

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

**HİBRİT FİBER KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih Emir DANYILDIZ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

MAYIS 2023

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

**HİBRİT FİBER KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih Emir DANYILDIZ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Seçil EKŞİ

MAYIS 2023

Fatih Emir DANYILDIZ tarafından hazırlanan ‘‘Hibrit Fiber Kompozit Malzemelerin Mekanik zeliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi’’ adlı tez çalışması 18.05.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı/oy okluğı ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliğı Anabilim Dalı **Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı**’nda **Yüksek Lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Doç. Dr. Murat ÖZSOY**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Seçil EKŞİ (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Gözde Fatma ÇELEBİ EFE**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Hibrit Fiber Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

Fatih Emir DANYILDIZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca fikirlerinden, bilgilerinden ve deneyimlerinden yararlandığım, bu zorlu tez sürecinde hiçbir yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç.Dr. Seçil Ekşi'ye teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarda yardımları olan Doç.Dr. Murat Özsoy'a ayrıca minnetlerimi sunuyorum.

Fatih Emir DANYILDIZ

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması.....	2
2. KOMPOZİT MALZEMELER	7
2.1. Takviye Malzemesi	8
2.1.1. Fiber (Elyaf) takviyeli kompozitler.....	8
2.1.2. Partikül takviyeli kompozitler.....	10
2.1.3. Tabaka yapılı kompozitler.....	10
2.1.4. Dolgu takviyeli kompozitler	11
2.2. Matris Malzemesi.....	11
2.2.1. Polimer matrisli kompozitler.....	11
2.2.1.1. Termosetler	12
2.2.1.2. Termoplastikler	13
2.2.1.3. Elastomerler	14
2.2.2. Metal matrisli kompozitler.....	14
2.2.3. Seramik matrisli kompozitler.....	14
2.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	15
2.3.1. Elyaf takviyeli kompozit malzeme üretim yöntemleri.....	15
2.3.1.1. El ile yatırma yöntemi.....	15
2.3.1.2. Püskürtme yöntemi	16
2.3.1.3. Elyaf sarım yöntemi	16
2.3.1.4. Vakumlu torbalama yöntemi.....	17
2.3.1.5. Preste kalıplama	17
2.3.1.6. Profil çekme yöntemi	17
2.3.1.7. Reçine transfer kalıplama yöntemi.....	18
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	19
3.1. Çekme Deneyi Testi Koşulları	19
3.2. Eğme Deneyi Testi Koşulları	20
3.3. Darbe Deneyi Testi Koşulları.....	20
3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	21
3.5. Deney Numune Kombinasyonları.....	23
4. SONUÇLAR	27
4.1. Çekme Deneyi Sonuçları	27
4.2. Eğme Deneyi Sonuçları.....	32

4.3. Darbe Deneyi Sonuçları	40
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
5.1. Genel Sonuçlar	43
5.2. Öneriler.....	44
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	49

KISALTMALAR

A	: Aramid fiber
ABS	: Akrlonitril-bütadien-stiren
C	: Cam fiber
C	: Karbon
F	: Keten
FEA	: Sonlu elemanlar yöntemi
G	: Cam elyaf
H	: Kenevir
J	: Jüt elyaf
K	: Karbon fiber
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
S	: Sisal
VARTM	: Vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi

SİMGELER

SiO² : Silisyum dioksit

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Karbon elyaf örnekleri	9
Şekil 2.2. Aramid elyaf örnekleri.....	9
Şekil 2.3. Cam elyaf örnekleri	10
Şekil 2.4. Tabakalı kompozitler	11
Şekil 2.5. Dolgu takviyeli kompozit	11
Şekil 2.6. El ile yatırma yöntemi safhası	15
Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi	16
Şekil 2.8. Elyaf sarma yöntemi	16
Şekil 2.9. Vakum torbası kalıplama ile gerçekleştirilen kompozit üretim işlemi.....	17
Şekil 2.10. Profil çekme düzeneği	18
Şekil 3.1. Çekme testi cihazı.....	19
Şekil 3.2. Üç nokta eğme test cihazı.....	20
Şekil 3.3. Darbe test cihazı	21
Şekil 3.4. Epoksi reçine ve sertleştiricisi	21
Şekil 3.5. Farklı kombinasyonlardaki hibrit plakalar	22
Şekil 3.6. Çekme testi numuneleri	24
Şekil 3.7. Eğme testi numuneleri	24
Şekil 3.8. Darbe testi numuneleri.....	25
Şekil 4.1. 3K+3C'nin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	27
Şekil 4.2. 3A+3C'nin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	28
Şekil 4.3. 2A+2K+2C'nin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	28
Şekil 4.4. 2K+2C+2A'nın gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	29
Şekil 4.5. 3A+3K'nın gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	29
Şekil 4.6. 2C+2A+2K'nın gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	30
Şekil 4.7. Tüm kombinasyonların gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	30
Şekil 4.8. Çekme testi numunelerinin deney sonrası görüntüsü	31
Şekil 4.9. 3K+3C'nin kuvvet-deplasman grafiği	32
Şekil 4.10. 3C+3K'nın kuvvet-deplasman grafiği	32
Şekil 4.11. 3A+3C'nin kuvvet-deplasman grafiği	33
Şekil 4.12. 3C+3A'nın kuvvet-deplasman grafiği	33
Şekil 4.13. 2A+2K+2C'nin kuvvet-deplasman grafiği	34
Şekil 4.14. 2C+2K+2A'nın kuvvet-deplasman grafiği.....	34
Şekil 4.15. 2K+2C+2A'nın kuvvet-deplasman grafiği.....	35
Şekil 4.16. 2A+2C+2K'nın kuvvet-deplasman grafiği	35
Şekil 4.17. 3A+3K'nın kuvvet-deplasman grafiği.....	36
Şekil 4.18. 3K+3A'nın kuvvet-deplasman grafiği.....	36
Şekil 4.19. 2C+2A+2K'nın kuvvet-deplasman grafiği.....	37
Şekil 4.20. 2K+2A+2C'nin kuvvet-deplasman grafiği.....	37
Şekil 4.21. Tüm kombinasyonların kuvvet-deplasman grafiği.....	38
Şekil 4.22. Numunelerin eğme testi sonucu hali	40
Şekil 4.23. Darbe testinin yapıışı ve numunelerin son hali	41

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Çekme ve darbe deney numunelerinin kombinasyonları	23
Tablo 3.2. Eğme deney numunelerinin kombinasyonları.....	23
Tablo 4.1. Tüm kombinasyonların çekme test sonuçlarına ait özet tablo.	31
Tablo 4.2. Eğme deneyi sonuçları	39
Tablo 4.3. Darbe deneyi sonuçları.....	40

HİBRİT FİBER KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması için geliştirilen yeni imalat teknolojileri ve alternatif malzemelerin kullanımı en önemli araştırma konularındandır. Savunma sanayi, havacılık sektörü, otomotiv endüstrisi, uzay teknolojileri ve enerji gibi pek çok sektöre ait çalışmalarda kullanılan mevcut malzemelere alternatif malzeme olarak araştırılan malzemelerden biri de hibrit kompozit malzemelerdir. Hibrit kompozitler, günümüzde farklı elyaf türlerinin takviye elemanı olarak kullanılabilmesi ile ilgi çekici hale gelmiştir. Hibrit kompozitler farklı takviye malzemelerinin sahip oldukları özellikleri tek bir yapıda buldukları için mekanik özellikleri üstünlük göstermektedir. Bu malzemelerin özellikleri ile ilgili sürekli araştırma yapılmaktadır. Bu malzemelerin performanslarını arttırmak için farklı elyaflar, farklı diziliş sıraları aynı kompozit yapıda kullanılarak hibrit kompozit yapılar elde edilecektir.

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak aramid fiber, karbon fiber ve cam fiber kullanılmıştır. Karbon fiber olarak plain dokuma ve yoğunluğu 200 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Aramid fiber olarak twill dokuma ve yoğunluğu 170 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Cam fiber olarak twill dokuma ve yoğunluğu 280 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Epoksi reçine ağırlıkça 100/40 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Karbon fiber, cam fiber ve aramid fiberler epoksi reçinesi ile birleştirilerek farklı kombinasyonlarda 6 adet hibrit plaka oluşturulmuştur. Hazırlanmış olan hibrit yapıdaki kompozit plakalar 6 katmanlıdır. Oluşturulan hibrit plakalar elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Karbon fiber, aramid fiber ve cam fiberler ile oluşturulan farklı kombinasyonlardaki 6 hibrit plaka 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Oluşturulan hibrit plakalar CNC dikey işleme merkezinde kesilerek numuneler elde edilmiştir. Bu çalışmada el yatırma yöntemi ile cam, karbon ve aramid fiberlerin farklı diziliş sıraları için mekanik özellikleri incelenmiştir. Mekanik özellikleri incelemek amacıyla çekme, üç nokta eğme ve darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testinde gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri oluşturulmuştur. Üç nokta eğme testinde kuvvet-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Darbe testinde ise farklı hibrit kompozit yapıların darbe dayanımları incelenmiştir.

Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde 3K+3C numunesi en yüksek çekme dayanımına, 2K+2C+2A numunesi ise en düşük çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Elastiklik modülü en yüksek olan numune 3K+3C, en düşük olan numune ise 3A+3C numunesinde elde edilmiştir. Eğme deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olan numune 2C+2A+2K kombinasyonuna, en düşük yük taşıma kapasitesine sahip olan numune ise 3A+3C kombinasyonuna aittir. Eğme deneyinde kombinasyonların diziliş sırasının yanında kombinasyonların ters çevrilmesi mekanik özellikleri etkilediği görülmüştür.

Darbe deneyinden elde edilen verilerde ise darbe enerjisi en yüksek olan kombinasyon 2K+2C+2A, en düşük darbe enerjisine sahip kombinasyon ise 3K+3C'dir. Elde edilen sonuçlara göre farklı fiber türlerinin diziliş sırasının hibrit kompozit malzemeler üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF HYBRID FIBER COMPOSITE MATERIALS

SUMMARY

The use of new manufacturing technologies and alternative materials developed to improve mechanical properties and reduce costs are among the most important research topics. Hybrid composite materials are one of the materials researched as an alternative material to existing materials used in studies in many sectors such as the defense industry, aerospace industry, automotive industry, space technologies and energy. Hybrid composites have become interesting with the use of different fiber types as reinforcement elements today. Hybrid composites have superior mechanical properties because they contain the properties of different reinforcement materials in a single structure.

Hybrid composites formed by two or more different fibers in the same matrix form a new fiber-reinforced composite material group, unlike other composite types. Hybrid composites have better mechanical properties in all respects than composites consisting of only a single fiber in the matrix. In hybrid composites where very different matrix and fiber combinations are used, the most preferred hybrid is the type consisting of a polymer-based matrix that combines carbon fiber and glass fiber. Carbon fiber, with its stronger and higher rigidity, provides low density reinforcement, but is expensive. However, although glass fiber is cheap and easily available, it does not have the strength values provided by carbon fiber. The combination of glass fiber and carbon fiber provides stronger, tougher and higher impact resistance. This feature; can be obtained at a lower cost than all carbon fiber or all glass fiber reinforced plastics.

Hybrid composites are more advanced than other fiber-reinforced composites and have a wider range of potential applications. Two different fibers, which have a significant impact on the overall properties of the composite, can be combined in many different ways. For example, both types of fibers can be mixed together and placed all in the same direction, or it can be prepared by sequentially placing layers, each containing a single type of fiber, one after the other. The properties of almost all hybrid composites are direction dependent. When hybrid composites are subjected to a tensile type of stress, damage usually does not occur suddenly. First, the reinforcing element with a high strength value meets the load, and then this load is transferred to the other reinforcing elements. Matrix phase fracture also occurs after all the reinforcement phases have undergone fracture. Ultimately, damage to the composite occurs simultaneously with damage to the matrix. There is constant research on the properties of these materials. In order to increase the performance of these materials, hybrid composite structures will be obtained by using different fibers in the same composite structure.

In this study, aramid fiber, carbon fiber and glass fiber were used as reinforcement materials. Among the properties of carbon fibers, we can count high impact resistance, abrasion resistance and fatigue resistance. Carbon fibers are resistant to high temperatures. The disadvantage is that it causes impact resistance problems due to the limited elongation properties of its fibers. Aramid fiber is lighter and more rigid than glass fiber. Aramid fibers have low compressive strength. Therefore, it finds usage area by creating hybrid composite with carbon fiber. Due to their low compressive strength, aramid reinforced epoxy matrix composites also have poor moisture retention. The basis of glass fiber is silicon dioxide (SiO₂). However, it can also contain oxides of elements such as aluminum, calcium, sodium boron and iron in a certain amount. Glass fibers have high resistance to chemicals and poor moisture absorption properties. Glass fiber is an inexpensive reinforcing material and is commonly used in plastic-based composites.

Plain weave and the series with a density of 200 g/mm² were used as carbon fiber. Twill weaving and the series with a density of 170 g/mm² are used as aramid fiber. Twill weaving and the series with a density of 280 g/mm² were used as glass fiber. A homogeneous mixture was prepared with epoxy resin and hardener at a weight ratio of 100/40. Carbon fiber, glass fiber and aramid fibers were combined with epoxy resin to form 6 hybrid plates in different combinations. The created hybrid plates are 400×400 mm in size. The prepared hybrid composite plates have 6 layers. The created hybrid plates were produced by hand lay-up method. 6 hybrid plates in different combinations formed with carbon fiber, aramid fiber and glass fibers were kept at room temperature for 1 day. The created hybrid plates were cut in CNC vertical machining center and samples were obtained. In this study, the mechanical properties of glass, carbon and aramid fibers for different arrays were investigated by hand lay-up method.

The purpose of the tensile test; To determine the elastic and plastic behavior of materials under static load. For this, a circular or rectangular test piece with dimensions in accordance with the standards; By connecting to the pulling device, axial and variable forces are applied. The bending test is performed to determine the design information about the strength of the material and to determine the mechanical properties of the material against bending. Izod impact test determines the energy consumed to break the sample with the impact of a hammer at the tip of a pendulum at a certain height from a vertical and cantilevered gripping jaw and the effect of multiaxial stresses occurring at the bottom of the notch.

Tensile, three-point bending and impact tests were carried out to examine the mechanical properties. Stress-strain graphs were created in the tensile test. Force-displacement graphs were created in the three-point bending test. In the impact test, the impact strength of different hybrid composite structures was investigated.

The tensile test was carried out on a Dartec brand test device with a load capacity of 30 tons. Tensile test was performed according to ASTM D3039 standard. In the tensile test, samples of 250x25 mm dimensions were prepared from each combination. In the tensile test, the samples were tested with a tensile speed of 2 mm/min. Three point bending tests were carried out on a Zwick/Roell test device with a load capacity of 5 tons. Test samples of 125x13 mm dimensions were prepared from each combination in accordance with ASTM D790 standard. In the three-point bending test, the samples were tested with a bending speed of 2 mm/min. Izod impact test was performed according to ASTM 4812 standard. Samples of 65x13 mm dimensions were prepared from each combination. A large brand izod impact tester was used. The experiment was carried out with a 5.5 Joule hammer.

When the tensile test results were examined, it was seen that the 3K+3C sample had the greatest tensile strength with a tensile strength of 351.47 MPa. The 3A+3C sample is in second place with a tensile strength of 301.03 MPa. The 2K+2C+2A sample has the lowest tensile strength of 225.47 MPa. The sample with the highest modulus of elasticity was 3K+3C, and the sample with the lowest was obtained from the 3A+3C sample. The combination of 3K+3C with a high modulus of elasticity is more rigid than other combinations.

In the bending test, the highest load carrying capacity was obtained with 259.41 N in combination with 2C+2A+2K. The lowest load carrying capacity was observed in the 3A+3C sample with 87.74 N. In the bending test, it was seen that the order of the combinations as well as the inversion of the combinations affected the mechanical properties.

In the data obtained from the impact test, the combination with the highest impact energy is 2K+2C+2A, and the combination with the lowest impact energy is 3K+3C. Impact resistance is high in groups with aramid fiber in impact tests. The reason for this is thought to be the high tensile strength and percent elongation values of aramid fiber.

According to the results obtained, it was seen that the order of the different fiber types had an effect on the hybrid composite materials.

