



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

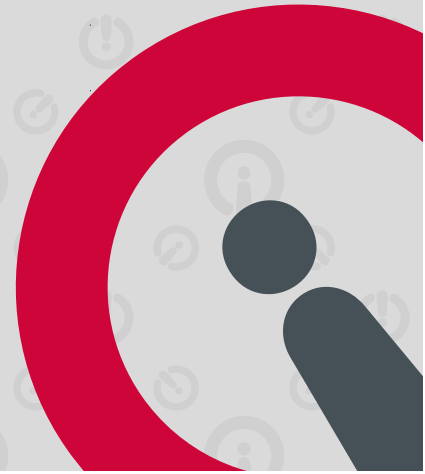
**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**KARBON/PAMUK KUMAŞ
TAKVİYELİ HİBRİT
BİYOKOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Sevda YILMAZ

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MAYIS 2022





**KARBON/PAMUK KUMAŞ TAKVİYELİ HİBRİT
BİYOKOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Sevda YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2022

Sevda YILMAZ tarafından hazırlanan “KARBON/PAMUK KUMAŞ TAKVİYELİ HİBRİT BİYOKOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Müh. Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Başkan: Doç. Dr. Memduh KARA

Makine Müh. Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Doç. Dr. Erdoğan KANCA

Makine Müh. Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 24/05/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sevda YILMAZ

24/05/2022

KARBON/PAMUK KUMAŞ TAKVİYELİ HİBRİT BİYOKOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Sevda YILMAZ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2022

ÖZET

Günümüzde artan çevresel sorunlar nedeniyle sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm gibi kavramlar ön plana çıkmaktadır. Malzeme bilimlerinde yaşanan gelişmelerle birlikte kompozit malzemelerde doğal elyafların çevreye duyarlı, hafif, biyolojik olarak parçanabilirlik ve potansiyel olarak alternatif kaynaklar olması gibi birçok özelliğe sahip olmaları takviye malzemesi olarak kullanılmalılarını cazip kılmıştır. Çevresel sorunlara bir miktar çözüm oluşturmak, hem maliyeti azaltmak hem de yüksek performanslı malzemeler elde etmek amacıyla doğal elyaf takviyeli malzemelerin farklı elyaflarla hibritleşerek kullanılmalılarını cazip hale gelmiş ve bu konuda araştırma- geliştirme çalışmaları artmıştır.

Bu tez çalışmasında karbon elyafın yüksek mukavemeti ile pamuk elyafın hafifliği dikkate alınarak karbon kumaş/ pamuk kumaş aynı yapı içerisinde kullanılarak hibrit biyokompozit malzemeler üretilmiştir. Üretim esnasında herhangi bir ıslanma problemi olmaması için önce elle yatırma yöntemi ile kumaşlar ıslatılmış daha sonra vakum torbalama yöntemi ile fazla epoksi dışarı tahliye edilmiştir. Karbon kumaş, pamuk kumaş ve 4 farklı dizilime sahip (karbon kumaş+pamuk kumaş) hibrit biyokompozit olmak üzere 6 farklı malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla üretilen plakalardan, ASTM standartlarına göre çekme testi, çentik darbe (Charpy) testi ve düşük hızlı darbe testi için uygun numuneler kesilmiştir ve testlere tabii tutulmuşlardır. Testlerin sonucunda; çekme gerilmeleri, darbe dayanımları tespit edilmiş, düşük hızlı darbe için enerji dönüşüm grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca çekme testi sonucunda numunelerin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Bunların sonucunda yeni üretilen hibrit kompozit malzemelerin saf karbon kumaş ve saf pamuk kumaş referans numunelerine göre özellikleri kıyaslanmıştır. Mekanik testlerden elde edilen sonuçlara göre, saf pamuk elyafa takviye edilen karbon elyafın rijitlik ve darbe dayanım özellikleri sayesinde, hibrit biyokompozit numunelerinin darbe dayanımları artmıştır. Takviye edilen pamuk kat oranının artmasıyla da malzemelerin daha rijit davrandığı ve gelen darbeye karşı daha yüksek tepki kuvveti gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca çekme testi sonrasında numunelerde elyaf kopması, elyaf sıyırılması (fiber pull out), delaminasyon ve fiber- matris ayrılması (debonding) hasar mekanizmaları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Karbon, pamuk, hibrit, biyokompozit

