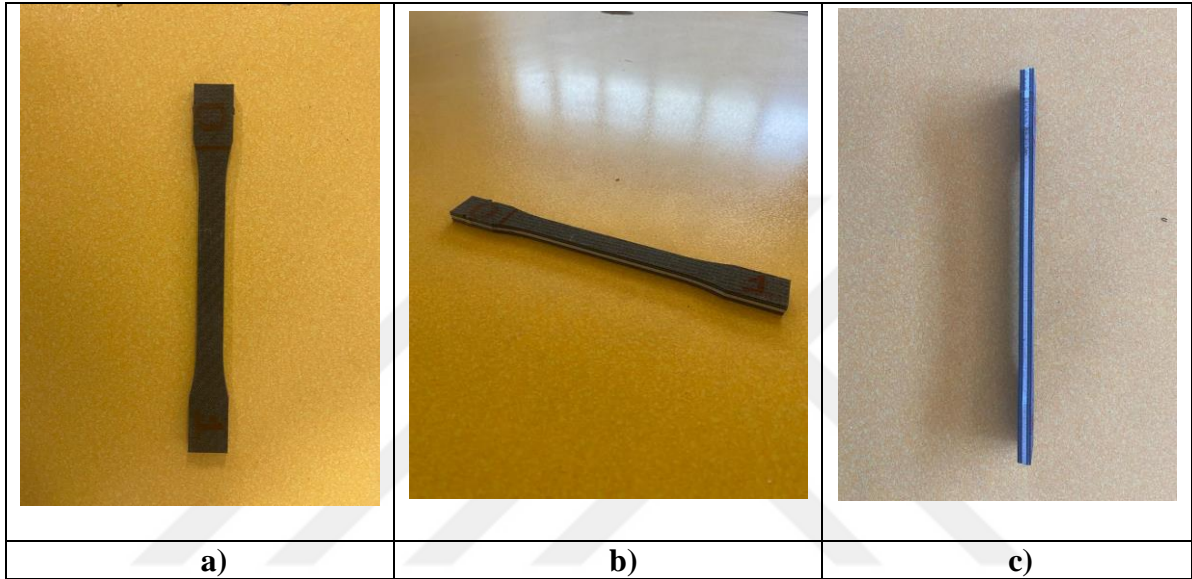
Çizelge 5.9: Karbon, cam ve alüminyum plakanın birim şekil değişimi (mm/mm)

	1. Numune	2. Numune
Karbon Plaka	0.0325	0.0362
Cam Plaka	0.0318	0.0317
Alüminyum Plaka	0.0398	0.0397

Çekme testi sonucunda karbon plakanın maksimum gerilmeye karşılık gelene birim şekil değişimi yine grafik üzerinden 1 ve 2. numune sırasıyla 0.325 ve 0.0362 değerleri elde edilmiştir. 2. Numune 0.0362 ile maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimini oluşturmaktadır. Çekme testi sonucunda cam plakanın maksimum gerilmeye karşılık gelene birim şekil değişimi yine grafik üzerinden 1 ve 2. numune sırasıyla 0.0318 ve 0.0317 değerleri elde edilmiştir. 1. Numune 0.0318 ile maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimini oluşturmaktadır. Çekme testi sonucunda alüminyum plakanın maksimum gerilmeye karşılık gelene birim şekil değişimi yine grafik üzerinden 1 ve 2. numune sırasıyla 0.0398 ve 0.0397 değerleri elde edilmiştir. 1. Numune 0.0398 ile maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değişimini oluşturmaktadır.

5.5.4 Hibrid kompozit plaka (HKP) numuneleri

Aşağıda hibrid kompozit plakalardan oluşan 4 farklı dizilim için 3'er adet çekme numunesi toplamda 12 adet çekme numunesi oluşturulmuştur. HKP'nin farklı açılardan görünüşleri Şekil 5.28' de verilmiştir. HKP'lara çekme deneyi uygulanmış ve Bölüm 5.5.4.1 ile 5.5.4.4 arasında bu dizilimlere ait deneye ait görüntüleri ve elde edilen verilerden oluşturulan grafikleri yer almaktadır. Bölüm 5.5.4.4'ün sonunda ise bu 4 farklı dizilime ait verilerin sonuçları tabloda verilmiştir.



Şekil 5.28: HKP'nin görünüşleri a) Üstten b) izometrik c) yandan

Hibrid kompozit plakaların çekme testi esnasında tamamen kompa gerçeklemediği görülmüştür. Bu hibrid kompozit plakaların çekme testi esnasında hibrid tabaka yapısından kaynaklı ani kırılmalar gözlemlenmiştir. Bu ani kırılmalar numune görüntüleri bölümünde kırmızı daire içerisinde gösterilmiştir. Ani kırılmalar sonucunda çekme test cihazı çekme testini otomatik olarak sonlandırmıştır. Bu nedenle bu dört dizilim kendi aralarında test sırasında elde edilen kuvvet-uzama grafiği ve verileri ile mukayese edilmiştir. Bu dört farklı dizilimin çekme testi sırasında elde edilen kuvvet-uzama verilerinden kuvvet-uzama grafikleri oluşturulmuştur.