1. GİRİŞ

En az farklı iki malzemenin birbiri içinde çözünmeyecek şekilde birleşmesiyle oluşan malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzeme elde etmenin amacı bileşenlerde tek başına olmayan bazı özelliklerin (hafiflik,mukavemet,rijitlik) geliştirilmesi ve bir araya getirilmesidir. Genel olarak kompozitler matris ve takviye elemanlarından oluşur. Bu malzemelerden takviye malzemesi kompozit malzemenin yük taşıma ve mukavemet özelliğini, matris ise kompozit malzemenin kopmasını ve plastik deformasyona uğradığında oluşabilecek çatlakları önleyici rol oynar.

Kompozit malzemelerin sınıflandırılmasında takviye elemanlarının şekil ve yerleştirilmesi, matris malzeme cinsi , matris-takviye elemanı malzeme cinsine göre sınıflandırılabilir. Takviye elemanının şekil veya yerleştirilebilmesine göre elyaf takviyeli kompozitler (tek tabaka kompozitler), parçacıklı kompozitler, tabakalı kompozitler, karma (hibrid) kompozitler olarak alt sınıflara ayrılmaktadır. Kompozit malzemede iki veya daha fazla elyaf çeşidinin olması muhtemeldir. Bu kompozitlere hibrit kompozitler denir [1].

Hibrit kompozitler tek malzemeli kompozitlere göre daha iyi özellik kombinasyonu sunmaktadır. Mesela cam elyaf ile karbon elyafın hibrit yapılarak darbe mukavemeti yüksek ve tamamen cam veya tamamen karbon takviyeli kompozitlere göre daha düşük maliyetlidir. Kompozit malzeme üretiminde genel olarak reçineler kullanılmaktadır. En yaygın kullanım alanına sahip olan reçineler epoksi, polyester ve vinil ester reçineleridir. Reçinenin kullanıma hazır hale gelmesi için katkı malzemesi olarak sertleştiriciler ve reaksiyon hızlandırıcı katalizörler kullanılmaktadır [2].

Kompozit malzemelerin avantajlarından bahsedecek olursak;

- Yüksek mukavemet
- Ağırlık olarak hafiflik
- İyi korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Yorulma dayanımı yüksek

Dezavantajları ise;

- Üretiminin pahalı olması
- Delme, kesme vb. durumlarda liflerde hasara yol açmaktadır
- Geri dönüşümünün olmaması
- Hava etkenleri malzemenin yorulma ömrünü etkiler [3].

Bu çalışmada; cam elyaf, karbon elyaf ve aramid elyaflar kullanılarak epoksi reçinesi ile el yatırma yöntemi kullanılarak farklı kombinasyonlarda hibrit kompozitler elde edilmiştir. Elde edilen malzemelere çekme, eğme ve darbe deneyleri uygulanmıştır. Elyafların farklı diziliş sıraları için mekanik özellikleri incelenecektir.

1.1. Kaynak Araştırması

Sayer ve ark. [4] bu çalışmada hibrit kompozit plakaların darbe davranışı incelenmiştir. Farklı darbe enerjilerine göre iki tip kompozit plaka üzerinde (cam-karbon) gerçekleştirilmiştir. Epoksi reçinesi kullanılmıştır. Farklı darbe enerjileri için hasarlı numunelerin arıza süreçleri yük-sehim eğrileri ve görüntülerin karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. Karbon fiberli yüzeyden darbeli hibrit kompozitin delme sınır değeri, cam fiberli yüzeye göre yaklaşık %30 yüksek bulunmuştur.

Dong ve Davies [5] bu çalışmada karbon ve cam elyaf takviyeli epoksi hibrit kompozitlerin eğilme davranışları üzerinde bir çalışma yapmıştır. İstifleme sırasının eğilme özellikleri üzerindeki etkisini öğrenmek amacı ile hem deneysel hem de simülasyon yolu ile incelenmiştir. Deney ve simülasyon sonuçlarından baskı yüzeyine cam elyaflar yerleştirildiğinde pozitif hibrit etkiler mevcuttur.

Subagia ve ark. [6] karbon ve bazalt elyafların farklı istifleme dizilerinin eğilme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hibrit kompozitler vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi ile oluşturulmuştur. Eğilme testi yapıldıktan sonra taramalı elektron mikroskobu ile kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Sonuçlara göre hibrit kompozit plakaların mukavemeti elyaf dizilişine büyük ölçüde bağlıydı. Baskı tarafında karbon fiberli kompozit daha yüksek eğilme mukavemeti sergilemiştir.

Acharya ve ark. [7] bu çalışmada epoksi reçine ile güçlendirilmiş jüt elyaf / cam elyaftan oluşan hibrit kompozitlerin aşınma davranışları incelenmek istenmiştir. Hibrit kompozitler S1 (GJJJJJJG), S2 (GJGJGGJGJG) ve S3 (JGJGJJGJGJ) gibi farklı elyaf dizilişine sahip örnekler (cam(g), jüt(j)) elle yatırma yöntemi ile hazırlanmıştır. Tasarlanan hibrit kompozitin üç gövdeli abrasif aşınma davranışı ASTM G65 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak S2 kompozitinin diğerlerine göre daha fazla aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür. Kompozitlerin aşınmış yüzeylerini tespit etmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışması yapıldı. S2 kompoziti S1 ve S3'e kıyasla daha az kırık yüzeye sahiptir.

Kumar ve ark. [8] bu çalışmada karbon elyaf ile cam elyaf 3 farklı diziliş ile vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile üretildi. Bu yöntem hava kabarcığı oluşumunu önlemek ve elyaflar ile matris arasındaki bağın iyileştirilmesi için uygundur. Hibrit kompozitler için darbe testi yapıldı. P3 isimli hibrit kompozit diğerlerine kıyasla darbe dayanımı yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak hibritteki elyaf dizilişi kompozit malzemelerin özelliklerini değiştirebilir.

Srivathsan ve ark. [9] bu çalışmada kevlar elyaf ile cam elyaf kullanılmıştır. Elle yatırma işlemi ile üretilen farklı dizilişteki hibrit kompozitler sonrasında çekme testine tabi tutulmuştur. Numunelerin çekme testinde elyafların dizilişinin önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür.

Song [10] bu çalışmada karbon/aramid elyafların oluşturduğu farklı elyaf dizilişi ile oluşturulan altı hibrit yapı ve karbon/cam elyafların oluşturduğu farklı elyaf dizilişi ile olan altı hibrit yapı olarak tasarlanmıştır. Numuneler oluşturulurken vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM) yöntemi kullanılmıştır. Numunelerin mekanik özelliklerinin eşleştirme etkilerine bağımlılığı incelenmiştir. Çekme testlerinden elde edilen verilere göre hem karbon/aramid hem karbon/cam eşleşmelerinin gerilme davranışının karbon elyafın özellikleri hakim olmasına rağmen cam ve aramid elyafların farklı özellikleri hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli bir farklılık göstermemiştir.

Aktaş ve ark. [11] bu çalışmada dokuma/örme kumaşların farklı dizilişlerinin darbe davranışına etkisi incelenmiştir. Dokuma ve örgü kumaşlar 6 farklı varyasyonda düzenlenmiştir. Bu kompozit yapılar elle yatırma tekniği ile üretildi ve kürlendi. Kompozit malzemeler yaklaşık 3 mm kalınlığındadır. Hibrit kompozitlerin çeşitli darbe enerjilerinde darbe ve darbe sonrası davranışları araştırılmıştır.

FEA (Sonlu Elemanlar Yöntemi) sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldı. Sonuçlar gösteriyor ki dokunmuş kumaştan dış katmanlı olan numuneler, örülmüş kumaştan dış katmanlı ile olandan daha iyi darbe özellikleri sergilemiştir. Darbe dayanımı açısından en kötü performans örgü/örme kompozitlerde gözlenmiştir. FEA analizleri deney sonuçları ile iyi bir örtüşme sağlamaktadır.

Wang ve ark. [12] bu çalışmada karbon ve keten elyaflarla farklı dizilişe sahip hibrit kompozitler üretilmiştir. Üretilen hibrit kompozitlerin istifleme dizisinin düşük hızlı çarpma üzerindeki etkileri ve sönümlenme özellikleri incelenmiştir. Hibrit kompozitlerin sönümlenme performansını yüzeydeki elyafın çeşidi belirler. Çünkü üzerinde keten elyaf tabakası bulunan yüzey daha iyi sürtünme enerjisi dağıtma kapasitesine sahiptir. FCFCF'nin sönümlenme katsayısı CFFFC'den %26,4 daha yüksektir.(F=Keten, C=Karbon)

Nagaraja ve ark. [13] bu çalışma cam elyaf ile karbon elyafın epoksi matrisi ile takviye edilmesiyle özel bir tür hibrit yapılar geliştirmeyi amaçlamaktadır. Numuneler reçine infüzyon yöntemi ile hazırlanmıştır. Bu hibrit kompozit malzemeler her bir cam ve karbon tabakasının farklı bir diziliş sırasının çeşitli mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. İki farklı elyaf dizilişinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak hibrid 1 için en yüksek çekme dayanım değeri hibrid 2'ye kıyasla daha yüksektir. Hibrid 2'nin eğilme mukavemeti ise hibrit 1'e göre daha yüksektir.

Sarasini ve ark. [14] bu çalışmada karbon (C) ve keten (F) elyafları kullanılarak epoksi matrisi ile üretilen hibrit kompozitler dış katmanlar olarak keten elyafı ve iç katmanlar olarak karbonun (FCF) veya tam tersi (CFC) varlığına bağlı olarak iki farklı hibrit kompozit üretilmiştir. Hazırlanan numuneler farklı enerjilerde darbe testine ve eğilme testine tabi tutulmuştur. CFC, eğilme performansı açısından FCF'den biraz üstün olduğu görülmüştür. İki hibrit kompozit karşılaştırıldığında FCF numunesinin CFC'ye göre daha iyi mekanik ve darbe emme performansına ulaşılmıştır.

Das ve ark. [15] bu çalışmada elyaf sırasının doğal elyaf (jüt), sentetik elyaf (cam) ve polyester reçine kullanılan hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üretilen kompozitler jüt/polyester, cam/polyester ve hibrit cam/jüt/polyester şeklindedir. Üretilen numunelere çekme, eğme ve darbe testleri yapılmıştır.

Sonuç olarak cam/polyester kompozitin diğer kompozitlere göre daha iyi mekanik performans göstermiştir. Ayrıca cam elyaf ile oluşturulan hibrit kompozitlerin hibrit kompozitlerin özelliklerini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir.

Santhanam ve ark. [16] bu çalışmada hibrit elyaf takviyeli kompozit , muz elyafı ve cam elyafının epoksi reçinesinin dahil edilmesiyle geliştirilmiştir. Muz elyafın hibrit kompozitlerdeki elyaf sıralamasının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Numuneler elle yatırma işlemi ile hazırlanmıştır. Sonuç olarak numunelerin diziliş sırasının çekme deneyinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu, eğilme ve darbe mukavemetinin ise cam elyafın ve muz elyafın sıralama düzeninden büyük ölçüde etkilendiği bulunmuştur.

Gemi [17] bu çalışmada hibrit borular , filament sarma yöntemi ile çeşitli dizilişlerde cam ve karbon fiberler kullanılarak üretilmiştir. Hibrit kompozitler karbon /cam/cam (CGG), cam/karbon/cam(GCG) ve cam/cam/karbon (GGC) olarak ayarlandı. Numunelere farklı enerjilerde darbe testi uygulanmıştır. Dış/iç yüzeylerde matris çatlama, radyal çatlaklar, yarıma ve sızıntı gibi hasar oluşumunun gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Hibrit borunun elyaf diziliş sırası hasar oluşumunu büyük ölçüde etkileyebileceği görülmüştür. Özellikle GGC numunelerinde karbon fiber tabakasının kırılğan karakteri nedeniyle numuneler elastik olarak deforme olur ve hasar başlangıcına yol açabilir.

Thiagamani ve ark.[18] bu çalışmada matris malzemesi epoksi, takviye elemanı olarak kenevir (H) ve sisal(S) elyaflar kullanılarak hibrit kompozitler üretilmiştir. Sisal/kenevir elyafı hibrit kompozitler elle yatırma yöntemi ile üretildi ve ardından farklı diziliş dizilerine sahip sıcak presleme yapıldı. Deneysel sonuçlar hibrit kompozitlerin elyafların dizilişi değiştirildiğinde çekme mukavemetinde küçük değişiklikler göstermiştir. HSHS hibrit kompozitin diğer hibrit kompozitlere göre en yüksek çekme mukavemetini göstermiştir.

Sreenivas ve ark.[19] bu çalışmada kenaf ve kevlar elyafların diziliş sırası dikkate alınarak hibrit kompozitin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Matris olarak polyester kullanılmıştır. Oluşturulan hibrit malzemelere çekme, eğme ve darbe testleri uygulanmıştır. Hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri kenaf elyafının dizilişinden büyük ölçüde etkilendiği bulunmuştur.

Raajeshkrishna ve ark. [20] elle yatırma işlemleri ile hibrit kompozitler üretmişlerdir. Hibrit kompozitleri üretmek için epoksi reçine ile cam ve bazalt elyafları kullanılmıştır. Oluşturulan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Sonuç olarak elyaf dizilişi tüm kompozitlerde etkisini göstermiştir. Deneysel sonuçlar sonlu elemanlar analizi sonuçları ile doğrulanmıştır.

Salman [21] bu çalışmada 19 katmanlı kenaf ve aramid elyaflarla hibrit kompozitler üretmiştir. Katmanların sırasının etkileri üç farklı darbe enerjisinde incelenmiştir. Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde hibrit kompozitler saf kenaf kompozit ile karşılaştırıldığında daha fazla darbe enerjisi absorbe eder ve daha düşük darbe hasarına sahip olduğu görülmüştür.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

İki ya da daha fazla malzemenin, en iyi özelliklerini bir araya getirmek için veya ortaya yeni bir özellik çıkarmak için mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla oluşan malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzeme, en az iki ayrı malzemedan yeni bir özellik elde etmek için bu malzemelerin belirli şartlarda ve belirli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesi ile oluşturulur.

Kompozit malzeme üretimine başlanmasıyla;

- Rijitlik
- Korozyon direnci
- Hafiflik ve Mukavemet
- Aşınma direnci
- Yorulma ömrü
- Çevresel etkilere dayanım
- Isıya dayanıklılık
- Ses yalıtımı

gibi istenilen özelliklere sahip yeni malzemeler üretilmiştir.

Kullanımda alışılmış malzemelerden kompozit malzemelere geçişin başlıca nedenlerinden biri, kompozitlerin daha hafif /daha yüksek mukavemet alternatifi getirmesidir. Bunun dışında üretimlerindeki esneklik, iyi korozyon, aşınma dirençleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile birçok uygulama alanlarında alışılmış malzemelere göre üstünlük sağlamaktadır.

Kompozit malzemeler, yapısını oluşturduğu malzeme ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre; matris malzemesi ve takviye malzemesi olarak iki şekilde sınıflandırılabilir.

Matris türüne göre kompozitler; polimer matrisli, metalik matrisli ve seramik matrisli kompozitler olarak sınıflandırılabilir.

Takviye türüne göre kompozitler; fiber (elyaf) takviyeli, dolgu yapılı, partikül (parçacık) takviyeli ve tabaka yapılı (lamine) kompozitler olarak sınıflandırılabilir [22].

2.1. Takviye Malzemesi

Takviye elemanı malzemenin üstüne gelen yükü yaklaşık %90 seviyelerinde taşıyan elemanlardır. Genel olarak elyaflardan oluşur. Takviye malzemesinin amacı matrisin rijitliğini arttırmak, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek elastik modül, malzemenin mukavemetini arttırmak gibi özellikler kazandırır.