Sayfa Adedi : 65

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON/COTTON FABRIC
REINFORCED HYBRID BIOCOMPOSITES
(M. Sc. Thesis)

Sevda YILMAZ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

MAY 2022

ABSTRACT

Today, concepts such as sustainability and recycling come to the fore due to increasing environmental problems. With the developments in material sciences, natural fibers in composite materials have many properties such as being environmentally friendly, light, biodegradable and potentially alternative sources, making them attractive to be used as reinforcement materials. In order to create some solution to environmental problems, to reduce costs and to obtain high-performance materials, it has become attractive to use natural fiber reinforced materials by hybridizing with different fibers, and research and development studies on this subject have increased.

In this thesis, hybrid biocomposite materials were produced by using carbon fabric/cotton fabric in the same structure, taking into account the high strength of carbon fiber and the lightness of cotton fiber. In order to avoid any wetting problem during production, the fabrics were wetted by hand laying method and then the excess epoxy was evacuated by vacuum bagging method. 6 different materials were produced, namely carbon fabric, cotton fabric and four hybrid (carbon fabric + cotton fabric) biocomposite with different layup sequence. In order to determine the mechanical properties of these materials, the specimens for tensile test, Charpy test and low speed impact test were cut from the plates according to ASTM standards and then the tests were performed. As a result of the tests; tensile stresses, impact strengths were determined, and energy conversion graphs were created for low-speed impact. In addition, the fracture surfaces of the tensile test specimens were examined by scanning electron microscopy (SEM). As a result, the properties of newly produced hybrid composite materials were compared with reference samples of pure carbon fabric and pure cotton fabric composites. According to the results obtained from the mechanical tests, the impact strength of the hybrid biocomposite samples increased due to the rigidity and impact resistance properties of carbon fiber reinforced with pure cotton fiber. It was determined that the materials behaved more rigidly and showed a higher reaction force against the incoming impact with the increase of the reinforced cotton layer ratio. In addition, fiber pull out, delamination and debonding damage mechanisms were observed in the samples after the tensile test.

Key Words : Carbon, cotton, hybrid, biocomposite

Page Number : 65

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca sonsuz desteği, sabrı ve özverisiyle bana destek olan, yoğun akademik çalışmalarına rağmen her fırsatta zaman ve ilgisini esirgemeyen, yol gösteren, tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Ahmet YAPICI' ya en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen Konya Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN ve Arş. Gör. Taner COŞKUN' a teşekkür ederim. Ayrıca malzeme üretim çalışmaları sırasında destek ve yardımlarından dolayı Hacı GÖDE'ye teşekkür ederim.

Norma Kumaş İplik Tekstil Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ. ortaklarından Sayın Tuncay Yılmaz'a tez çalışmamın ana malzemelerinden olan pamuk kumaşın temin edilmesinde yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

En önemlisi, hayatımın her aşamasında yanımda olan, haklarını hiçbir şekilde ödeyemeyeceğim, inanılmaz anlayış ve destekleri için kıymetli babam Mehmet Tevfik YILMAZ'a, biricik annem Neriman YILMAZ'a, canım ablalarım Sevil-Sevim YILMAZ'a ve canım kardeşlerim Murat-Melek YILMAZ'a sonsuz minnettarlığımı sunarak, bu çalışmanın onurunun ve bana ait her türlü hakkının kendilerine de ait olduğunu söylemek istiyorum.