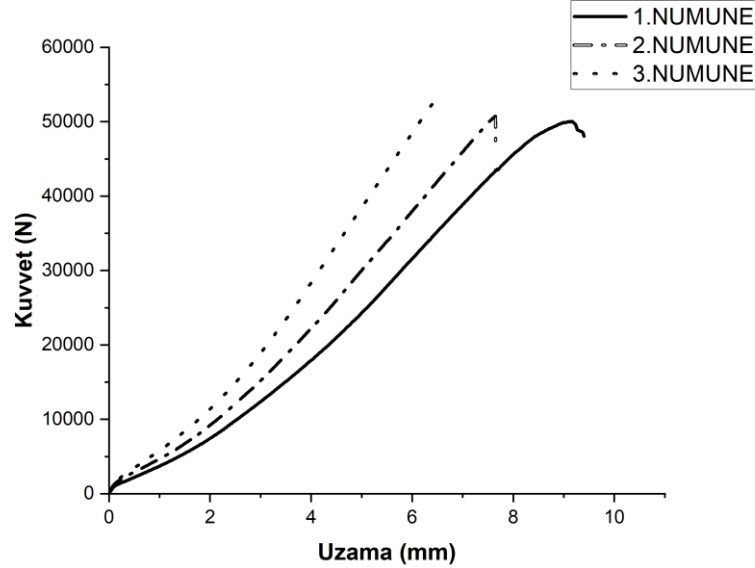
5.5.4.1 Birinci dizilim (KF-CF-KF-AL7075-KF-CF-KF)

Aşağıdaki şekillerde HKP'nın KF-CF-KF-AL7075-KF-CF-KF dizilimine ait çekme numune görüntüleri Şekil 5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.29: Birinci dizilim numunesi deney a) Öncesi b) Esnasında c) Kopma anı d) Sonuç

Çekme deneyi sonucunda birinci dizilim çekme numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği aşağıdaki Şekil 5.30' de verilmiştir.

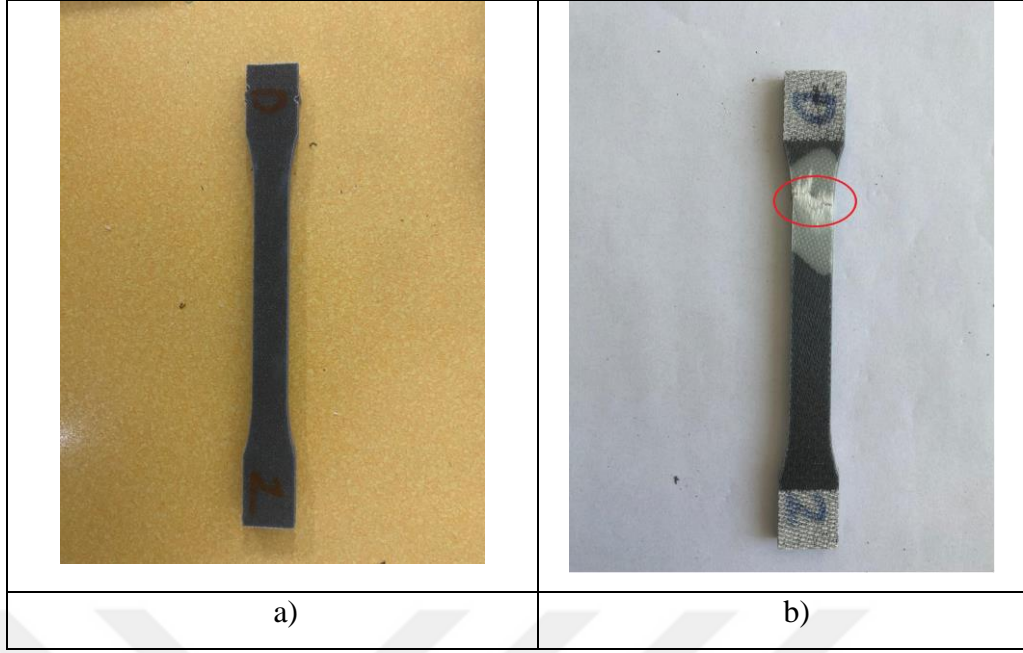


Şekil 5.30: Birinci dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği

Birinci dizilim numunelerinden sırasıyla 48560– 49247- 50269 N'luk kuvvetler elde edilmiştir. Birinci dizilim 3. numune 50269 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 1. Numune 48560 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Birinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 49358 N olarak hesaplanmıştır. Birinci dizilim çekme numuneleri incelendiğinde 1. tabakayı oluşturan karbon fiber tabakanın kopması ile deney cihazı otomatik olarak deneyi sonlandırmıştır. Diğer fiber tabakalar ve Alüminyum da herhangi bir hasar görülmemiştir.