2.1.1. Fiber (Elyaf) takviyeli kompozitler

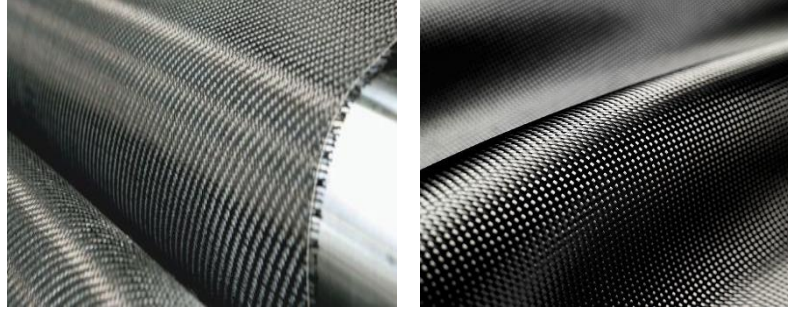
Elyaf takviyeli kompozitler elyafın kullanıldığı kompozitlerdir. Takviye elemanı olarak elyaf kullanılan kompozitler çekme, eğme, darbe dayanımı gibi birçok mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılır. Elyaf kullanılan kompozitlerde matris malzemesi elyaf malzemesini bir arada tutar ve ona rijitlik kazandırır. Elyaf ve matris malzemesi kompozit malzemeleri oluştururken belli bir hacimsel oran mevcuttur. Hacimsel oranlar değiştiğinde kompozit malzemenin mekanik özellikleri de değişir. Elyaf oranı belli bir seviyede arttıkça kompozit malzemenin mekanik özellikleri artar elyaf oranı daha da arttırılırsa matris malzemesinin oranı azalacağından kompozit malzemenin mukavemeti düşecektir.

Elyafın çapı da kompozit malzemenin mukavemetini etkileyen bir diğer özelliktir. Elyaf ne kadar ince çapta olursa reçine elyafı o derece iyi ıslatır ve elyaf ile reçine arasında iyi bir bağ kuvveti oluşur böylelikle üretilen kompozit malzemenin mukavemetini arttırır.

Elyaf malzemesi kullanmanın avantajlarından biri de elyaf demetine dışarıdan uygulanan yük nedeniyle kırılma, kopma gibi hasara uğrayabilir lakin bu hasar diğer elyaf demetlerine iletilmez. Aynı yük yığın halindeki bir cam malzemede meydana geldiğinde çatlak ilerleyerek tüm malzemenin hasara uğramasına yol açabilir. Bunun dışında elyaf takviyeli kompozitlerin korozyon dayanımı ve yorulma dayanımları da iyidir. Bu özellikleri bakımından havacılık, uzay, otomotiv, inşaat sektörü gibi birçok alanda tercih edilirler.

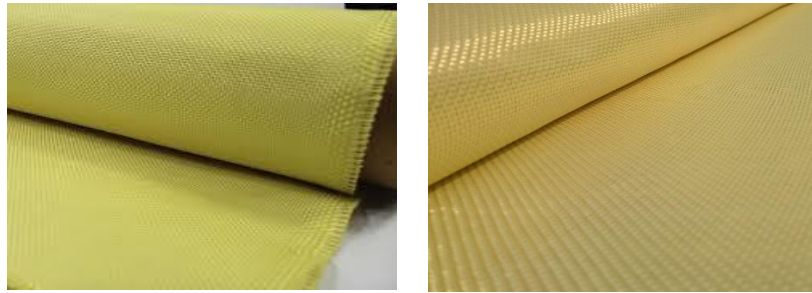
En yaygın olarak kullanılan elyaflar; Karbon elyaf, Aramid elyaf, Cam elyaf olarak sıralayabiliriz [23].

Karbon elyafı: Karbon elyafların özellikleri arasında yüksek darbe dayanımı, sürünme dayanımı, aşınma dayanımı, yorulma dayanımlarını sayabiliriz. Karbon elyaflar yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Dezavantajı ise liflerinin sınırlı uzama özellikleri nedeniyle darbe dayanımı sorununa neden olmaktadır. Bu sorunun çözümü için araştırmalar devam etmektedir. Askeri ve sivil uçakların imalatında yaygın olarak kullanılır. Karbon elyaf örnekleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



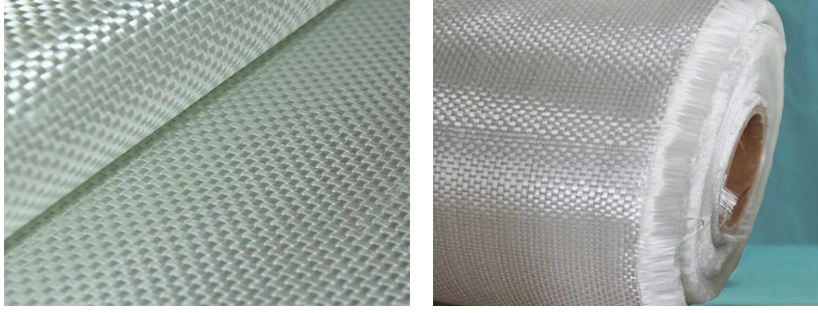
Şekil 2.1. Karbon elyaf örnekleri.

Aramid elyafı: Aramid elyaf cam elyaftan daha hafif ve daha rijittir. Aramid elyafların basma dayanımları düşüktür. Bu yüzden karbon elyafla birlikte hibrit kompozit oluşturarak kullanım alanı bulmaktadır. Basma dayanımlarının düşük olmasından dolayı aramid takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin nem tutma özelliği de zayıftır. Aramid elyaf örnekleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Aramid elyaf örnekleri.

Cam elyafı: Cam fiberin esasını silisyum dioksit (SiO_2) oluşturmaktadır. Bununla beraber belirli bir oranda alüminyum, kalsiyum, sodyum bor ve demir gibi elementlerin oksitlerini de içerebilmektedir. Cam elyafların kimyasallara karşı dayanımı yüksek, nem alma özellikleri ise zayıftır. Cam fiber ucuz bir takviye malzemesidir ve yaygın olarak plastik esaslı kompozitlerde kullanılır. Cam elyaf örnekleri Şekil 2.3’de gösterilmiştir [24].



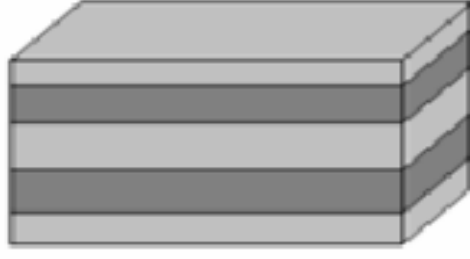
Şekil 2.3. Cam elyaf örnekleri.

2.1.2. Partikül takviyeli kompozitler

Parçacık takviyeli kompozitler bir matris malzemesi içine makro ölçekli partiküllerin eklenmesiyle elde edilen kompozitlerdir. Partikül takviyeli kompozitlerde parçacık ve matris etkileşimi atomik veya moleküler düzeydedir. Takviye malzemesinin etkinliğinin yüksek olması için matris malzemesinin içerisinde eşit olarak dağılması gerekmektedir. Takviye malzemesi ve matris malzemesinin hacimsel oranı kompozit malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir etkidir. Parçacık takviyeli kompozit malzemeleri seramik, metal veya polimer matrislerle kullanılabilir. Yaygın olarak uygulandığı alanlar, yüksek servis sıcaklığı ve yüksek aşınma dayanımı gereken alanlardır [25].

2.1.3. Tabaka yapılı kompozitler

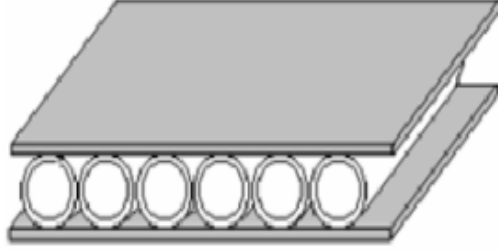
Tabakalı kompozitler en yaygın kullanım alanına sahip en eski kompozit türüdür. Bu tip kompozitler özellikleri farklı olan en az iki tabakadan oluşan malzemelerdir. Bu kompozitler farklı kombinasyonlarda üretilebilmektedir. Farklı elyaf yönlerine sahip tabakaların bileşimi ile yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Tabakalı kompozit Şekil 2.4’de gösterilmiştir [26].



Şekil 2.4. Tabakalı kompozitler.

2.1.4. Dolgu takviyeli kompozitler

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu bir dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla oluşan malzemelere dolgu takviyeli kompozitler denir. Matris malzemesi farklı geometrik şekillere sahip iskelet veya şebeke yapıdadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Dolgu takviyeli kompozit Şekil 2.5’de gösterilmiştir [27].



Şekil 2.5. Dolgu takviyeli kompozit.

2.2. Matris Malzemesi

Matris, kompozitlerde bulunan takviye elemanını yapı içerisinde bir arada tutan maddeye denir. Kompozit malzeme üzerine gelen yükler önce matris tarafından karşılanır ve matris ile elyaflara aktarılır. Kompozit yapıda rijitlik sağlar. Matris malzemesinin amacı, kompozit yapı içerisindeki elyafları desteklemek ve onları bir arada tutmaktır.

2.2.1. Polimer matrisli kompozitler

Polimerler, seramik ve metallere göre daha karmaşık yapıdaki malzemelerdir. Kompozit yapıda matris olarak kullanılırlar.

Polimerler düşük elastik modül ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptir. Polimer matrisli kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek elastiklik modülü ve yüksek mukavemete sahip olmasıdır.

Polimerler, termoset, termoplastik ve elastomer olarak üç guruba ayrılır. Matris olarak en yaygın kullanılanlar termosetler ve termoplastiklerdir [28].

2.2.1.1. Termosetler

Termosetler katalizör ve reçine veya sertleştiricinin karıştırılmasıyla kürlenmekte ve kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra eski hallerine döndürülemezdir. Termosetler çapraz bağ adı verilen moleküler zincirler oluştururlar. Çapraz bağlar sayesinde esnek bir yapı olmaktan çıkar ve ergitilerek tekrar şekillendirilemezler. Çapraz bağların sayısı arttıkça malzemenin termal kararlılığı artmakla beraber daha rijit bir hale gelmektedir[29].

Termoset polimerler yüksek termal ve boyutsal kararlılığı, rijit yapıları, yüksek kimyasal çözücü direnci ve oda sıcaklığında sıvı halde bulunmaları kompozit malzeme üretiminde çok sık kullanılmalarını sağlamıştır [29].

Matris malzemesi olarak en çok kullanılan termosetler, epoksi, polyester ve vinil ester reçinelerdir.

Polyester reçineler: Düşük maliyetleri ve yüksek korozyon direnci sayesinde denizcilik sektöründe çok sık kullanılmaktadır. Polyester reçineler termoset ya da termoplastik özellikler gösterebilmektedir. Polyester reçineler doymamış halde termoset, doymuş halde ise termoplastik özellik göstermektedirler [29].

Epoksi reçineler: Genellikle birbiriyle bağlı halde bulunan iki farklı karbon atomuna oksijen atomunun bağlanmasıyla oluşmaktadır. Bu yapıya alfa epoksi adı verilmiştir. Epoksi reçineler yüksek kimyasal ve yüksek korozyon dirençlerinin yanında fiberler üzerinde çok iyi tutunma özelliği göstermeleri sayesinde savunma ve havacılık sanayisinde çok sık kullanılmaktadır. Mukavim yapıları, yüksek uzama katsayıları ve yüksek yapışma özellikleri sayesinde epoksi reçineleri, birçok farklı fiber malzemesi için iyi bir matris malzemesidir [29].

Epoksi reçinelerinin avantajları arasında fiber yapılar için bağ dayanımının yüksek olması, aşınmaya karşı yüksek direncinin olması, uçucu olamamaları, yüksek kimyasal dayanıma sahip olması, kopma dayanımlarının yüksek olması ve geniş bir sıcaklık aralığında sertleşebilme özelliklerini sayabiliriz [30].

Dezavantajları ise, polyesterlere göre yüksek maliyete sahip olması ve polyesterlere oranla yüksek vizkoziteye çok uygun olmamasını söyleyebiliriz [30].

Vinil Ester Reçineler: Epoksi reçinelerinin avantajları ve doymamış polyesterlere özgü olan üretimi kolay ve hızlı sertleşme özelliklerini bir araya getirebilmek için geliştirilmiştir. Fiber ve matris arasında iyi bir bağ dayanımına sahip olması en önemli avantajlarından. Bu plastikler, kimyasal dayanım gerektiren kimya tesislerinde, borularda ve depolama tanklarında kullanılmaktadır [30].

2.2.1.2. Termoplastikler

Termoplastikler, birbirlerine Van Der Waals bağları ile bağlanan hidrokarbon moleküllerinden meydana gelir. Van Der Waals bağları, kovalent bağlara göre zayıf bağ olduğundan termoplastikler ısıtılarak kolay bir şekilde eritilebilmektedir. Sıcaklığın artırılması ile termoplastiklerin viskoziteleri kolayca düşürülebilmektedir. Termoplastikler oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Isıtıldıklarında yumuşadıkları gibi soğutulduklarında yeniden sertleşebilirler. Termoplastikler kristal yapı veya amorf yapıda olabilirler. Kristal yapıda bulunan termoplastiklerde moleküller kristal yapıdan kaynaklanan düzenden dolayı uzak mesafelerde düzenli şekil oluştururlar. Amorf yapıda ise bu kristal düzen olmadığı için polimer zinciri birçok noktada karışarak düzensiz yapıda kalmıştır [31].

Termoplastik malzemelere örnek verecek olursak;

Polivinil klorür; düşük maliyetli, dayanıklı ve montajı kolaydır. Bu nedenle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polipropilen; tekstil, kırtasiye ve laboratuvar ekipmanlarında çok sık kullanılmaktadır. Bu polimerin mukavemeti yüksektir.

Polikarbonat; elektronik, veri depolama, otomotiv, uçak ve güvenlik uygulamalarında kullanılmaktadır. Darbe dayanımı yüksektir.

Akrilonitril-bütadien-stiren (ABS); makine sektöründe çok sık kullanılan sert bir polimerdir. ABS birçok endüstride ve çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Genellikle ucuzdur, lakin stres altında çatlamaya eğilim gösterebilmektedir [32].

2.2.1.3. Elastomerler

Çapraz bağlı olan elastomerler uzun zincir moleküllerden oluşur. Bazı elastomerler %500'den fazla uzar ve tekrar eski şekline döner. En bilinen elastomer ise kauçuktur. Kauçuk iki sınıfa ayrılabilir.

Doğal kauçuk; Çeşitli bitkilerden çıkartılan kauçuktur.

Sentetik kauçuk: Termoplastik ve termosetler benzer polimerizasyon işlemleri ile üretilmektedir. Elastomerlerde çapraz bağ sayısı arttıkça daha rijit hale gelir [33].

2.2.2. Metal matrisli kompozitler

Kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak genellikle yüksek mukavemetli ve hafif metaller kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan metal matrisler alüminyum, titanyum ve magnezyumdur. Molibden, çelik, tungsten ve berilyum elyaflar takviye elamanı olarak kullanılmaktadır. Elyaf lar metal matrislere tokluk ve mukavemet özelliklerini kazandırmaktadır. Metal matrisler ise elyafları bir arada tutarlar [34].

Metal matrisli kompozitlerde kullanılacak pekiştiriciler belirli özellikler içermelidir. Bu özelliklerden bazıları yoğunluk, üretim kolaylığı, kimyasal uygunluk ve ısıl direnç olarak sayılabilir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı çok iyidir. Bu nedenle uçak motorlarında sıkça kullanılmaktadır [34].

2.2.3. Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozitler yüksek sıcaklık dayanımı, düşük yoğunluk ve ısıl şok direnci gibi özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı farklı alanlarda kullanılmaktadır. Matris malzemesi sert ve kırılğan olan seramiklerdir [35].

Seramik kompozitler farklı yapılarda bulunup uygulama alanlarına göre bir ya da bir kaç bir arada kullanılarak yeni tip seramik matrisli kompozitler elde edilir. Bu kompozitlerin yaygın olarak kullanıldığı alanlar sandviç zırhlar, uzay mekiklerinin üretimi ve askeri amaçlı farklı parçaların üretimidir [35].

2.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

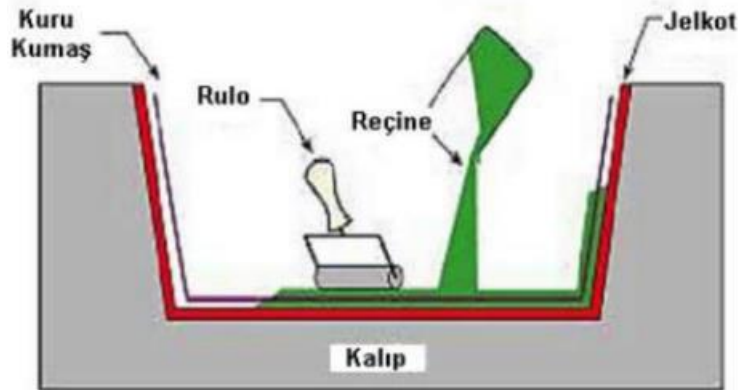
Üretim yöntemi her kompozit malzeme için farklılık gösterir. Üretim yöntemlerinin farklı olmasının sebebi kullanım alanlarının değişmesinden kaynaklanır. Uygun üretim yöntemi seçmek oldukça önemlidir. Üretilen kompozit malzemenin kalitesi üretim yönteminin kalitesine bağlıdır [36].