Bu çalışmanın ülkemize yararlı olmasını temenni ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Doğal Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler ile İlgili Yapılan Çalışmalar	3
2.2. Sentetik Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler ile İlgili Yapılan Çalışmalar...	8
2.3. Hibrit Kompozit Malzemeler ile İlgili Yapılan Çalışmalar	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Karbon Elyaf	20
3.1.2. Pamuk Elyaf	21
3.1.3. Epoksi Reçine.....	22
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Kompozit Malzemelerin Üretimi	23
3.2.2. Çekme Testi	27
3.2.3. Çentik Darbe (Charpy) Testi	28
3.2.4. Düşük Hızlı Darbe Testi.....	30
3.2.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	31

	Sayfa
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	32
4.1. Çekme Testi Sonuçları	32
4.2. SEM Analizi Sonuçları	34
4.3. Çentik Darbe (Charpy) Testi Sonuçları.....	36
4.4. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonuçları	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	57



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1.Üretilen malzeme grupları.....	25



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tabaka dizilimlerinin şematik görünümü (a) 12K (b) 12P (c) 3K6P3K (d) 2K2PZ (e) 3K12P3K (f) 3K24P3K.....	26
Şekil 4.1. Gerilme- şekil değiştirme grafiği.....	33
Şekil 4.2. Çekme testi sonuçları- çekme gerilmesi.....	34
Şekil 4.3. Çentik darbe (Charpy) testi sonuçları- darbe dayanımı.....	38
Şekil 4.4. Kuvvet- zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için.....	40
Şekil 4.5. En büyük temas kuvveti sonuçları 2 m/s çarpma hızı için	41
Şekil 4.6. Kuvvet-zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için.....	42
Şekil 4.7. En büyük temas kuvveti sonuçları 3 m/s çarpma hızı için	42
Şekil 4.8. Hız- zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için.....	43
Şekil 4.9. Hız- zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için.....	44
Şekil 4.10. Kuvvet- yer değiştirme grafiği 2 m/s çarpma hızı için	45
Şekil 4.11. Kuvvet- yer değiştirme grafiği 3 m/s çarpma hızı için	46
Şekil 4.12. Yer değiştirme-zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için	47
Şekil 4.13. En büyük yer değiştirme sonuçları 2 m/s çarpma hızı için.....	47
Şekil 4.14. Yer değiştirme-zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için	48
Şekil 4.15. En büyük yer değiştirme sonuçları 3 m/s çarpma hızı için.....	49
Şekil 4.16. Kuvvet- enerji grafiği 2 m/s çarpma hızı için.....	50
Şekil 4.17. Kuvvet- enerji grafiği 3 m/s çarpma hızı için.....	50
Şekil 4.18. Enerji- zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için.....	51
Şekil 4.19. Enerji- zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için.....	52
Şekil 4.20. Absorbe edilen enerji grafiği 2 m/s çarpma hızı için.....	53
Şekil 4.21. Absorbe edilen enerji grafiği 3 m/s çarpma hızı için.....	53