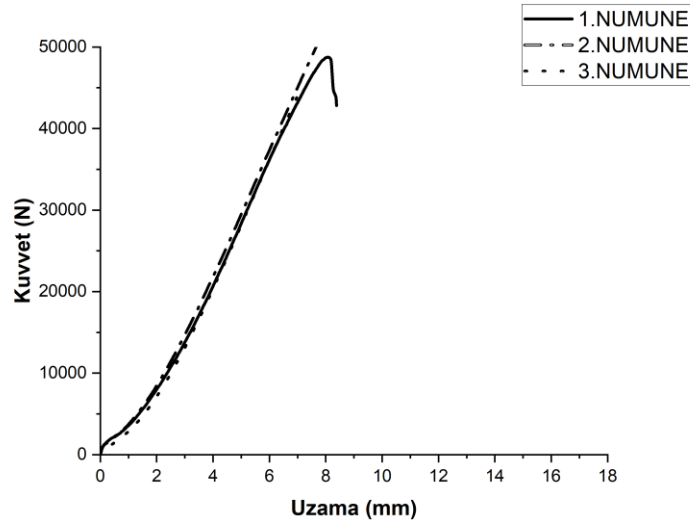
5.5.4.2 İkinci dizilim (CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF)

Aşağıdaki şekillerde HKP'nın CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF dizilime ait çekme numune görüntüleri Şekil 5.31'de verilmiştir.



Şekil 5.31: İkinci dizilim numunesi deney a) Öncesi b) Sonuç

Çekme deneyi sonucunda ikinci dizilimin çekme numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği aşağıdaki Şekil 5.32’ de verilmiştir.



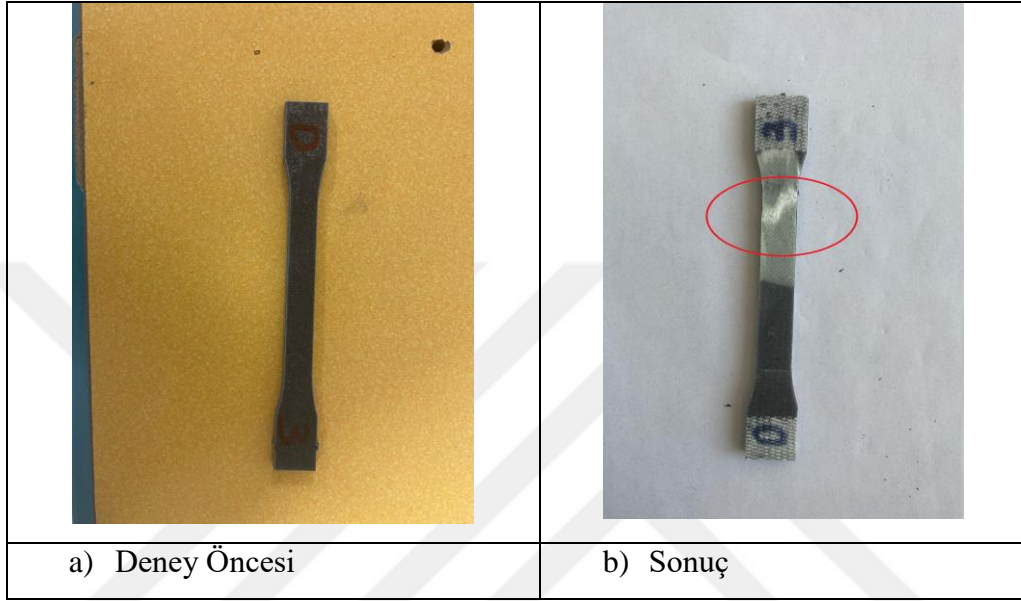
Şekil 5.32: İkinci dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği

İkinci dizilim numunelerinden sırasıyla 49680– 50126- 48790 N’luk kuvvetler elde edilmiştir. İkinci dizilim 2. numune 50126 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 3. Numune 48790 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. İkinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 49532 N olarak hesaplanmıştır. İkinci dizilim çekme numuneleri incelendiğinde 1. tabakayı oluşturan cam fiber tabakanın

kopması ile deney cihazı otomatik olarak deneyi sonlandırmıştır. Diğer fiber tabakalar ve Alüminyum da herhangi bir hasar görülmemiştir.