Kompozit malzemelerde en yaygın olarak kullanılan elyaf takviyeli kompozit malzemelerdir.

2.3.1. Elyaf takviyeli kompozit malzeme üretim yöntemleri

2.3.1.1. El ile yatırma yöntemi

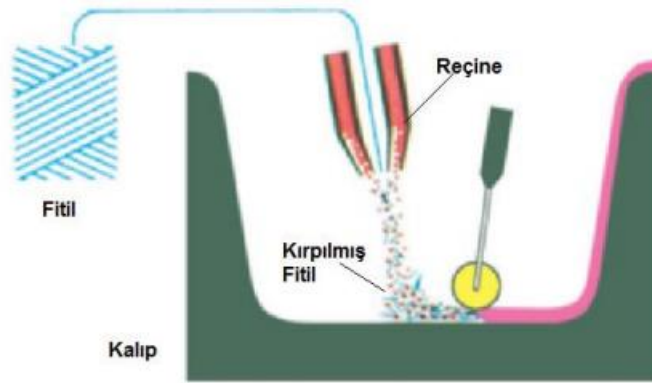
Takviye malzemesi olarak fiberler (cam, karbon ve aramid fiber) kullanılmaktadır. İlk başta kalıp temizlenir ve kalıp ayırıcı vaks sürülür. Kalıp ayırıcı vaks kompozit malzemenin kalıptan ayrılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu işlemden sonra elyaf katmanları yatırılmaktadır. Yatırma işlemi sırasında reçinenin emdirilmesi için bir rulo veya fırça kullanılmaktadır. Reçinenin elyaf kumaşa iyi nüfuz etmesi ve homojen dağılması sağlanmaktadır. İstenilen kalınlık elde edilinceye kadar bu işlem devam ettirilir ve tabakalı kompozit malzeme üretilir. El ile yatırma yöntemi safhası Şekil 2.6'da gösterilmiştir [37].



Şekil 2.6. El ile yatırma yöntemi safhası.

2.3.1.2. Püskürtme yöntemi

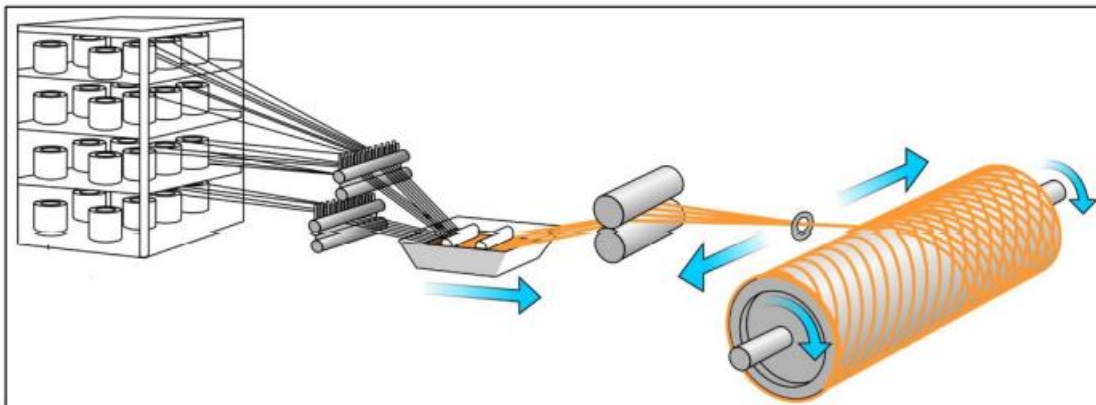
Püskürtme yöntemi el ile yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırpılmış elyaflar ile reçine karışımı özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bir kırpıcı tarafından yapılır. Püskürtülme işleminden sonra bir rulo ile yüzey düzeltilir ve ürün hazır hale gelir. Püskürtme yöntemi Şekil 2.7’de gösterilmiştir [38].



Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi.

2.3.1.3. Elyaf sarım yöntemi

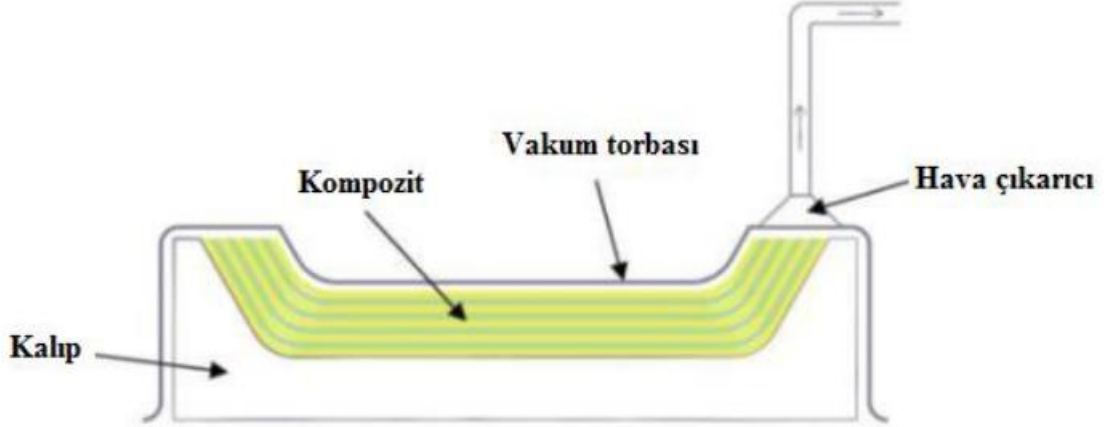
Elyafın reçine banyosuna daldırılmasından sonra iki punta arasında dönmekte olan ve üzerine kalıp ayırıcı sürülmüş kalıp üzerine sarılması yöntemidir. Basınçlı kap ve tüp benzeri silindirik şeklindeki formların üretimi için uygundur. Adetli parçalar bu yöntemle uygun fiyatlara üretilebilmektedir. Elyaf sarma yöntemi Şekil 2.8’de gösterilmiştir [39].



Şekil 2.8. Elyaf sarım yöntemi.

2.3.1.4. Vakumlu torbalama yöntemi

Elyaf kombinasyonu ve reçine ile daha iyi kalitede malzeme elde etmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, sertleşmemiş kompozit malzemenin kalıba yerleştirilmesi ve düzeneğin bir torba ile kaplanmasından oluşur. Elyaf ve reçine karışımı Şekilde gösterildiği gibi yerleştirilir. Vakum torbası kalıplama ile gerçekleştirilen kompozit üretim işlemi Şekil 2.9'da gösterilmiştir [40].



Şekil 2.9. Vakum torbası kalıplama ile gerçekleştirilen kompozit üretim işlemi.

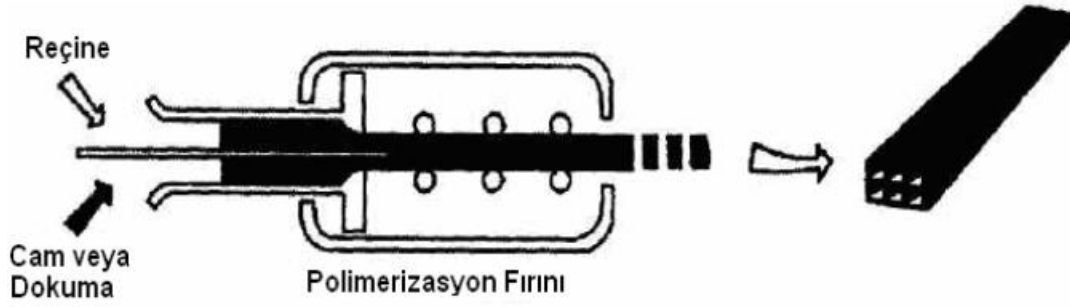
2.3.1.5. Preste kalıplama

Bu yöntemde reçine ve pekiştirici karışımı, iki parçadan oluşan kalıplarda basınç ve ısı altında şekillenir. Preslemede keçeler, kıyılmış fiberler, örgü ve kumaşlar kullanılabilir. Bu yöntemin avantajları:

- Üretim hızı yüksektir.
- Tüm parçalar aynı kalitede üretilebilir.
- Elyaf-reçine oranı ve boşluk miktarı çok iyi bir şekilde kontrol edilebilir [41].

2.3.1.6. Profil çekme yöntemi

Profil çekme yönteminde reçine malzemesi olarak genellikle epoksi, polyester ve vinil ester kullanılır. Takviye malzemesi olarak ise sürekli fiber malzemesi kullanılır. Şekilde profil çekme yöntemi gösterilmiştir. Profil çekme düzeneği Şekil 2.10'da gösterilmiştir [42].



Şekil 2.10. Profil çekme düzeneği.

2.3.1.7. Reçine trasfer kalıplama yöntemi

Bu yöntemde genellikle sürekli lifler kullanılır. Kalıp iki bölümden oluşur. Birinci bölüm, ikinci bölüm üzerine geldikten sonra iki kısım birleşir. Sonra dağıtım ekipmanları kullanılarak, basınç altında tutulan katalizör, reçine, renk vs. karışımı kalıp içerisine basılır. Kür kinetiğine bağlı olarak karışım, 6-30 dakika kür edilir ve kalıptan çıkarılır.

Reçine transfer kalıplama yöntemi havacılık, otomotiv ve spor malzemeleri üretiminde kullanılabilir. Genel olarak bu yöntemle; kasklar, hokey sopası, kapılar ve uçak parçaları üretilmektedir [43].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Çekme Deneyi Testi Koşulları

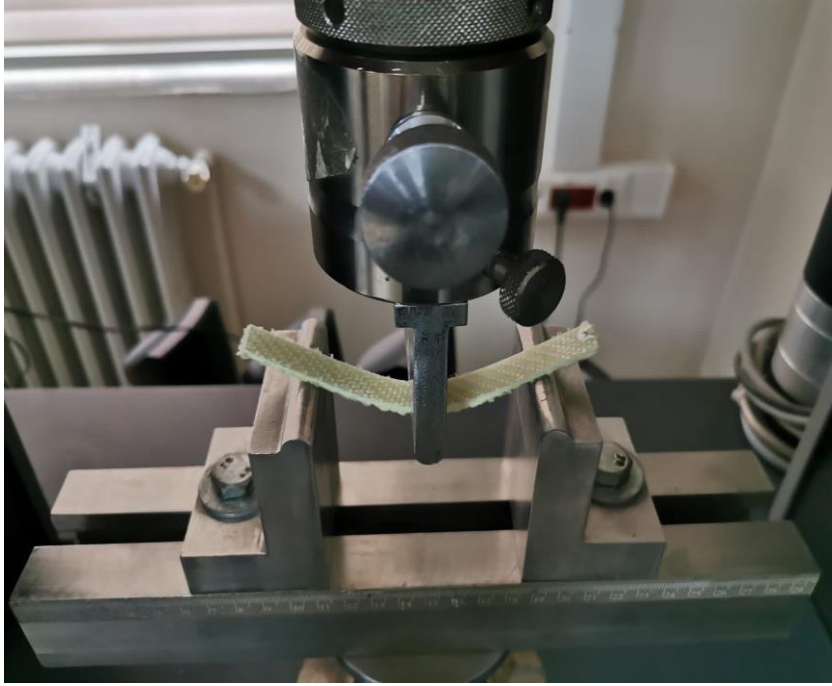
Çekme testleri, 30 ton yük kapasitesine sahip Dartec marka test cihazında gerçekleştirilmiştir. ASTM D3039 standardına göre her bir plakadan ve her bir kombinasyondan 250x25 mm boyutlarında 3'er adet test numunesi hazırlanmıştır. Numuneler, 2 mm /dk çekme hızıyla test edilmiştir. Çekme test cihazına ait görüntü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çekme testi cihazı.

3.2. Eğme Deneyi Testi Koşulları

Üç nokta eğme testi, 5 ton yük kapasitesine sahip Zwick/Roell marka test cihazında gerçekleştirilmiştir. ASTM D790 standardına göre her bir plakadan ve her bir kombinasyondan 125x13 mm boyutlarında 3'er adet test numunesi hazırlanmıştır. Numuneler, 2 mm/dk eğme hızıyla test edilmiştir. Üç nokta eğme test cihazına ait görüntü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Üç nokta eğme test cihazı.

3.3. Darbe Deneyi Testi Koşulları

Bu çalışmada izod darbe testi kullanılmıştır. ASTM 4812 standardına göre her bir kombinasyondan 65x13 mm boyutlarında 3'er adet test numunesi hazırlanmıştır. Alerge marka izod/charpy darbe test cihazı kullanılmıştır. İzod darbe testinde ağırlığı 0,869 kg olan 5,5 Joule'lük çekiç ile deney gerçekleştirilmiştir. Test cihazı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Darbe test cihazı.

3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel çalışmada ilk olarak numuneler hazırlanmıştır. Numunelerde Karbon fiber, Cam fiber ve Aramid fiberlerin epoksi reçinesi ile birleştirilerek farklı kombinasyonlarda 6 adet hibrit plaka oluşturulmuştur. Oluşturulan hibrit plakalar elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Oluşturulan plakaların zemine yapışmasını engellemek amacı ile zemine kalıp ayırıcı vaks yardımı ile yapışması engellenmiştir. Oluşturulan hibrit plakalar 6 katmanlıdır. Epoksi reçine ve sertleştiricisi Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



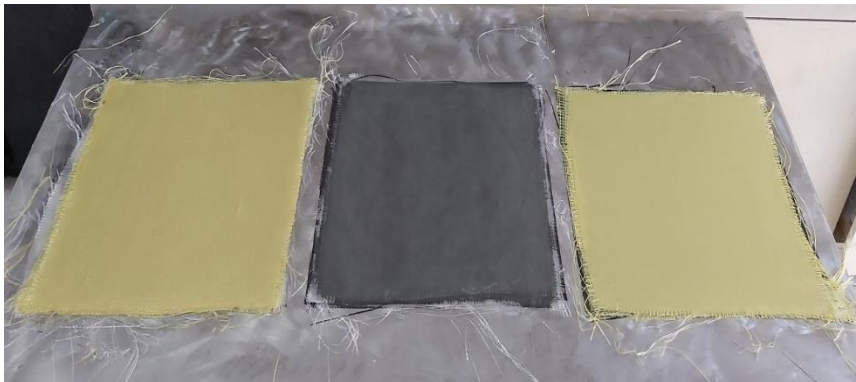
Şekil 3.4. Epoksi reçine ve sertleştiricisi.

Karbon fiber olarak plain dokuma ve yoğunluğu 200 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Karbon fiberler $400 \times 400 \text{ mm}$ ebatlarında kesilmiştir. Kesilen karbon fiberin zeminle yapışmasını engellemek amacı ile kalıp ayırıcı vaks kullanılmıştır. Epoksi reçine ađırlıkęa 100/40 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Uygun ölçülerde kesilen karbon fiberler cam ve aramid fiberler ile birlikte elle yatırma yöntemi ile farklı kombinasyonlarda 6 adet hibrit plaka oluşturulmuştur.

Aramid fiber olarak twill dokuma ve yoğunluğu 170 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Aramid fiberlerin zemine yapışmasını engellemek için zemine vaks kalıp ayırıcı sürölmüştür. Epoksi reçine ađırlıkęa 100/40 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Uygun ölçülerde kesilen aramid fiberler karbon ve cam fiberler ile birlikte elle yatırma yöntemi ile farklı kombinasyonlarda 6 adet hibrit plaka oluşturulmuştur.

Cam fiber olarak twill dokuma ve yoğunluğu 280 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Kesilen cam fiberlerin altına kalıp ayırıcı vaks sürölerek zeminle yapışması engellenmiştir. Epoksi reçine ađırlıkęa 100/40 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Uygun ölçülerde kesilen cam fiberler karbon ve aramid fiberler ile birlikte elle yatırma yöntemi ile farklı kombinasyonlarda 6 adet hibrit plaka oluşturulmuştur.