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Dokuma karbon elyaf kumaş	21
Resim 3.2. Pamuk elyaf kumaş.....	21
Resim 3.3. Epoksi matrisi (a) Reçine (b) Sertleştirici	22
Resim 3.4. Kompozit üretiminde kullanılan malzemeler (a) infüzyon filesi, (b) karbon elyaf kumaş, (c) pamuk elyaf kumaş, (d) soyma kumaşı, (e) vakum torbası, (f) vakum battaniyesi.....	24
Resim 3.5. Üretimden görüntüler.....	25
Resim 3.6. ASTM standartlarına göre kesilmiş numuneler.....	27
Resim 3.7. Çekme testinden görüntüler	28
Resim 3.8. Çentik açılmış numune örneği	29
Resim 3.9. Çentik darbe (Charpy) testinden görüntüler	29
Resim 3.10. Düşük hızlı darbe testinden görüntüler.....	30
Resim 4.1. Çekme testi sonunda kopmuş numuneler (a) 12P (b) 3K24P3K (c) 3K24P3K yandan görünümü	32
Resim 4.2. 2K2PZ numunesinin a) 70 X b) 250X ve c) 500 X büyütmede SEM görüntüleri.....	35
Resim 4.3. Çentik darbe (Charpy) testi sonunda çentik noktalarından kırılan numuneler (a) 12P (b) 3K24P3K	37
Resim 4.4. Düşük hızlı darbe testinde kuvvet etkisi altında kalan numuneler (a) 12P önden görünüm (b) 12P arkadan görünüm (c) 12P yandan görünüm (d) 3K24P3K önden görünüm (e) 3K24P3K arkadan görünüm ..	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
mm	Milimetre
cm²	Santimetrekaire
cm³	Santimetreküp
m²	Metrekare
kJ	Kilojoule
N	Newton
g	Gram
°C	Santigrat derece
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
mmHg	Milimetre civa
%	Yüzde
NaOH	Sodyum hidroksit
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte geleneksel malzemelere kıyasla, yüksek performanslı malzemelere yönelik ihtiyaç artmaktadır. Gelişmiş malzeme ihtiyacını karşılamak amacıyla ideal malzemeler olarak nitelendirilen kompozit malzemeler, son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. Malzemelerin sahip oldukları üstün özelliklerin bir araya getirilmesi amacıyla oluşturulan kompozit malzemeler sağladıkları avantaj ve çeşitlilikleri sebebiyle malzeme alanında önemli bir yere sahiptirler [1].

Kompozit malzemelerin ana yapısı matris malzeme ve takviye malzeme olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır, istenen fiziksel ve mekanik özellikler doğrultusunda bu bileşenlerin seçimi oldukça önemlidir. Malzemeye uygulanan kuvvet, matris yapıdan arayüzey bağı ile takviye elemanlarına taşınır ve takviye elemanları kuvveti paylaşarak karşı koyar. Bu sebeple matris ve takviye elemanlarının arayüzey bağı güçlü olmalıdır. Arayüzey bağının güçlü olması seçilen matris ve takviye malzemelerinin uyumuna bağlıdır [2-3]. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak daha çok; üstün özellikleri sebebiyle karbon, kevlar, aramid, cam gibi yüksek performanslı elyaflar tercih edilmektedir [4-5]. Son yıllarda takviye malzemesi olarak doğal liflerin kullanımına yönelik çalışmalar artmaktadır [6-7]. Doğal liflerin çevreye duyarlı, hafif, ucuz, kolay elde edilebilir ve potansiyel olarak sürdürülebilir alternatif kaynaklar olması çalışmaların artmasının en önemli sebepleridir. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak doğal lifler (pamuk, sisal, keten, kabak, jüt, kenevir) kullanılıyorsa oluşturulan bu yeni malzeme biyokompozit adını alır [8-9].

Kompozit malzemelerin, hafiflik, yüksek elastik modül, yüksek özgül mukavemet, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon dayanımı gibi avantajlarından dolayı havacılık, ulaşım, savunma sanayii, uzay teknolojisi, sağlık, spor, inşaat vb. birçok alanda kullanılmaktadır [10]. Buna bağlı olarak kompozitlerin genel verimliliklerini arttırmak amacıyla daha yüksek mukavemetli, daha hafif, düşük radar izi bırakan ve nanokompozit gibi konularda birçok araştırma yapılmaktadır [11-12].

Kompozit malzeme alanında yaşanan olumlu gelişmelere rağmen istenilen bütün özelliklerin tek bir yapı içerisinde bulunması oldukça zordur. Bu nedenle farklı özelliklere sahip takviye elemanlarının aynı yapı içerisinde kullanımı ihtiyaç haline gelmiştir. Kompozit malzemelerin