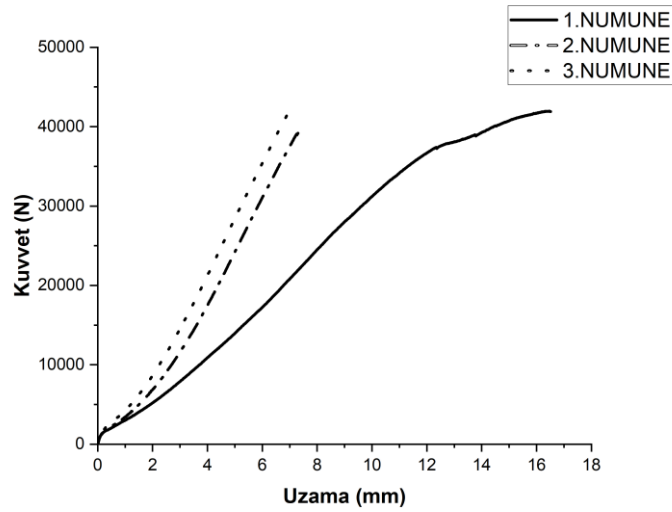
5.5.4.3 Üçüncü dizilim (CF-KF-KF-AL7075-KF-KF-CF)

Aşağıdaki şekillerde HKP'nın CF-KF-KF-AL7075-KF-KF-CF dizilimine ait çekme numune görüntüleri Şekil 5.33'de verilmiştir.



Şekil 5.33: Üçüncü dizilim numunesi a) Öncesi b) Sonuç

Çekme deneyi sonucunda üçüncü dizilim çekme numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği aşağıdaki Şekil 5.34' de verilmiştir.

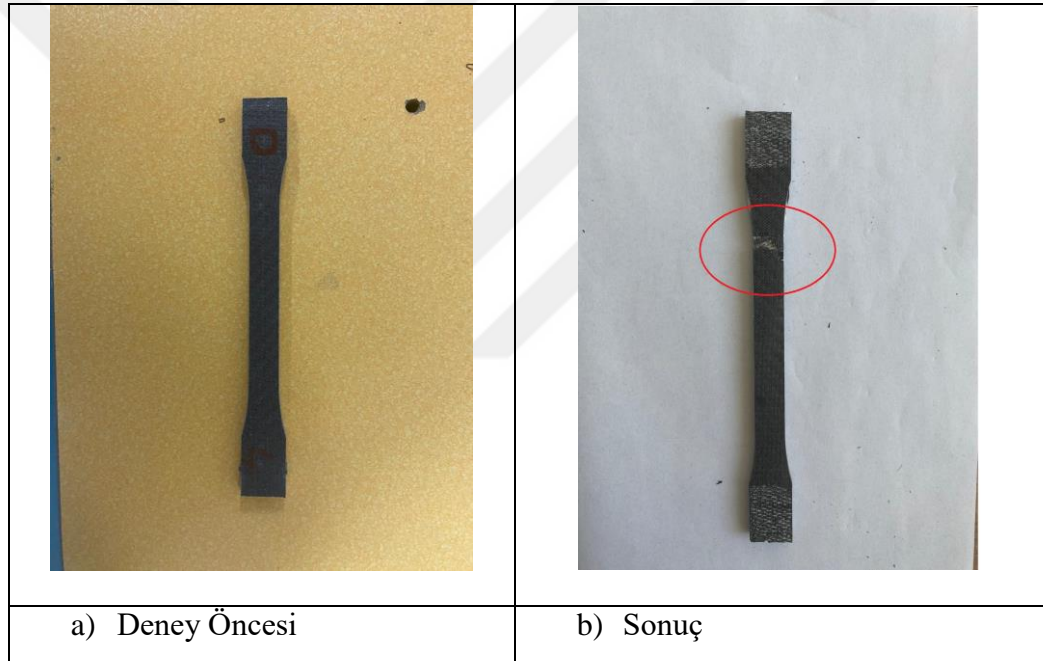


Şekil 5.34: Üçüncü dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği

Üçüncü dizilim numunelerinden sırasıyla 41258– 39768- 40895 N’luk kuvvetler elde edilmiştir. Üçüncü dizilim 1. numune 41258 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 2. Numune 39768 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Üçüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 40640 N olarak hesaplanmıştır. Üçüncü dizilim çekme numuneleri incelendiğinde 1 tabakayı oluşturan cam fiber tabakanın kopması ile deney cihazı otomatik olarak deneyi sonlandırmıştır. Diğer fiber tabakalar ve Alüminyum da herhangi bir hasar görülmemiştir.

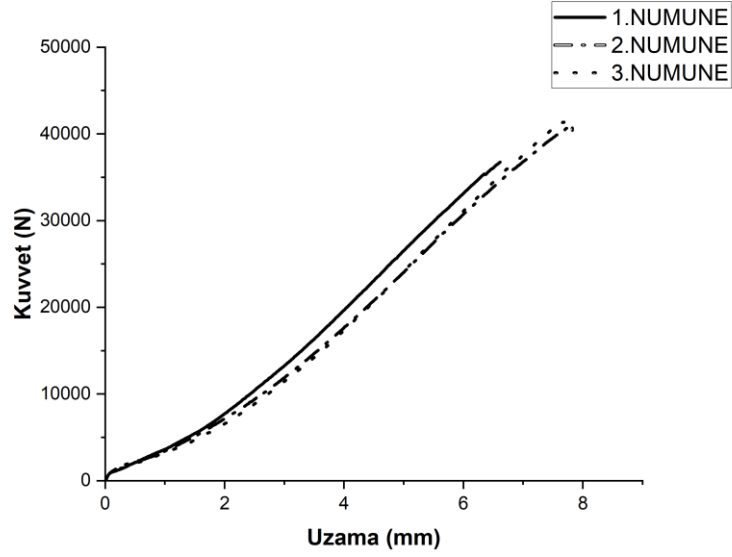
5.5.4.4 Dördüncü dizilim (KF-CF-CF-AL7075-CF-CF-KF)