Son olarak karbon fiber, aramid fiber ve cam fiberler ile oluşturulan farklı kombinasyonlardaki 6 hibrit plaka 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Oluşturulan hibrit plakalar CNC dikey işleme merkezinde kesilerek numuneler elde edilmiştir. Hibrit plakalar şekil 3.5’de gösterilmiştir.



şekil 3.5. Farklı kombinasyonlardaki hibrit plakalar.

3.5. Deney Numune Kombinasyonları

Hazırlanmış olan hibrit yapıdaki kompozit plakalar 6 katmanlıdır. Hibrit kompozit plakalar, karbon, aramid ve cam fiberlerin farklı diziliş sıralarına göre farklı kombinasyonlarda elde edilmiştir. Deney numunelerinin kombinasyonları Tablo 3.1 ve 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çekme ve darbe deney numunelerinin kombinasyonları.

Kombinasyon	Diziliş sırası
1	3K + 3C
2	3A + 3C
3	3A + 3K
4	2A + 2K + 2C
5	2K + 2C + 2A
6	2C + 2A + 2K

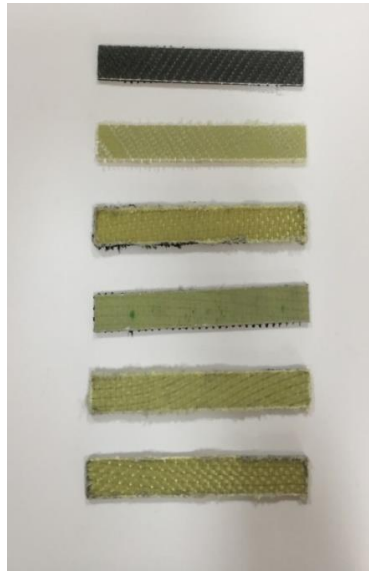
Tablo 3.2. Eğme deney numunelerinin kombinasyonları.

Combinations	Diziliş sırası
1	3K + 3C
2	3A + 3C
3	3A + 3K
4	2A + 2K + 2C
5	2K + 2C + 2A
6	2C + 2A + 2K
7	3C + 3K
8	3C + 3A
9	3K + 3A
10	2C + 2K + 2A
11	2A + 2C + 2K
12	2K + 2A + 2C

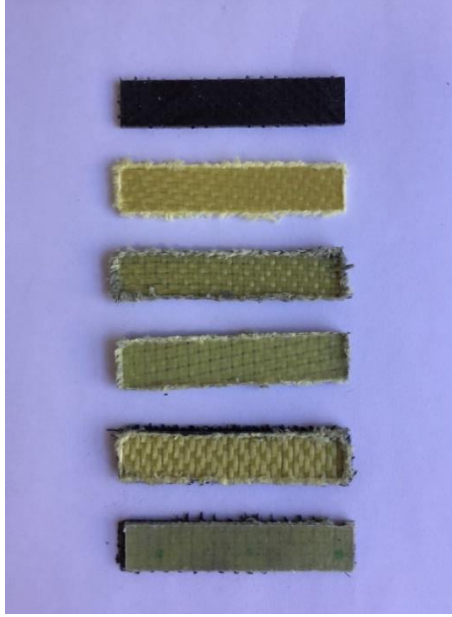
Hazırlanan çekme, eğme ve darbe deney numunelerine ait görüntüler Şekil 3.6-3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Çekme testi numuneleri.



Şekil 3.7. Eğme testi numuneleri.

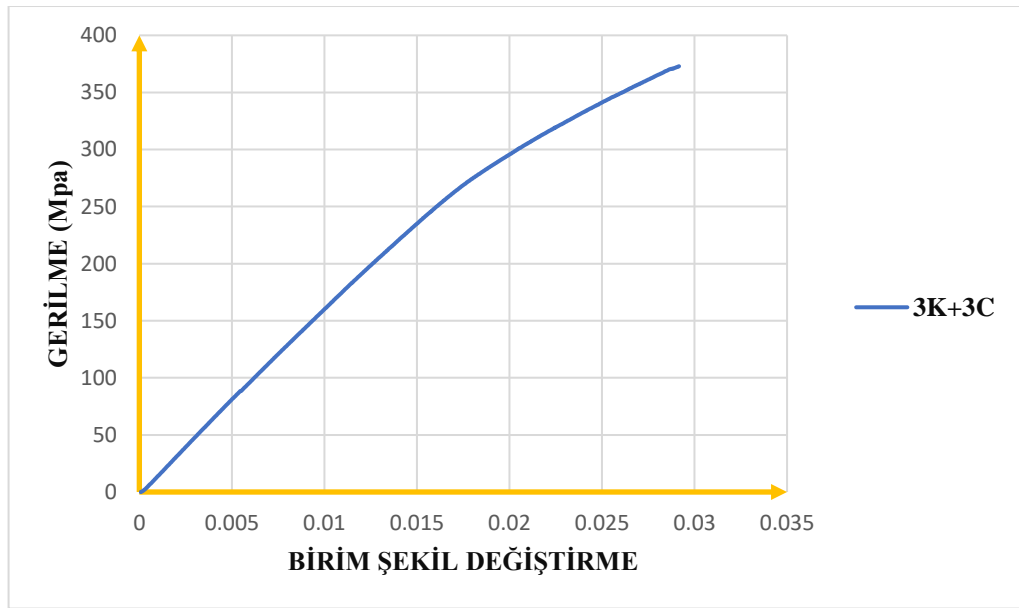


Şekil 3.8. Darbe testi numuneleri.

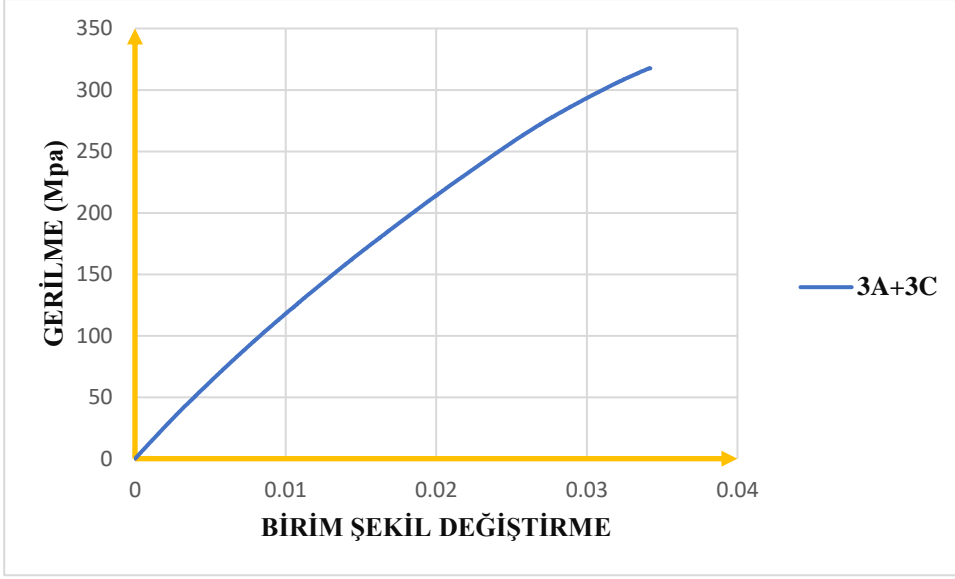
4. SONUÇLAR

4.1. Çekme Deneyi Sonuçları

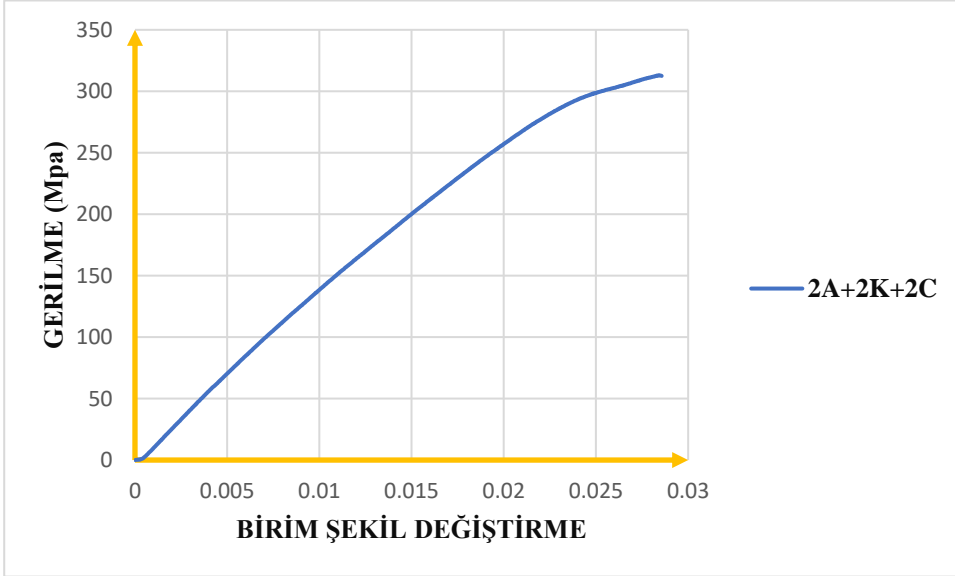
Çekme deneyi sonucu elde edilen Gerilme-Birim Şekil Değişimi grafikleri Şekil 4.1-4.6'de verilmiştir.



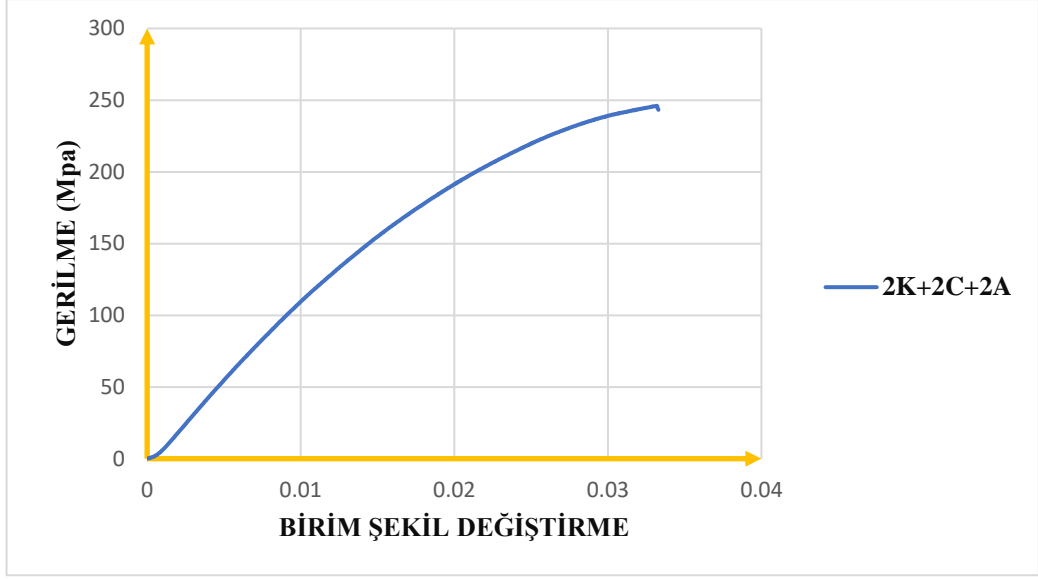
Şekil 4.1. 3K+3C'nin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.



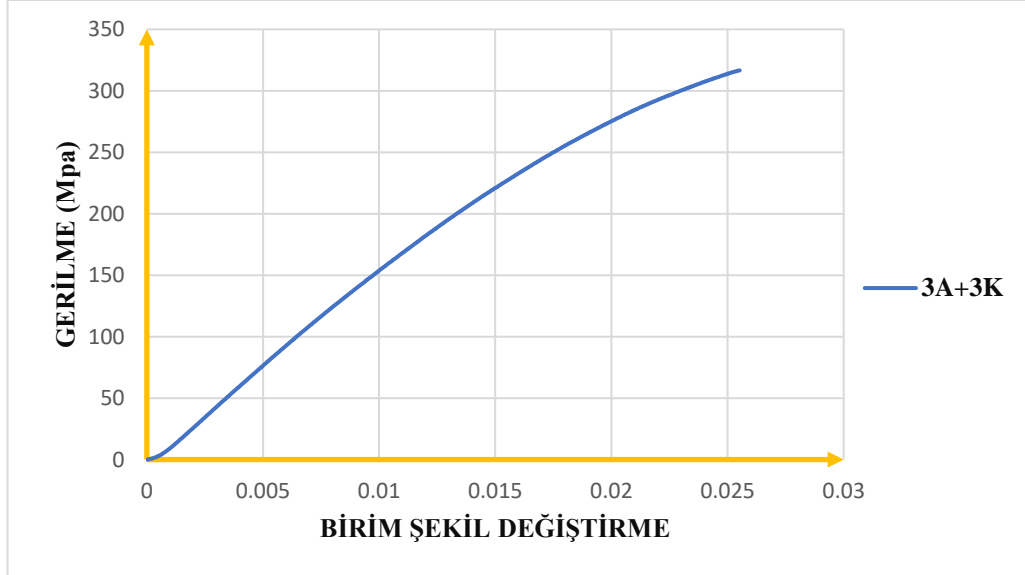
Şekil 4.2. 3A+3C'nin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.



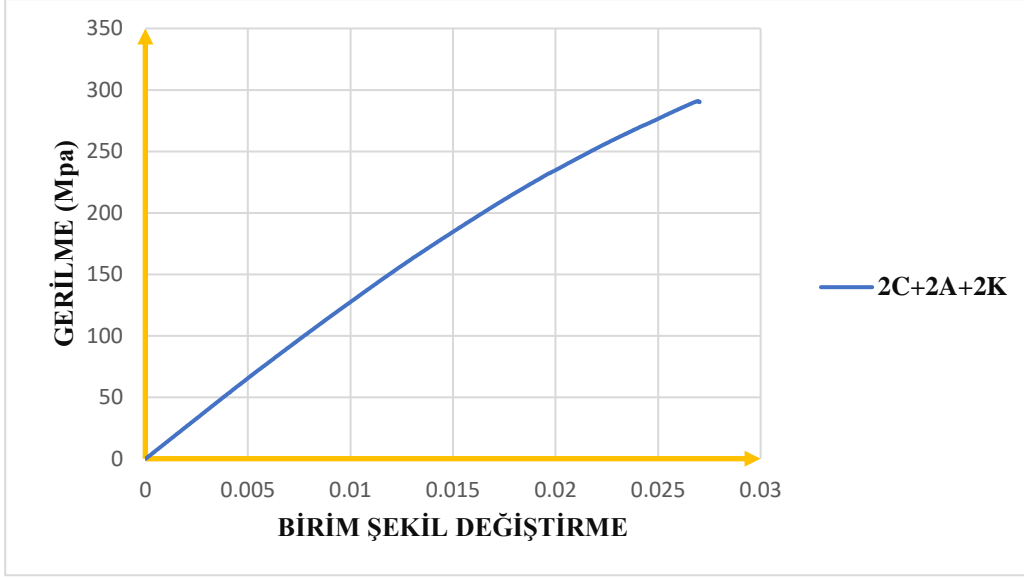
Şekil 4.3. 2A+2K+2C'nin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.



Şekil 4.4. 2K+2C+2A'nın gerilme-birim şekil değıştirme grafiği.

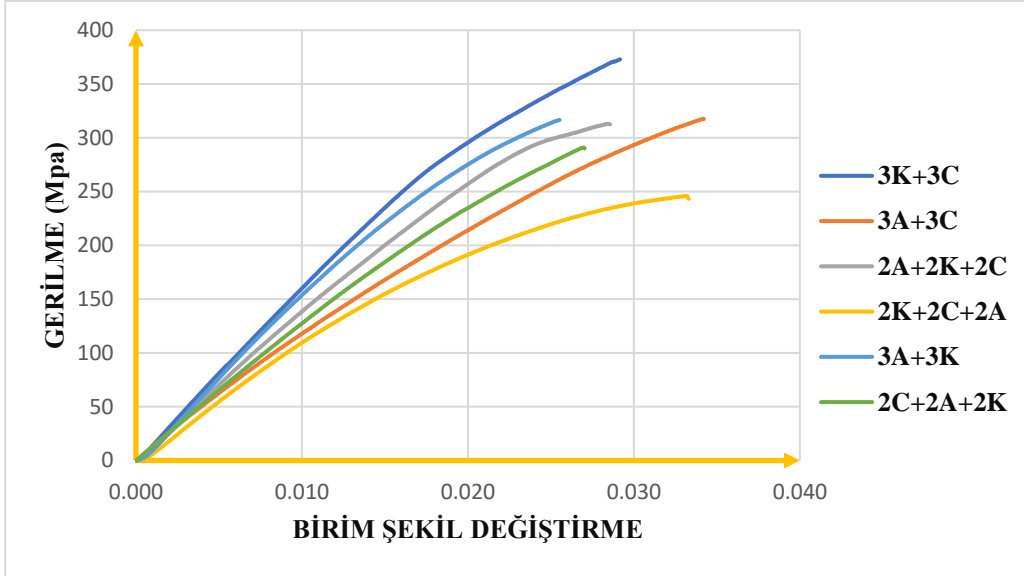


Şekil 4.5. 3A+3K'nın gerilme-birim şekil değıştirme grafiği.