işlevlerini genişletmek, daha gelişmiş ve daha üstün özellikler elde etmek amacıyla farklı elyaf türlerinin aynı yapı içerisinde farklı diziliş sıralamaları ve tabaka sayıları ile kullanılmasıyla hibrit kompozit malzemeler elde edilmektedir. Hibrit kompozit malzemeler, kompozit malzemelerin zayıf yönlerinin iyileştirilmesi ve tasarım özgünlüğü gibi nedenlerden dolayı kullanımları oldukça yaygınlaşmaktadır [13]. Çevresel sorunlara bir miktar çözüm oluşturmak, hem maliyeti azaltmak hem de yüksek performanslı malzemeler elde etmek amacıyla doğal lif takviyeli malzemelerin farklı elyaflarla hibritleşerek kullanılmaları cazip hale gelmiş ve bu konuda araştırma- geliştirme çalışmaları artmıştır [14-15].

Bu çalışmada karbon elyafın yüksek mukavemeti ile pamuk elyafın hafifliği dikkate alınarak karbon kumaş/ pamuk kumaş aynı yapı içerisinde kullanılarak hibrit biyokompozit malzemeler üretilmiştir. Karbon kumaş, pamuk kumaş ve farklı dizimlere sahip 4 hibrit (karbon kumaş+pamuk kumaş) biyokompozit olmak üzere 6 farklı malzeme üretimi elle yatırma ve vakum torbalama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla üretilen plakalardan, ASTM standartlarına göre çekme testi, çentik darbe (Charpy) testi ve düşük hızlı darbe testi için uygun numuneler kesilmiştir ve testlere tabii tutulmuşlardır. Testlerin sonucunda; çekme gerilmeleri, darbe dayanımları tespit edilmiş, düşük hızlı darbe için enerji dönüşüm grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca çekme testi sonucunda numunelerin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Bunların sonucunda yeni üretilen hibrit kompozit malzemelerin saf karbon kumaş ve saf pamuk kumaş referans numunelerine göre özellikleri kıyaslanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan sentetik elyafların (cam, karbon, aramid, kevlar gibi) yerine son yıllarda doğal elyafların (pamuk, jüt, keten, kabak, kenevir, sisal gibi) yenilenebilir, hafif, düşük maliyetli ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi birçok özelliğinden dolayı kullanımına yönelik çalışmalar artmaktadır. Fakat doğal elyafların sentetik elyaflara kıyasla daha düşük mekanik özelliklere sahip olmaları kullanım alanlarını sınırlandırmıştır. Bu nedenle doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlevlerini genişletmek ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla sentetik elyaflar ile bir arada kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Literatürde farklı elyaf türlerinin aynı yapı içerisinde farklı diziliş sıralamaları ve tabaka sayıları ile kullanılmasının ve takviye-matris bileşenlerine farklı kimyasal işlemlerin uygulanmasının mekanik özellikler üzerindeki etkisi ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur [16-18], fakat pamuk elyaf ve karbon elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesiyle ilgili literatür de çok az çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında pamuk elyaf ve karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin saf referans numunelere kıyasla mekanik özellikleri incelenmiş ve oluşturulan yeni kompozit malzemenin daha çok darbeye maruz kalınan yerlerde ve darbe absorpsiyonu yüksek uygulamalarda (araç tamponu gibi) kullanımını amaçlanmıştır.

2.1. Doğal Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Ratna Prasad ve Mohana Rao (2011), doğal elyaf olan sargum (jowar) lifini polyester reçine ile destekleyerek kompozit malzemeler üretmiş, çekme ve eğilme testlerini uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçları aynı şartlarda üretilen sisal ve bambu elyaf takviyeli kompozitler ile karşılaştırmışlardır. Sargum (jowar) lifinin çekme mukavemetinin 302 MPa, elastisite modülünün 6,99 GPa olduğunu, çekme mukavemetinin bambu kompozitlerle hemen hemen aynı olduğunu ve sisal kompozitlerden 1,89 kat daha yüksek olduğunu ve eğilme mukavemetinin bambu kompozitlerden %4, sisal kompozitlerden %35 oranında daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Sargum (jowar) lifinin polyester matris takviyesiyle daha hafif uygulamalar için rijitlik ve mukavemet gerektiren yerlerde bambu ve sisal liflerinin yerine kullanılıp, geliştirilebilir olduğunu belirtmişlerdir [19].