Aşağıdaki şekillerde HKP’nın KF-CF-CF-AL7075-CF-CF-KF dizilimine ait çekme numune görüntüleri Şekil 5.35’de verilmiştir.



Şekil 5.35: Dördüncü dizilim numunesi a) Öncesi b) Sonuç

Çekme deneyi sonucunda dördüncü dizilim çekme numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği aşağıdaki Şekil 5.36’ de verilmiştir.



Şekil 5.36: Dördüncü dizilim çekme deneyi kuvvet-uzama grafiği

Dördüncü dizilim numunelerinden sırasıyla 36580–39280- 39950 N’luk kuvvetler elde edilmiştir. Dördüncü dizilim 3. numune 39950 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 1. Numune 36580 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Dördüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 38603 N olarak hesaplanmıştır. 4. Dizilim çekme numuneleri incelendiğinde 1 tabakayı oluşturan karbon fiber tabakanın ve 2. tabakayı oluşturan cam fiber tabakanın kopması ile deney cihazı otomatik olarak deneyi sonlandırmıştır. Diğer fiber tabakalar ve alüminyum da herhangi bir hasar görülmemiştir.

HKP’ların çekme deneyi sonucunda 4 farklı Dizilim ve 3 farklı numuneden elde edilen maksimum kuvvet verileri Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10: HKP’ların çekme deneyi maksimum kuvvet değerleri (N)

	1. Numune	2.Numune	3.Numune
Birinci Dizilim	48560	49247	50269
İkinci Dizilim	49680	50126	48790
Üçüncü Dizilim	41258	39768	40895
Dördüncü Dizilim	36580	39280	39950

Çekme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak birinci dizilim sırasıyla 48560–49247- 50269 N’luk kuvvetler elde edilmiştir. 1 Dizilim 3. numune 50269 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 1. Numune 48560 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Birinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 49358 N olarak hesaplanmıştır. Çekme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak ikinci dizilim sırasıyla 49680– 50126- 48790 N’luk kuvvetler elde edilmiştir. İkinci dizilim 2. numune 50126 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 3. Numune 48790 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. İkinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 49532 N olarak hesaplanmıştır. Çekme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak üçüncü dizilim sırasıyla 41258– 39768- 40895 N’luk kuvvetler elde edilmiştir. Üçüncü dizilim 1. numune 41258 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 2. Numune 39768 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Üçüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 40640 N olarak hesaplanmıştır. Çekme testi kuvvet verilerinden yola çıkarak dördüncü dizilimden sırasıyla 36580–39280- 39950 N’luk kuvvetler elde edilmiştir. Dördüncü dizilim 3. numune 39950 N ile en yüksek kuvvet değerini oluştururken 1. Numune 36580 N ile en düşük kuvvet değerini oluşturmaktadır. Dördüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama kuvvet değeri 38603 N olarak hesaplanmıştır.

HKP’ların çekme deneyi sonucunda 4 farklı Dizilim ve 3 farklı numuneden elde edilen maksimum uzama verileri Çizelge 5.11’ da verilmiştir.

Çizelge 5.11: HKP’ların çekme deneyi maksimum uzama değerleri (mm)

	1. Numune	2.Numune	3.Numune
Birinci Dizilim	9.278	7.967	6.435
İkinci Dizilim	8.213	6.879	6.457
Üçüncü Dizilim	16.47	7.256	6.891
Dördüncü Dizilim	6.478	7.895	7.695

Çekme testi uzama verilerinden yola çıkarak birinci dizilimden sırasıyla 9.278–7.967- 6.435 mm’lik uzamalar elde edilmiştir. Birinci dizilim 1. numune 9.278 mm ile en yüksek uzama değerini oluştururken 3. Numune 6.435 mm ile en düşük uzama değerini oluşturmaktadır. Birinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama uzama değeri 7.893 mm olarak hesaplanmıştır. Çekme testi uzama verilerinden yola çıkarak ikinci