Şekil 4.6. 2C+2A+2K'nın gerilme-birim şekil değıştirme grafiği.

Şekil 4.7'de tüm kombinasyonlara ait Gerilme-Birim Şekil Değişimi eğrileri toplu halde verilmiştir.



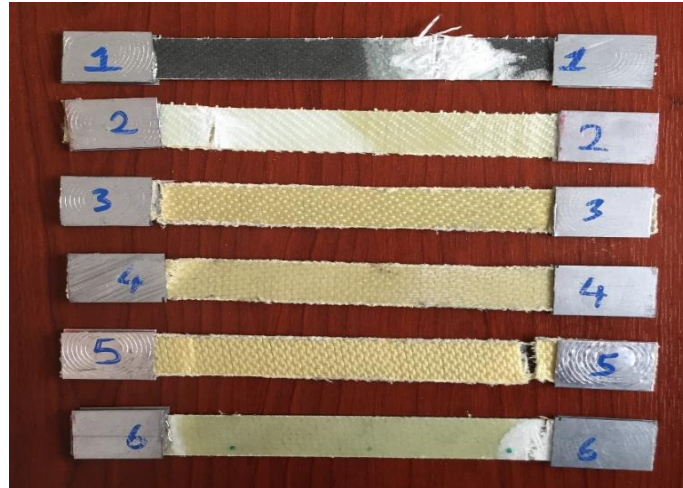
Şekil 4.7. Tüm kombinasyonların gerilme-birim şekil değıştirme grafiği.

Tüm kombinasyonların çekme testi sonucu elde edilen mekanik özellikleri Tablo 4.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Tüm kombinasyonların çekme test sonuçlarına ait özet tablo.

Numune tipi	Elastiklik Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma uzaması
3K + 3C	16,65	351,47	0,0277
3A + 3C	12,27	301,03	0,0329
3A + 3K	13,47	294,75	0,0237
2A + 2K + 2C	15,40	292,29	0,0268
2K + 2C + 2A	12,50	225,47	0,031
2C + 2A + 2K	13,20	269,90	0,0254

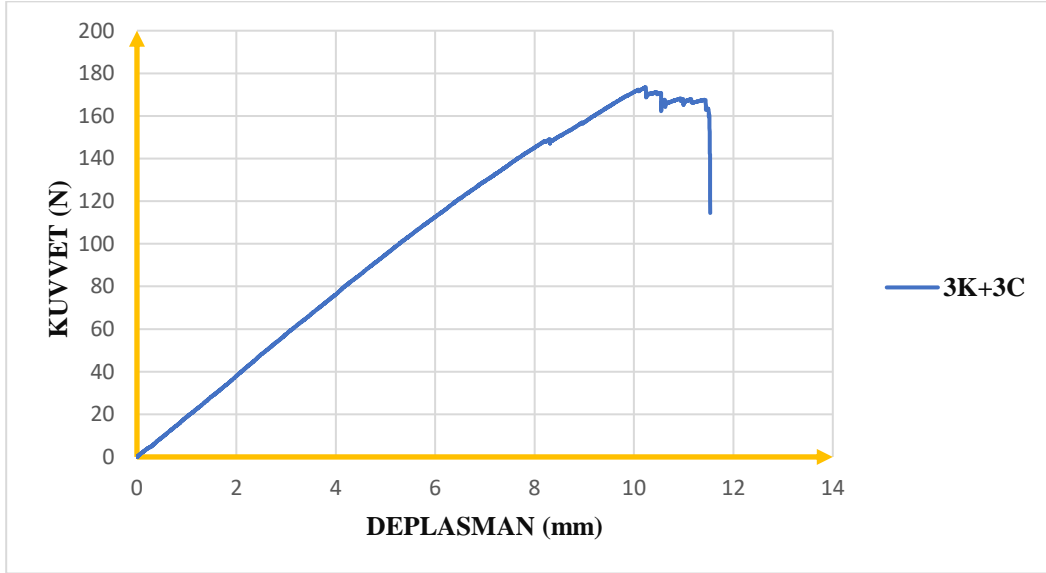
Çekme deney sonuçları incelendiğinde 3K+3C numunesi 351,47 MPa gerilme ile en büyük çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. 3A+3C numunesi 301.03 MPa çekme dayanımı ile ikinci sıradadır. 2K+2C+2A numunesi 225,47 MPa ile en düşük çekme dayanımına sahiptir. Deney numunelerinin rijitliği incelendiğinde 3K+3C numunesinin en yüksek elastiklik modülüne sahip olduğu görülmektedir. En düşük elastiklik modülü 3A+3C numunesinde elde edilmiştir.



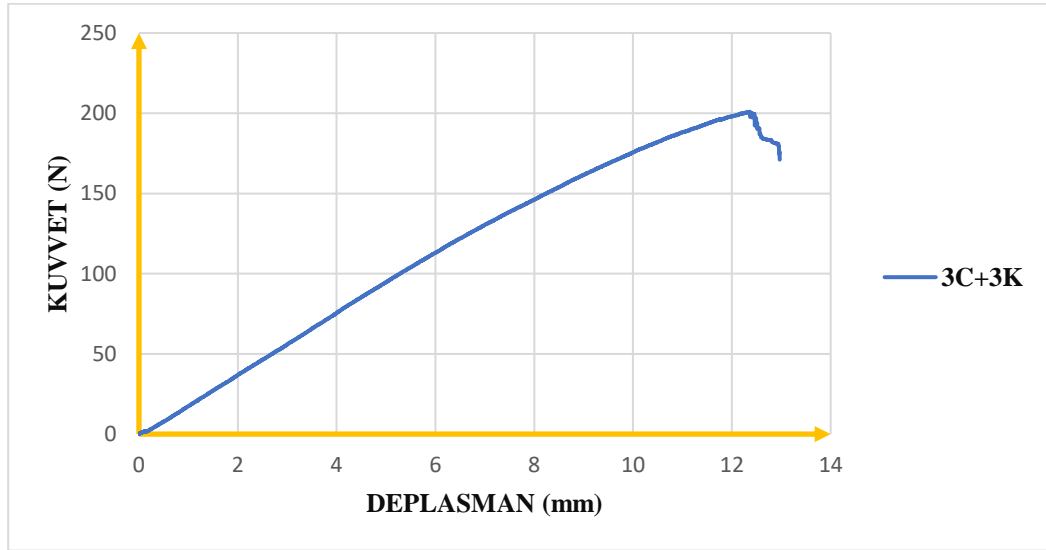
Şekil 4.8. Çekme testi numunelerinin deney sonrası görüntüsü.

4.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen Kuvvet-Deplasman grafikleri Şekil 4.9-4.20'de verilmiştir.



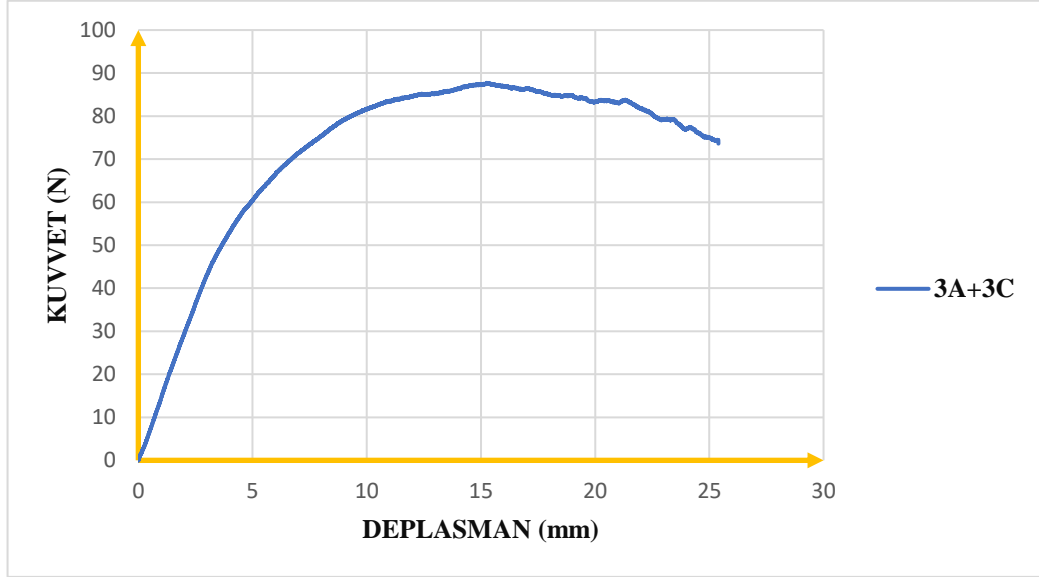
Şekil 4.9. 3K+3C'nin kuvvet-deplasman grafiği.



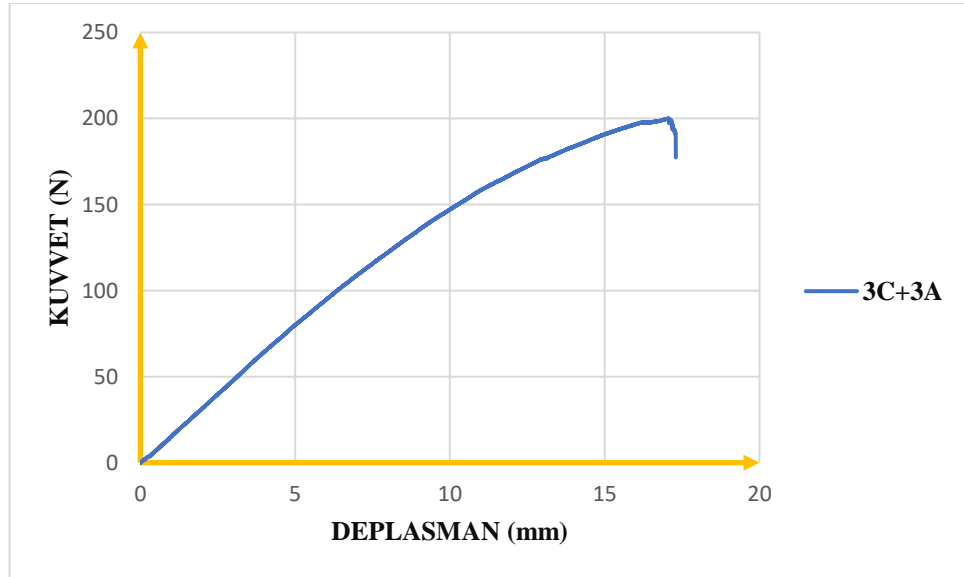
Şekil 4.10. 3C+3K'nin kuvvet-deplasman grafiği.

3K+3C kombinasyonu için yapılan eğme testinde kuvvet maksimum değeri 3K+3C için 173,47 N değerine ulaşmıştır. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise kuvvet maksimum değeri 3C+3K için 200,89 N değerine ulaşmıştır.

Deplasman ise 3K+3C için 11,533 mm maksimum olarak gerçekleşmiştir. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise deplasman 3C+3K için 12,968 mm olarak maksimum değerine ulaşmıştır.



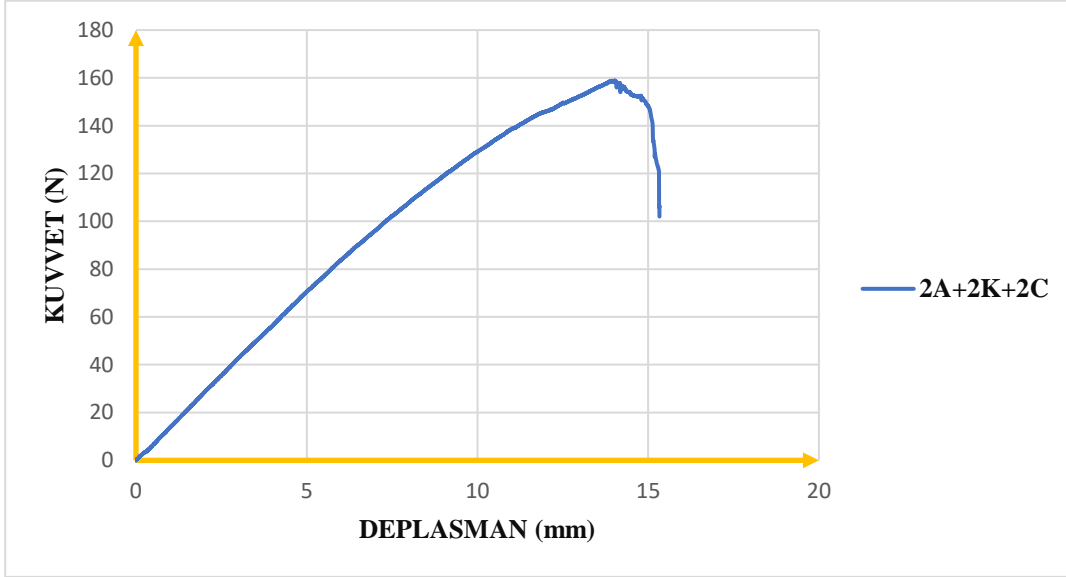
Şekil 4.11. 3A+3C'nin kuvvet-deplasman grafiği.



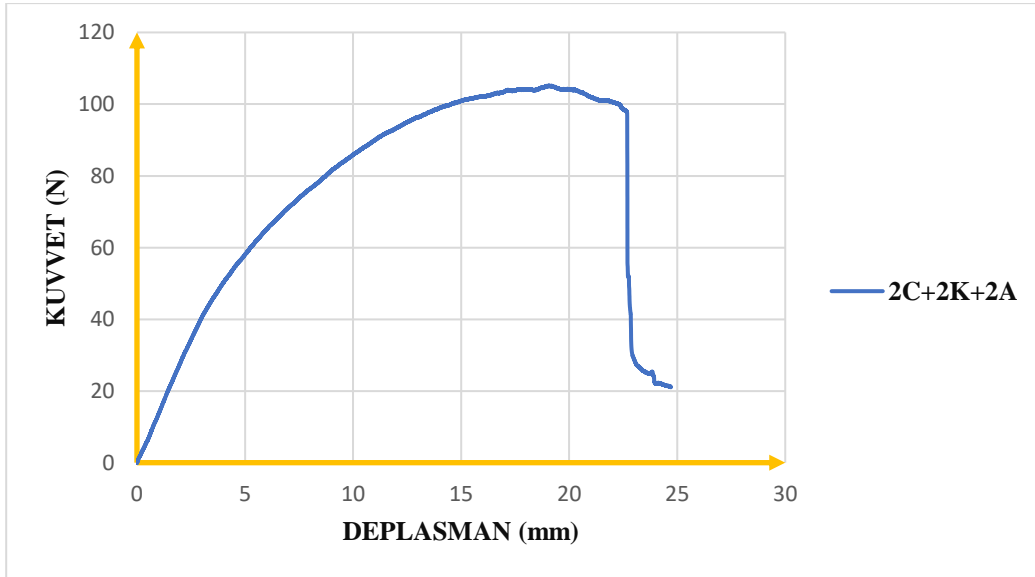
Şekil 4.12. 3C+3A'nin kuvvet-deplasman grafiği.

3A+3C kombinasyonu için yapılan eğme testinde kuvvet maksimum değeri 3A+3C için 87,74 N değerine ulaşmıştır. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise kuvvet maksimum değeri 3C+3A için 200,05 N değerine ulaşmıştır.

Deplasman ise 3A+3C için 25,397 mm maksimum olarak gerçekleşmiştir. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise deplasman 3C+3A için 17,297 mm olarak maksimum değerine ulaşmıştır.