Sabinesh, Thomas Renald ve Sathish (2014), pamuk lifi takviyeli izofoalik polyster kompozit malzemeler üretmiş, çekme ve eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Farklı oranlarda pamuk lifi takviye edilen bu malzemelerin üretimini elle yatırma yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre maksimum mekanik özelliklerin pamuk lif oranının %25 hacminde olduğu kompozit malzemelerde gösterdiğini bildirmişlerdir [20].

Alomayri, Shaikh ve Low (2014), pamuklu kumaş takviye edilen uçucu kül bazlı jeopolimer kompozitlerin mekanik, termal ve kırılma davranışlarını incelemişlerdir. Uçucu kül bazlı jeopolimerin uygulanan yüksek sıcaklıklarda pamuklu kumaşın bozulmasını önleyebileceğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca takviye edilen pamuk kumaşın, uygulanan yüke yatay ve dikey olarak etkisi, basınç mukavemeti, sertliği ve kırılma tokluğuna etkisini de incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre pamuk kumaşın uygulanan yüke göre yatay konumda olmasının dikey olarak yönlendirilmesine kıyasla daha fazla yük ve deformasyona karşı daha fazla direnç gösterdiğini bildirmişlerdir [21].

Ismail ve Che Abdul Aziz (2015), dokuma kenaf elyaf takviyeli kompozit malzemeler üretmiş ve çekme sonuçlarını incelemişlerdir. Fiberlerin oryantasyonunun (0^0 , 15^0 , 30^0 ve 45^0) ve katman sayılarının etkilerini kıyaslamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara, göre fiber oryantasyonlarının oldukça önemli bir rol oynadığını, artan oryantasyon derecesiyle çekme mukavemetinde %27,7- %30,9 aralığında bir azalma görüldüğünü ve katman değişiminin çok önemli bir mukavemet artışı sağlamadığını bildirmişlerdir [22].

Bisaria, Gupta, Shandilya ve Srivastava (2015), doğal liflerin çevre dostu, yenilenebilir, hafif, düşük maliyetli ve mekanik performanslarının avantajlarından bahsetmişlerdir. Elle yatırma yöntemi kullanarak rastgele yönlendirilmiş, farklı uzunluklarda (5, 10, 15 ve 20 mm'lik) jüt elyaf takviyeli epoksi kompozitler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, 15 mm uzunluğundaki jüt elyaf takviyeli kompozitlerin maksimum çekme ve eğilme değerleri gösterdiğini ve 20 mm uzunluğundaki jüt elyaf takviyeli kompozitlerin de maksimum darbe değerini gösterdiğini bildirmişlerdir [23].

Ghazilan Ahmad, Mokhtar, Shair Dawood, Aminanda ve Mohamed Ali (2017), doğal, kısa, işlenmemiş ve rastgele yönlendirilmiş yağ palmyesi boş meyve demetinden oluşan elyaf takviyeli kompozit malzemeler üretmiş ve saf epoksi malzemelere göre çekme özelliklerini

karşılaştırmışlardır. %20 elyaf hacim bileşiminden oluşan doğal kompozit malzemeleri vakum torbalama yöntemi ile üretmişlerdir. ASTM D638 standartlarına uygun olarak yapılan çekme testi sonuçlarına göre, yağ palmyesi boş meyve demeti elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin saf epoksi malzemelere göre elastisite modülü için %38 ve çekme mukavemeti için %61 daha düşük performans gösterdiğini bildirmişlerdir [24].