dizilim sırasıyla 8.213– 6.879- 6.457 mm’lik uzamalar elde edilmiştir. İkinci dizilim 1. numune 8.213 mm ile en yüksek uzama değerini oluştururken 3. Numune 6.457 mm ile en düşük uzama değerini oluşturmaktadır. İkinci dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama uzama değeri 7.183 mm olarak hesaplanmıştır. Çekme testi uzama verilerinden yola çıkarak üçüncü dizilim sırasıyla 16.47– 7.256- 6.891 mm’lik uzamalar elde edilmiştir. Üçüncü dizilim 1. numune 16.47 mm ile en yüksek uzama değerini oluştururken üçüncü dizilim 6.891 mm ile en düşük uzama değerini oluşturmaktadır. Üçüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama uzama değeri 10.205 mm olarak hesaplanmıştır. Çekme testi uzama verilerinden yola çıkarak dördüncü dizilim sırasıyla 6.478– 7.895- 7.695 mm’lik uzamalar elde edilmiştir. Dördüncü dizilim 2. numune 7.895 mm ile en yüksek uzama değerini oluştururken 1. Numune 6.478 mm ile en düşük uzama değerini oluşturmaktadır. Dördüncü dizilim için oluşturulan tüm numunelerin ortalama uzama değeri 7.356 mm olarak hesaplanmıştır.

Yapılan tüm mekanik deneyler sonucunda hibrid kompozit plakaların delaminasyon durumları açısından uygunluk durumları Çizelge 5.12 ile verilmiştir.

Çizelge 5.12: HKP’ların delaminasyon açısından uygunluk durumları

	Üç nokta eğme testi	Atış testi	Çekme testi
Birinci Dizilim	✓	✓	✓
İkinci Dizilim	✓	✓	✓
Üçüncü Dizilim	x	✓	✓
Dördüncü Dizilim	✓	x	✓

✓ : Uygun, x: Uygun Değil

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hibrid kompozit plakalar arasına eklenen alüminyum AL7075-T6 alışımlı vakum infüzyon yöntemi metodu ile üretilmiş ve bu yöntemle üretilebilirliği test edilmiştir. Hibrid kompozit plaka için 4 farklı dizilim belirlenmiştir. Üretilen bu plakalar için belirlenen dizilimler kendi arasında kıyaslanmıştır. Üretilen bu hibrid kompozit plakalar üzerinde çeşitli mekanik testler yapılarak balistik alanda kullanılabilirliği incelenmiştir.

Yüksek dayanım özelliğine sahip olduğu bilinen AL7075-T6 alaşımının kompozit malzeme içerisinde hibrid yapı bileşenlerinden biri olarak kullanımı hedeflendiğinden gerek kullanılabilirliğinin test edilmesi, gerekse de kullanıldığı taktirde ne tür özellikler göstereceğine dair kapsamlı çalışmalar yürütülmüştür. Takviye malzemesiyle güçlendirilebilirliğine dair araştırma yapılmıştır.

Üretilebilirlikle ilgili ve balistik alanda kullanımı ile ilgili sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Üç nokta eğme testi sonrası maksimum kuvveti ikinci dizilim yani CF-KF-CF-AL7075-CF-KF-CF diziliminde sahiptir. Elde edilen verilerden ikinci dizilimin diğerlerine kıyasla daha büyük eğme kuvvetlerine dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak bu HKP'nın daha fazla yüklere dayanım göstereceği düşünülmektedir. Bunun sebebi ise HKP'ların tabakaları arasındaki reçine miktarının yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu aradaki alüminyum tabakası yüksek kuvvete maruz kaldığında yüzeyi pürüzsüz olmasından kaynaklı karbon fiber ve cam fiberden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun çözümü için alüminyum plaka üzerinde daha fazla zımparalama işlemi yapılarak yüzeyin karbon fiber ve cam fiber kumaşla tutunmasının daha fazla artacağı düşünülmektedir.
- Elde edilen yakma testi hem karbon fiberin hem de cam fiberin yeteri kadar reçine almadığı tespit edilmiştir. Bu aradaki fark reçinenin fiber kumaşa ulaşamamasından kaynaklanmaktadır. Bu fark reçine tankı, vakum hortumu, vakum naylonu parametrelerinden kaynaklanmaktadır. Bu üretim koşullarında üretilen plakalar için reçine miktarı hesaplanırken fire miktarının daha fazla hesaplanması gerekmektedir.