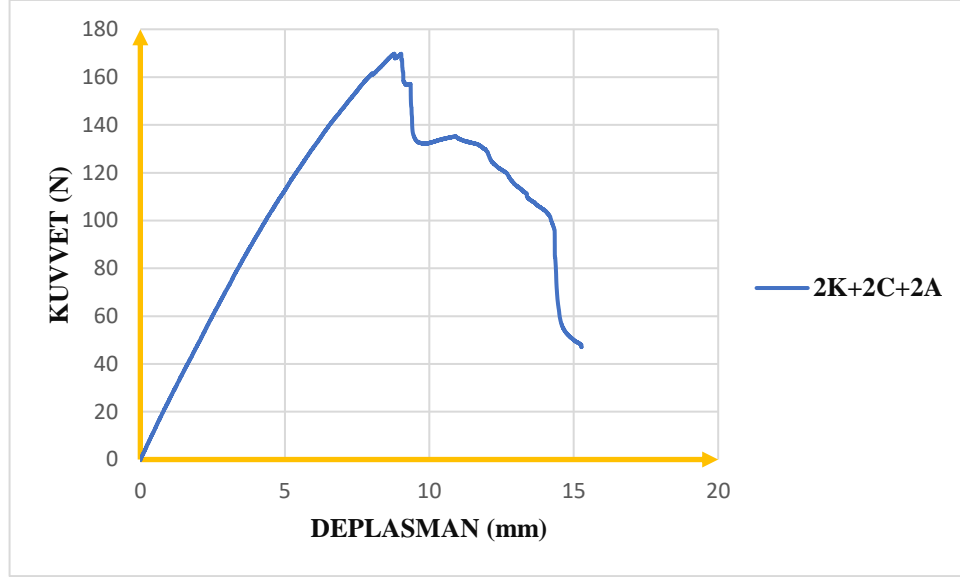
Şekil 4.13. 2A+2K+2C'nin kuvvet-deplasman grafiği.



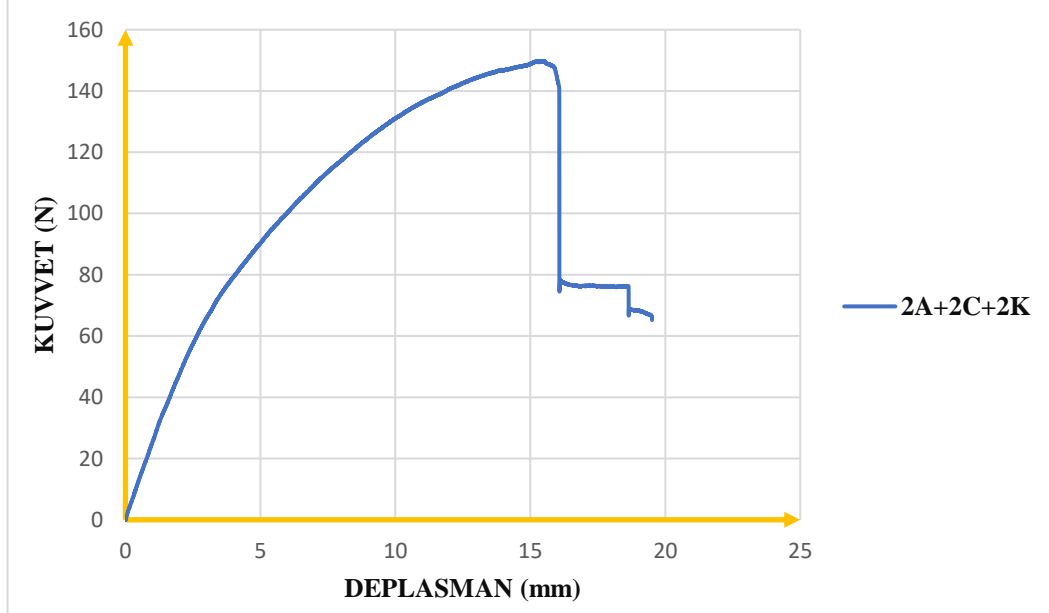
Şekil 4.14. 2C+2K+2A'nın kuvvet-deplasman grafiği.

2A+2K+2C kombinasyonu için yapılan eğme testinde kuvvet maksimum değeri 2A+2K+2C için 158,91 N değerine ulaşmıştır.

Kombinasyon ters çevrildiğinde ise kuvvet maksimum değeri 2C+2K+2A için 105,18 N değerine ulaşmıştır. Deplasman ise 2A+2K+2C için 15,330 mm maksimum olarak gerçekleşmiştir. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise deplasman 2C+2K+2A için 24,707 mm olarak maksimum değerine ulaşmıştır.

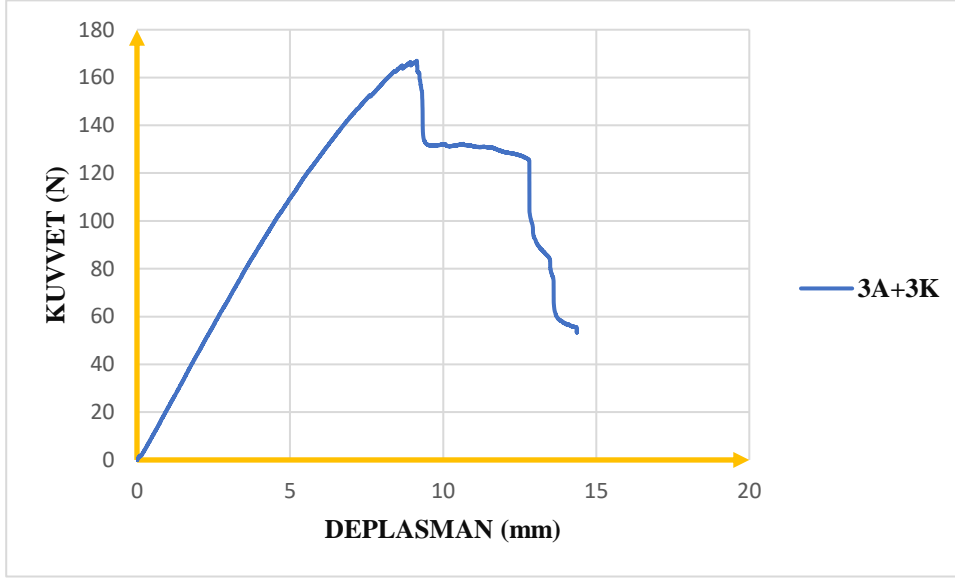


Şekil 4.15. 2K+2C+2A'nın kuvvet-deplasman grafiği.

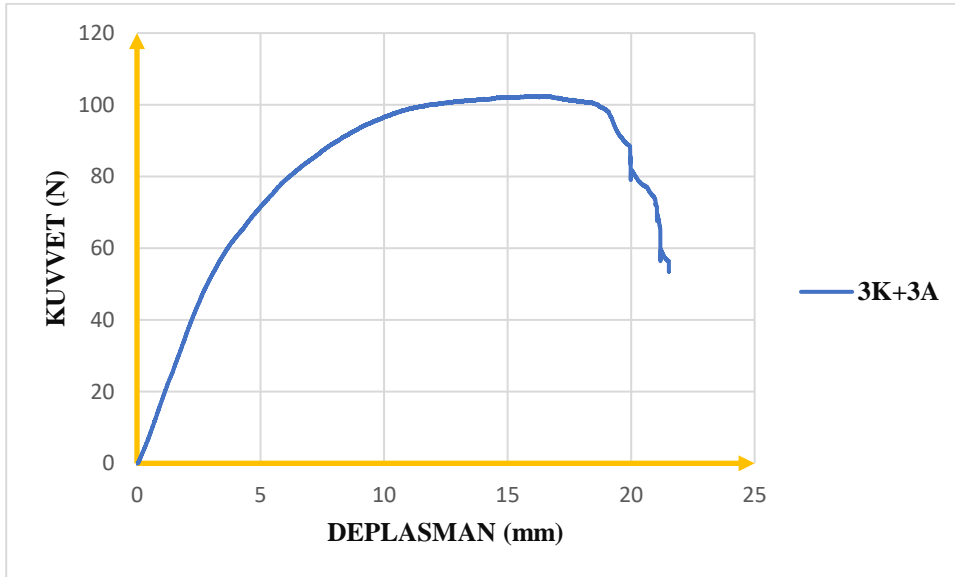


Şekil 4.16. 2A+2C+2K'nın kuvvet-deplasman grafiği.

2K+2C+2A kombinasyonu için yapılan eğme testinde kuvvet maksimum değeri 2K+2C+2A için 169,79 N değerine ulaşmıştır. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise kuvvet maksimum değeri 2A+2C+2K için 149,83 N değerine ulaşmıştır. Deplasman ise 2K+2C+2A için 15,266 mm maksimum olarak gerçekleşmiştir. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise deplasman 2A+2C+2K için 19,508 mm olarak maksimum değerine ulaşmıştır.

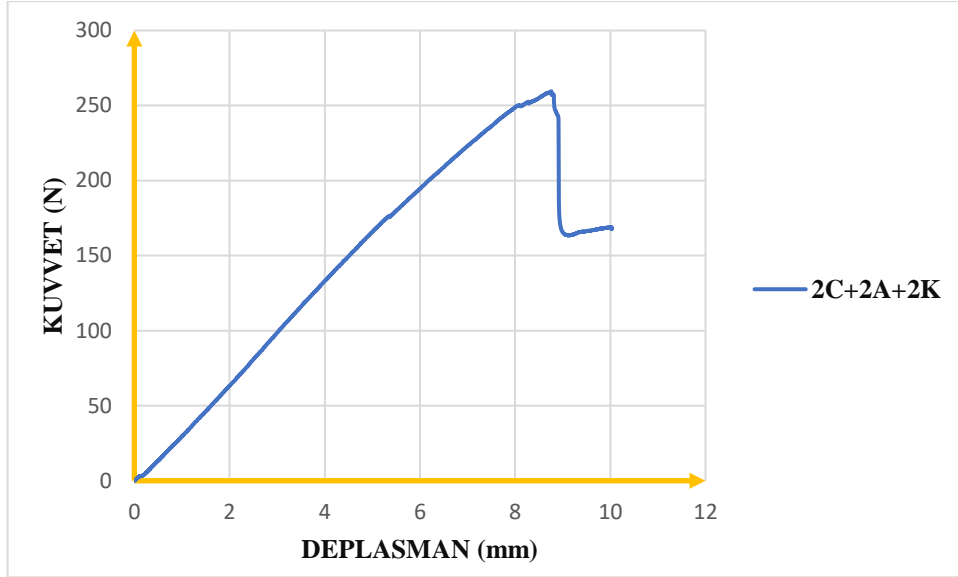


Şekil 4.17. 3A+3K'nın kuvvet-deplasman grafiği.

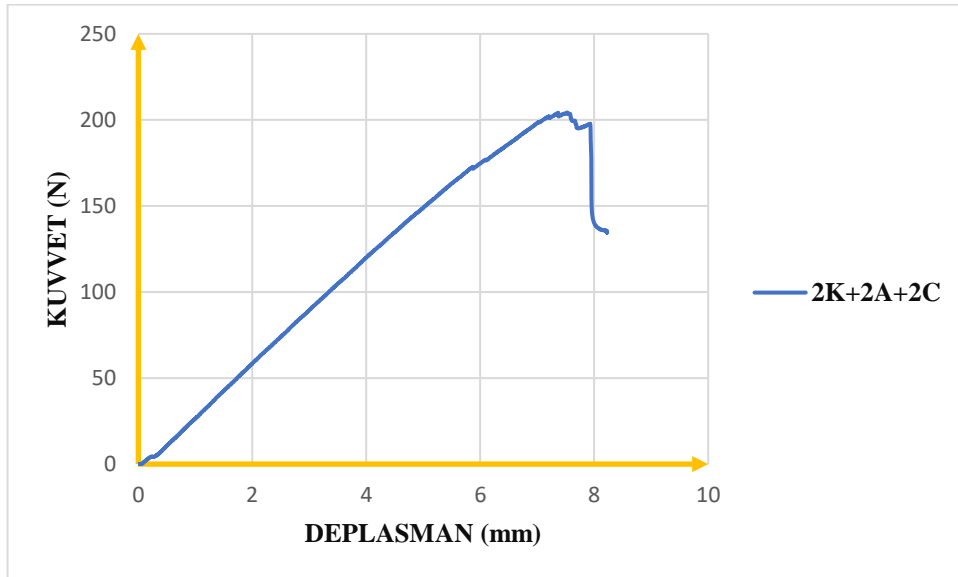


Şekil 4.18. 3K+3A'nın kuvvet-deplasman grafiği.

3A+3K kombinasyonu için yapılan eğme testinde kuvvet maksimum değeri 3A+3K için 167,00 N değerine ulaşmıştır. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise kuvvet maksimum değeri 3K+3A için 102,44 N değerine ulaşmıştır. Deplasman ise 3A+3K için 14,366 mm maksimum olarak gerçekleşmiştir. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise deplasman 3K+3A için 21,529 mm olarak maksimum değerine ulaşmıştır.



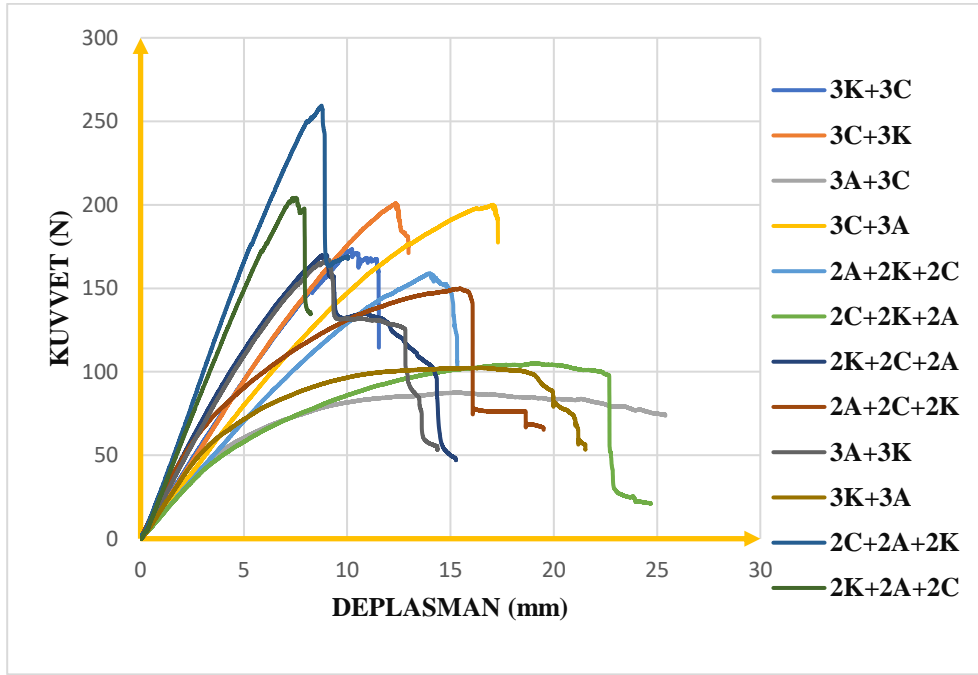
Şekil 4.19. 2C+2A+2K'nin kuvvet-deplasman grafiği.



Şekil 4.20. 2K+2A+2C'nin kuvvet-deplasman grafiği.

2C+2A+2K kombinasyonu için yapılan eğme testinde kuvvet maksimum değeri 2C+2A+2K için 259,41 N değerine ulaşmıştır. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise kuvvet maksimum değeri 2K+2A+2C için 204,25 N değerine ulaşmıştır. Deplasman ise 2C+2A+2K için 10,029 mm maksimum olarak gerçekleşmiştir. Kombinasyon ters çevrildiğinde ise deplasman 2K+2A+2C için 8,224 mm olarak maksimum değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.21’de tüm kombinasyonlara ait eğme deneyi sonucu elde edilen Kuvvet-Deplasman eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.21. Tüm kombinasyonların kuvvet-deplasman grafiği.