Mohan ve Rajmohan (2017), doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerde elyaf diziliminin mekanik özelliklere etkilerinden bahsetmiş ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKNT) katkılı muz (B), jüt (J) ve keten (F) lifi takviyeli hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. Epoksi reçineye farklı ağırlık yüzdelerinde ilave edilen ÇDKNT ile sıkıştırma kalıplama yöntemi kullanılarak hibrit kompozitleri üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Epoksi reçineye ilave edilen ÇDKNT ve elyaf dizilim şeklinin mekanik özellikler üzerinde büyük bir etki gösterdiğini, JBFBFBFJ sıralamasıyla üretilen hibrit kompozitin FBJBJBFJ şeklinde üretilen hibrit kompozite kıyasla çekme, basma ve sertlik özelliklerinde artış görüldüğünü ve ilave edilen ÇDKNT'nin ağırlık yüzdesinin arttırılmasıyla mekanik özelliklerde iyileşme sağladıklarını bildirmişlerdir [25].

Sathishkumar, Naveen, Navaneethakrishnan, Satheeshkumar ve Rajini (2017), sisal/ pamuk kumaş takviyeli polyester hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve değişen fiber oranı ile katman içeriğinin mekanik özelliklere etkisini ve serbest titreşim etkisini analiz etmişlerdir. Hibrit kompozitlerin üretimini elle yatırma yönteminin ardından sıkıştırma kalıplama işlemi uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Kompozit yapı içerisinde kullanılan katman artışının mekanik ve sönümlenme özelliklerini arttırdığını belirlemişlerdir. %40 lif hacim oranı ile maksimum mekanik özelliklerin elde edildiğini ve maksimum doğal frekansın %40 fiber bulunan malzeme olduğu bildirmişlerdir [26].

Tafur, Mora ve Baracaldo (2018), vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi ve elle yatırma yöntemi ile pamuk/epoksi kompozit malzemeler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Takviye malzemesi olarak kullandıkları dokuma pamukları bir saat boyunca %0 ve %20'lik konsantrasyonlarda sodyum hidroksit ile işlemişlerdir. Çekme testi sonuçlarına göre işlenmemiş kompozit malzemelerin en yüksek mukavemet değeri ve Young modülüne sahip olduğunu, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile kırılma yüzeylerinin incelenmesi sonucuna göre de süreksizliklerdeki azalma nedeniyle vakum destekli reçine transfer kalıplama

yönteminin elle yatırma yönteminden daha iyi mekanik özellikler gösterdiğini bildirmişlerdir [27].

Rohen ve diğerleri (2018), %30'a kadar farklı oranlarda kenevir lifi içeren polyester/kenevir ve epoksi/kenevir kompozit malzemeler üretmiş ve çekme davranışlarını incelemişlerdir. %30 elyaf takviyeli epoksi matris kompozitlerin çekme mukavemetinin 53 MPa, polyester matrisli kompozit malzemelerin ise 25 MPa olduğunu, epoksi matrisli kompozit malzemelerin elastik modülünün 1,75 GPa olduğunu ve polyester matris kompozitlerin ise 4,05 GPa olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca polyester/kenevir takviyeli kompozit malzemelerin sertliğinin epoksi/kenevir takviyeli kompozit malzemelerden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir [28].

Chaudhary, Bajpai ve Maheshwari (2018), doğal lif olan jüt, kenevir ve keten liflerini kullanarak jüt/epoksi, keten/epoksi, kenevir/epoksi, jüt/kenevir/epoksi, kenevir/keten/epoksi ve jüt/kenevir/keten/epoksi olmak üzere 6 farklı doğal elyaf takviyeli kompozit malzeme üretmişlerdir. Elle yatırma yöntemi kullanarak üretmiş oldukları bu kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, jüt/epoksi, keten/epoksi ve kenevir/epoksi malzemelerinin içerisinde keten/epoksi kompozitinin daha yüksek sertlik ve çekme mukavemeti gösterdiğini, kenevir/epoksi kompozitinin daha iyi eğilme ve darbe mukavemetini gösterdiğini, ancak hibrit kompozit olarak üretilen jüt/kenevir/keten/epoksi malzemesinin en yüksek çekme mukavemetini (58,59 MPa), elastisite modülünü (1,88 GPa) ve darbe mukavemetini (10,19 kJ/m²) gösterdiğini bildirmişlerdir [29].