- Atış testi sonrasında incelenen plakalarda tamamen delinme oluşmamış ve herhangi bir arka yüz hasarı meydana gelmemiştir. HKP'lar atış deneyi sonrasında yandan görünüşü incelendiğinde plakalarda birinci dizilim, ikinci dizilim ve üçüncü dizilimde tabakalar arasında kısmi delaminasyon gözlemlenmiştir. Dördüncü dizilimde ise HKP formunun tamamen ayrıldığı ve formunun bozulduğu tespit edilmiştir. Atış testleri sonucunda birinci dizilim, ikinci dizilim ve üçüncü dizilimin balistik yapılar için uygun olduğu gözlemlenirken dördüncü dizilimin balistik yapı açısından uygun olmadığı görülmüştür. Bu testler sonucunda HKP'daki tabakaların delaminasyonu reçine kaynaklı olduğu görülmüştür. HKP'lar için reçine kaynaklı bir iyileştirme yapılması halinde tüm dizilimlerin balistik alanda kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.
- Basma testi sonucunda elde edilen verilerinden kullanılan karbon fiber kumaşın cam fiber kumaşa göre aynı tabaka sayısında daha fazla basma yüküne dayanım gösterdiği görülmüştür. Karbon fiber kumaşın cam fiber kumaşa göre daha fazla üstün özellikleri olduğu literatürden ve teknik özelliklerinden bilinmektedir.
- Çekme deneyleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde alüminyum, cam ve karbon çekme testi sırasında elde edilen kuvvet ve uzama değerlerinden yararlanarak maksimum gerilme-şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu değerler literatürde verilen maksimum gerilme değerleri aralığında yer almaktadır. Bu malzemelerin hibrid bir plaka halinde çekme testi sonrasında kuvvet-uzama değerleri elde edilmiştir. Bu kuvvet-uzama değerleri yardımıyla gerilme değeri hesaplanamamıştır. Burada ki temel problem hibrid kompozit plakada bir bütün halinde kopma meydana gelmemiştir. Bu plakalar üzerinde oluşan ani kırılmalar testin otomatik sonlandırılmasına sebep olmuştur. Buda hibrid kompozit plakaların kendi aralarında mukayese edilirken kuvvet-uzama değerleri açısından karşılaştırılmasının daha uygun olduğunu göstermektedir. Çekme testi sonucunda alınan kuvvet-uzama verilerinden ortalama 49532 N'luk maksimum kuvvet ile ikinci dizilim daha üstün özelliklerde bir dizilim olduğu görülmüştür.
- Elde edilen uygunluk durumlarından ikinci dizilim üç nokta eğme testi, atış testi ve çekme testi sonucunda en uygun dizilim olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte ikinci alternatif olarak en uygun birinci dizilimdir. Bu HKP'lar balistik alanda kullanılabilir yelek, miğfer, barikat vb. yerlerde kullanılabilir.

- Çizelge 5.12 de verilen delaminasyon açısında uygunluk durumları incelendiğinde 1 ve 2. Dizilimin bütün testler için uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. 3. Dizilim incelendiğinde deney sonrasında tabakalar arasında delaminasyon görülmüştür. Kuvvet değerleri incelendiğinde elde edilen maksimum kuvvet değeri diğer Dizilimin kıyasla çok aşağısında kalmıştır. Bu bilgiden yola çıkarak bu dizilimin ve içerisine eklenen alüminyumun ilave bir özellik katmadığı ve balistik alanda kullanımına uygun görülmediği tespit edilmiştir. 4. Dizilimin incelendiğinde atış testi sırasında merminin çarpma etkisiyle tabakalar arasında delaminasyon gözlemlenmiştir. 4. Dizilimden elde edilen maksimum kuvvet değerleri ile gerilme değerleri hesaplanmıştır. Gerilme değerleri incelendiğinde elde edilen maksimum gerilme değeri karbon fiber kumaşın teknik özelliklerinde verilen gerilme değerinin aşağısında kalmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak bu dizilimin ve araya ilave edilen alüminyum tabakanın HKP'nın teknik özelliklerinde bir artış sağlamamıştır.
- Genel olarak bütün testler kıyaslandığında balistik alanda kullanılan yelek, miğfer, zırhlandırmalar vb. tüm alanlarda 1 ve 2. Dizilimin kullanılabilir. Yapılan çeşitli testler sonucunda elde edilen verilerden bu dizilimlerin balistik koruyuculuk sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdoğan Eker, A.** (2008). *AL ve Alaşımları*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Alarçın, S.** (2014, Şubat). Savunma Sanayiinde Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aran, A.** (2008). Malzeme Bilgisi. İstanbul.
- Asi, D.** (2018). Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Uşak: Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, G.** (2013, Temmuz). Üzerinde Yüzey Çatlağı Bulunan Hibrid Tabakalanmış Kompozit Levhaların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Beşergil, B.** (2018). *Hibrid Kompozitleri; Özellikleri Hibrid Kompozitleri; Özellikleri*.
- Bingöl, Y. C.** (2008). Karbon-Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozit Bisiklet Kadrosu Üretimi. İstanbul: FBE Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Birol, Y.** (2014). Metalik Malzemeler. İzmir: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği.
- Bitlisli, B., & Yazıcı, M.** (2019). Araç Zırhlamada Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*.
- Çaydaş, U., & Çelik, M.** (2017). AA 7075-T6 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Sıcaklığı Ve İlerleme Kuvvetine Etkilerinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 419-425.
- Çavuşoğlu, O., & Gürün, H.** (2014). Deformasyon Hızının Dp600 Ve Dp780 Sac Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Ve Derin Çekme İşlemine Etkilerinin İncelenmesi. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 777-784.
- Demircioğlu, T. K., Candan, C., & Ay, İ.** (2011, Kasım). Organik Matrisli Kompozit Malzeme Kullanılarak Oluşturulan Hibrit Zırh Plakasının Terminal Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu.
- Dost Kimya.** (2017). *Dost Kimya*. <https://dostkimya.com/> adresinden alındı
- Erdoğdu, Y. E.** (2020, Aralık). Doğal Lif Takviyeli Partikül Dolgulu Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Ve Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi. Malatya: Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Eroğlu, G., & Şahiner, M.** (2018, Aralık). Dünyada ve Türkiye'de Alüminyum. Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
- Eryıldız, E., & Akdoğan Eker, A.** (2015). Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları. *International Journal of Engineering Research and Development*.