Şekil 4.21 incelendiğinde en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olan numune 2C+2A+2K kombinasyonuna aittir. İkinci olarak en yüksek yük taşıma kapasitesi 2K+2A+2C kombinasyonudur. Ancak bu numune diğerlerine göre daha düşük deplasman değerinde kırıldığı için düşük süneklığe sahip olduğu söylenebilir. En düşük yük taşıma kapasitesi 3A+3C numunesinde görülmüştür. Düşük yük taşıma kapasitesine sahip olmasına rağmen çok sünek davranarak yüksek deplasmanlarda hasara uğramıştır. Grafikten açık bir şekilde anlaşılmaktadır ki üç nokta eğme deneyinde kombinasyonlardaki diziliş sırasının yanında kombinasyonların ters çevrilmesi mekanik özellikleri etkilediği görülmüştür.

Eğme deneyi sonucu elde edilen veriler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Eğme deneyi sonuçları

Numune tipi	Maksimum Kuvvet (N)	Ağırlık (gr)	Özgül Kuvvet (N/gr)	Energy (J)	Özgül Enerji (J/gr)
3K + 3C	173.47	4.79	36.22	0.60	0.13
3A + 3C	87.74 (min)	4.53	19.37 (min)	0.38	0.08 (min)
3A + 3K	167.00	4.34	38.48	0.68	0.16
2A + 2K + 2C	158.91	4.58	34.70	0.45	0.10
2K + 2C + 2A	169.79	5.20	32.65	0.71	0.14
2C + 2A + 2K	259.41 (maks.)	5.12	50.67 (maks.)	1.04 (maks.)	0.20 (maks.)
3C + 3K	200.89	4.79	41.94	0.60	0.12
3C + 3A	200.05	4.53	44.16	0.50	0.11
3K + 3A	102.44	4.34	23.60	0.45	0.10
2C + 2K + 2A	105.18	4.58	22.97	0.37 (min)	0.08 (min)
2A + 2C + 2K	149.83	5.20	28.81	0.59	0.11
2K + 2A + 2C	204.25	5.12	39.89	0.91	0.18

Eğme deneyi sonrası numunelere ait görüntüler Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Numunelerin eğme testi sonucu hali.

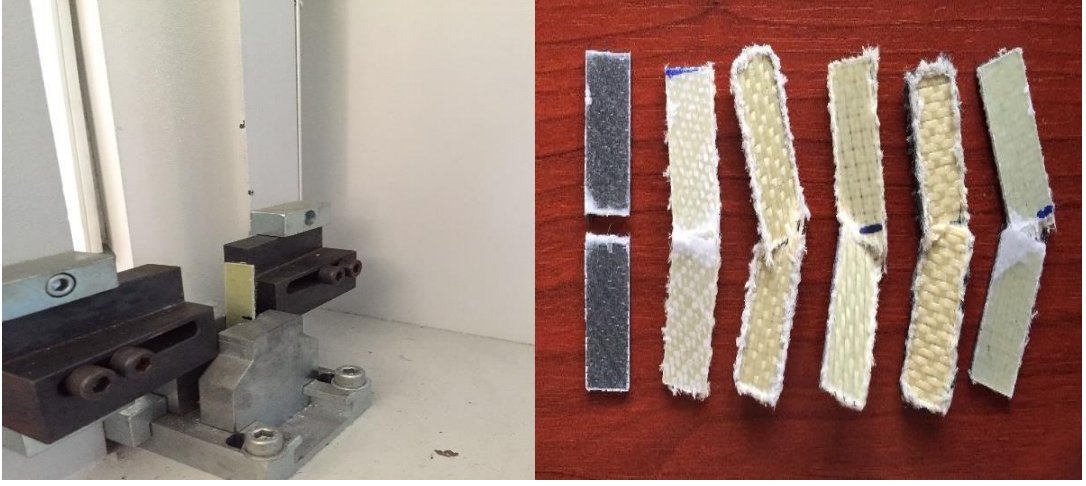
4.3. Darbe Deneyi Sonuçları

Darbe deneyi sonucu elde edilen darbe enerjisi verileri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Darbe deneyi sonuçları.

Nunune tipi	Darbe enerjisi (J)	Hasar tipi
3K + 3C	2,63	Tamamen kopmuş
3A +3C	3,81	Kısmen kopmuş
2A + 2K +2C	2,80	Kısmen kopmuş
2K+ 2C + 2A	4,46	Kısmen kopmuş
3A + 3K	3,53	Kısmen kopmuş
2C + 2A + 2K	4,31	Kısmen kopmuş

Darbe testinden elde edilen verilere göre darbe enerjisi en yüksek olan kombinasyon 2K+2C+2A en düşük darbe enerjisine sahip kombinasyon ise 3K+3C’dir. Üretilen numunelerden darbe enerjisi en yüksek olan grup aramid elyafın olduğu gruplardır. Bunun sebebi aramid elyafın çekme dayanımının ve sünekliliğinin yüksek olmasıdır. Sünekliliği yüksek olan numunelerin darbe enerjisi yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca diziliş sırasında aramid elyafın fazla olduğu kombinasyonlarda darbe enerjisinin yüksek olduğu görülmüştür. Deney sonrası numunelere ait hasar görüntüsü Şekil 4.23’te verilmiştir.



Şekil 4.23. Darbe testinin yapılışı ve numunelerin son hali.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada üretilen hibrit kompozit numunelerin çekme, üç nokta eğme ve darbe deneyleri gerçekleştirilerek mekanik davranışları incelenmiştir. Numunelerin farklı kombinasyonlarda elyaf diziliş sırasının değişmesinin malzemenin özelliklerine etkisinin olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çekme deneyleri sonucunda en yüksek çekme dayanımı 351,47 MPa ile 3K+3C numunesinde elde edilmiştir. En düşük çekme dayanımı 225,47 MPa ile 2K+2C+2A numunesinde elde edilmiştir.
- En yüksek birim şekil değişimi 3A+3C numunesinde görülmüştür. En düşük birim şekil değişimine ise 3A + 3K numunesi sahiptir.
- En yüksek elastisite modülüne sahip kombinasyon 3K+3C numunesidir. En düşük elastiklik modülü ise 3A+3C kombinasyonunda görülmüştür.
- Üç nokta eğme deneyinde diziliş sırasının yanında kombinasyonların ters çevrildiğinde diziliş sırası değiştiğinden eğilme dayanımını da etkilenmiştir.
- Eğme deneyinde en yüksek yük taşıma kapasitesi 259,41 N ile 2C+2A+2K kombinasyonda elde edilmiştir. En düşük yük taşıma kapasitesi ise 87,74 N ile 3A+3C numunesinde görülmüştür.
- Darbe deneylerinde aramid elyafın olduğu gruplarda darbe dayanımı yüksektir. Bunun nedeni aramid elyafın çekme dayanımının ve yüzde uzama değerlerinin yüksek olması düşünülmektedir.
- Darbe testinde de elyafarın diziliş sırası mekanik özellikleri etkilemiştir.
- En yüksek darbe enerjisine sahip kombinasyon 2K+2C+2A ve en düşük darbe enerjisine sahip kombinasyon 3K+3C'dir.
- Özet olarak bu çalışma sonucunda farklı elyaf dizilimlerinin hibrit kompozit malzemelerde çekme, eğme ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerde farklılıklar olduğu görülmüştür.

5.2. Öneriler

- Bu çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan epoksinin üretim yöntemi değiştirilebilir veya farklı matris malzemesinin kullanılması ile hibrit kompozitler elde edilebilir.
- Üretilen hibrit kompozit kombinasyonlarının mekanik işlemleri daha kapsamlı olarak gerçekleştirilerek hibrit kompozitlerin diğer teknolojik özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Göz, S. (2016). Elyaf dizilişinin karma kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi [Yüksek lisans tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi
- [2] Kaymaz, E. G. (2016). Karbon-Bazalt hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerine diziliş sırasının etkisinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi
- [3] Günay İ. Ç. (2022). Karbon / Cam elyaf hibrit kompozit borularda hasar analizi [Yüksek lisans tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi
- [4] Sayer, M., Bektaş, N.B., Sayman, O. (2010). An experimental investigation on the impact behavior of hybrid composite plates. *Elsevier*, 92(5), 1256-1262. <https://doi.org/10.1016/j.compsruct.2009.10.036>
- [5] Dong, C., Davies, I.J. (2018). Effect of stacking sequence on the flexural properties of carbon and glass fibre-reinforced hybrid composites. *Adv Compos Hybrid Mater* 1,530-540. <https://doi.org/10.1007/s42114-018-0034-5>
- [6] Subagia, I.D.G.A., Kim, Y., Tijing, L.D., Kim, C.S., Shon, H.K. (2014). Effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers. *Elsevier*, 58, 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.027>
- [7] Acharya, S.K., Bera, T., Prakash, V., Pradhan S.(2020). Effect of stacking sequence on the tribological behaviour of jute-glass hybrid epoxy composite. *Elsevier*, 28(2), 936-939. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.328>
- [8] Kumar, R., Rani, M., Zafar, S.(2021). Influence of stacking sequence on impact strength / hardness of CF / GF hybrid composites fabricated by VARIMC technique. *Elsevier*, 45(6), 4666-4670. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.114>
- [9] Srivathsan, A., Vijayaram B., Ramesh, R., Gokuldass. (2016). Investigation on mechanical behavior of woven fabric glass/kevlar hybrid composite laminates made of varying fibre inplane orientation and stacking sequence. *Elsevier*, 4(8), 8928-8937. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.244>
- [10] Song, J.H.(2015). Pairing effect and tensile properties of laminated high performance hybrid composites prepared using carbon/glass and carbon/aramid fibers. *Elsevier*, 79, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.015>
- [11] Aktaş, A., Aktaş, M., Turan, F. (2013). The effect of stacking sequence on the impact and post-impact behavior of woman/knit fabric glass/epoxy hybrid composites. *Elsevier*, 103, 119-135. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.02.004>

- [12] Wang, A., Wang, X., Xian, G. (2021). The influence of stacking sequence on the low-velocity impact response and damping behavior of carbon and flax fabric reinforced hybrid composites. *Elsevier*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107384>
- [13] Nagaraja, K.C., Rajanna, S., Prakash, G.S., Rajeshkumar, G. (2019). The role of stacking order on mechanical properties of glass/carbon reinforced epoxy hybrid composites prepared by resin infusion technique. *Elsevier*, 22(4), 2446-2451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.371>
- [14] Sarasini, F., Tirillo, J., Altília, S., Valente, T., Santulli, C., Touchard, F., Arnault, L.C., Mellier, D., Lampani, L., Gaudenzi, P. (2016). Damage tolerance of carbon/flax hybrid composites subjected to low velocity impact. *Elsevier*, 91, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.01.050>
- [15] Das, S.C., Paul, D., Grammatikos, S.A., Siddiquee, A.B., Papatzani, S., Koralli, P., Islam, J.M.M., Khan, M.A., Shauddin, S.M., Khan, R.A., Vidakis, N., Petousis, M. (2021). Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates. *Elsevier*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114525>
- [16] Santhanam, V., Dhanaraj, R., Chandrasekaran, M., Venkateshwaran, N., Baskar, S. (2020). Experimental investigation on the mechanical properties of woven hybrid fiber reinforced epoxy composite. *Elsevier*, 37(2), 1850-1853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.444>
- [17] Gemi, L. (2018). Investigation of the effect of stacking sequence on low velocity impact response and damage formation in hybrid composite pipes under internal pressure. A comparative study. *Elsevier*, 153, 217-232. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.056>
- [18] Thiagamani, S.M.K., Krishnasamy, S., Muthukumar, C., Tengsuthiwat, J., Nagarajan, R., Siengchin, S., Ismail, S.O. (2019). Investigation into mechanical, absorption and swelling behaviour of hemp/sisal fibre reinforced bioepoxy hybrid composites: Effects of stacking sequences. *Elsevier*, 140, 637-646. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.166>
- [19] Sreenivas, H.T., Krishnamurthy, N., Murali, M.S., Arpitha, G.R. (2021). Influence of stacking sequence and orientation of the fabric on mechanical properties of twill kenaf/kevlar reinforced unsaturated polyester hybrid composites. *Journal of Industrial Textiles*, 51(8), 1330-1351. <https://doi.org/10.1177/152808372111019901>
- [20] Raajeshkrishna, C.R., Chandramohan, P., Saravanan, D. (2018). Effect of surface treatment and stacking sequence on mechanical properties of basalt/glass epoxy composites. *Polymers and Polymer Composites*, 27(4), 201-214. <https://doi.org/10.1177/0967391118822273>
- [21] Salman, S.D. (2020). The influence of kenaf contents and stacking sequence on drop-weight impact properties of hybrid laminated composites reinforced polyvinyl butyral composites. *Journal of Industrial Textiles*, 51(5), 8645-8667. <https://doi.org/10.1177/1528083720937388>
- [22] Akyüz, B.H. (2012). Dönen ve sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit bir diskteki ısıl gerilmelerin analizi [Yüksek lisans tezi]. Aksaray Üniversitesi

- [23] Asi, D. (2018). Polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave olarak kullanılan parçacıkların geometrisinin kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisinin araştırılması [Doktora tezi]. Uşak Üniversitesi
- [24] Yanen, C. (2016). Tabakalı hibrit kompozitlerin bireysel zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması [Yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi
- [25] Bayraktar, Ö. (2016). Ön gerilimli karbon elyaf takviyeli kompozit üretimi için sistem tasarımı , imalatı ve kompozit malzeme üretimi [Yüksek lisans tezi].Gazi Üniversitesi
- [26] Bulut, M. (2014). Türkiyede kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi
- [27] Onat, Doç. Dr. Adem ve Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya 2015.
- [28] Kurt, H. (2010). Alüminyum-Alümina kompozit malzeme üretiminde karıştırma tekniğinin kompozitin aşınma davranışı üzerine etkilerinin araştırılması [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi
- [29] İnce, E. (2014). Amfibi zırhlı araçlar için kompozit-alüminyum denge plakası tasarımı, sonlu elemanlar analizi ve üretimi [Yüksek lisans tezi]. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
- [30] Yalçın, E.B. (2012). Farklı kumaş ve farklı yöntemlerle üretilmiş CTP kompozitlerin balistik davranışlarının incelenmesi [Doktora tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi
- [31] Yıldız, D. (2021). Çekirdek malzemeli polimer matrisli elyaf takviyeli kompozitlerde boron nano malzemelerin arayüz özelliklerine etkisinin mekanik testlerle incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- [32] Mayda, İ. (2020). Polimer matrisli granit kompozit malzemenin takım tezgahlarında kullanılması [Yüksek lisans tezi]. Celal Bayar Üniversitesi
- [33] Deniz, M.E. (2005). Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve ısıl işleme presleme tekniğini kullanarak kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarım ve imalatı [Yüksek lisans tezi]. Harran Üniversitesi
- [34] Öğrenci, H.D. (2012). Mekanik olarak bağlanmış kompozitlerin dayanımı [Yüksek lisans tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi
- [35] Çolak, M. (2019). Nano kompozit ve hibrit kompozitlerin üretim ve deneyleri sırasında insan sağlığını etkileyen riskler ile alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin araştırılması [Yüksek lisans tezi]. Gaziantep Üniversitesi
- [36] Topuz, S. (2021). Farklı takviye malzemelerinin polyester esaslı kompozit üretiminde değerlendirilmesi ve karakterizasyonu [Yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi

- [37] Okta, C. (2021). Polimer matris esaslı kompozit üretiminde kullanılan farklı karbon fiber yapıların mekanik dayanımına etkisinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Pamukkale Üniversitesi
- [38] Daban, Y. (2016). Kompozit plakalarda farklı tabaka sayısı, farklı yapı ve istifleme sırasına bağlı optimum mekanik özelliklerin belirlenmesi [Yüksek lisans tezi]. Balıkesir Üniversitesi
- [39] Sarıkaya, E. (2019). Doğal fiber takviyeli kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin tespiti [Doktora tezi]. Pamukkale Üniversitesi
- [40] Yıldız, R. (2019). Karbon prepreg, cam prepreg ve bazalt elyaf ile üretilmiş hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Marmara Üniversitesi
- [41] Mağdala, M.Ö. (2009). Isı kalkanları için kalıplanabilir karbon fenolik kompozit üretimi ve karakterizasyonu [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- [42] Yıldızhan, H. (2008). Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi].Süleyman Demirel Üniversitesi
- [43] Ersoy, M.S. (2005). Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı[Yüksek lisans tezi]. Sütçü İmam Üniversitesi

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fatih Emir DANYILDIZ

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans : 2020, Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

Yüksek lisans : Devam ediyor, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Tasarım ve İmalat