- Giray, M., & Bailey, S.** (2019, Nisan). Developments In Lightweight Composite Ballistic Helmet Manufacture. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*.
- Gu, Y. T., X., Y., Z, Z., & Z.** (tarih yok). Hot compaction and mechanical properties of ramie fabric/epoxy composite fabricated using vacuum assisted resin infusion molding. *Materials & Design*.
- İbrahim, M. İ.** (2022). Karbon Fiber Takviyeli Kompozitlerde Epoksi Matrise Karbon Nanotüplerin Eklenmesinin Kompozitin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- İmak, A., Solmaz, M. Y., & Topkaya, T.** (2016). Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Yorulma Davranışlarının Analizi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 448-458.
- Kabir, Wang, M. M., Lau, H., Cardona, K. T., & F.** (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, .
- Kaya, A. İ.** (2015). Atık Kâğıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması. Isparta: Orman Mühendisliği Anabilim Dalı.
- MKEK Hafif ve Ağır Mühimmat Ailesi.** (2021). <http://www.millisavunma.com/mkek-hafif-ve-agir-muhimmat-ailesi/> adresinden alındı
- Mukasey, & Diğ.** (2008). *Ballistic Resistance of Body Armor. U.S. Department of Justice* . Office of Justice Programs.
- Odacı, İ. K.** (2015, Eylül). Experimental And Numerical Evaluation Of The Blast-Like Loading Of Fiber Reinforced Polymer Composites And Aluminum Corrugated Core Composite Sandwiches Through Projectile Impact Testing Using Aluminum Corrugated Projectiles. İzmir: İzmir Institute of Technology.
- Özderin, Y.** (2017, Mayıs). Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi Parametrelerinin Döküm Alüminyum Alaşımlarının Birleştirilebilirliğine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seykoç Alüminyum.** (2017). <https://www.seykoc.com.tr/icerik/7075?dil=tr> adresinden alındı
- Solmaz, M. Y., & Gür, M.** (2007). Tabakalı Kompozit Plakalarda Takviye Malzemesi Ve Oryantasyon Açısının Gerilme Analizine Etkisi. Elazığ: Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- Soyyigit, A.** (2009, Haziran). 7075-T6 Alüminyum Alasımında Yapay Olarak Olusturulan Oyukların Yorulma Dayanımına Etkisi.
- Sönmez, F., & Başak, H.** (2017, Temmuz). Al-7075-T6 malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 601.
- Sözen, E., Gündüz , G., & İmren, E.** (2016). Balistik Panel Ve Koruyucu Zirh Üretiminde Kullanılan Lif Ve Kompozit Malzemeler. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 194-204.

- Standard A.S.T.M.** (2003). D790-03. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Şenel, M. C.** (2021). Çok Katmanlı Karbon Nanotüp Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özellik Ve Mikroyapı İncelemesi. Samsun: Ondokuz Mayıs University,.
- Yastımoğlu, F., & Özkan, A.** (2017). Tekrarlanan Yükler Altında Kompozit Malzemelerin Yapılarının İncelenmesini Amaçlayan Deney Aygıtı Tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 56-66.
- Yılmaz , T.** (2019, Eylül). Savunma Sanayii Uygulamaları İçin Fonksiyonel Dereceli Alüminyum Matriksli Kompozit Malzeme Geliştirme. Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University.
- Yüce , İ.** (2007). Dairesel Kompozit Tabakalarda Düşük Hızlı Darbe Hasarının İncelenmesi. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zor, M.** (2022). *Kompozit Malzeme Mekaniği*. DEU Makine Mühendisliği.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Burhan Tepehan

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2019, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans:** 2023, İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği (Y.L)

MESLEKİ DENEYİM:

- 2019 Malatya Sentetik Çuval
- 2021-2022 İntem Triko
- 2022 Çalık DENİM
- 2023 Tübitak SAGE

Yayın Listesi:

- Tepehan, B. & Sülü, İ. Y. (2022). Miğfer Yapıları İçin Oluşturulan Tabakalı Hibrit Kompozit Plakanın Mekanik Analizi. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (1) , 69-80. DOI: 10.55117/ bufbd.108432 (Makale)
- Analysis Of Layer Arrangements For Lightened And Strengthened Layered Composite Helmet Design. 4th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences will be held in July 29-31, 2021 in Tokyo Japan (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)