Kocamış (2019), hibrit liflerin ve matris malzemesi olan nonwoven kumaşların farklı üretim metotları ile üretilmesinin doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Takviye malzemesi olarak jüt ve keten kullanılırken, matris malzeme olarak polietilen (PE) film ve polipropilen (PP) nonwoven kumaşları seçmiştir. Polipropilen nonwoven kumaşların üretim yöntemi olarak meltblown ve spunbond seçilmiş ve farklı yoğunluk seviyelerinde nonwoven kumaşlar kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Standartlara uygun olarak üretilen hibrit kompozitlere çekme, eğilme, darbe testleri uygulanmış ve kırılma yüzeylerini incelemek için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre, üretilen kompozitlerin saf yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ile karşılaştırıldığında dayanımının arttığını, fakat üretilen kompozitlerin kendi içerisinde

karşılaştırıldığında Spunbond yöntemi ile üretilen nonwoven hibrit kompozitlerin Meltblown ile üretilenlerden daha mukavemetli olduğunu bildirmiştir [30].

Hamdan ve diğerleri (2019), jüt (J) ve roselle (S) elyaf takviyeli doymamış polyester hibrit kompozitler üretmiş ve titreşim davranışlarını incelemişlerdir. Elle yatırma yöntemiyle üretilen bu hibrit kompozitleri JJ, JS, SJ, SS, JJJ, SSS, SSJ, SJS, JSS, SJJ, JJS ve JSJ olmak üzere 12 farklı içerik ve dizilimde üretmişlerdir. Sonlu elemanlar analiz programı olan ANSYS ile deneysel ve sayısal analizler yapmış ve doğal frekans ile sönümlenme özelliklerini karşılaştırmışlardır. Hibrit kompozitlerin değişen içerik ve katman dizilimlerinin doğal frekans ve sönüm oranı üzerinde önemli bir etki gösterdiğini bildirmişlerdir [31].

Gunge, Koppad, Nagamadhu, Kivade ve Murthy (2019), muz kumaşı kullanarak güçlendirilmiş polivinil alkol kompozitler üzerine çalışmışlardır. Farklı % NaOH ile alkali işlemi uyguladıkları düz dokuma muz kumaşların üretimini elle yatırma yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. ASTM standartlarına uygun olarak üretilen bu numunelere çekme, darbe ve eğilme testleri uygulanmış ve NaOH ile yapılan alkali işleminin mekanik özellikler üzerindeki etkisini, alkali işlem görmemiş kumaşlar ile kıyaslamışlardır. Bununla birlikte visko- elastik davranışı 30°C–140°C sıcaklık aralığında 10Hz frekansta incelemiş ve çekme testinden sonra kırılma analizinin incelenebilmesi için taramalı elektron mikroskobunu kullanmışlardır. Genel olarak alkali ile işlem görmüş kompozitlerin mekanik özellik ve davranışlarının işlem görmemiş kompozitlere kıyasla daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır [32].

Arukhamy, Subramani, Palaniappan, Sethuraman ve Kaliyannan (2020), pamuk dokuma kumaş ve pamuk-bambu ipliğinden oluşan dokuma kumaşlar ile epoksi reçine kullanarak doğal hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sıcak pres ile sıkıştırma kalıplama yöntemi kullanarak ürettikleri bu malzemeleri %30, %35, %40, %45 ve %50 elyaf ağırlığına sahip beş farklı oranda üretmiş ve karşılaştırmışlardır. Üretilen pamuk/bambu takviyeli kompozit malzemenin ağırlıkça %45 elyaf yüklemesi ile çekme, eğilme ve darbe sonuçlarında en iyi mekanik özellikleri gösterdiği sonucuna varmışlardır [33].

Ribeiro ve diğerleri (2021), hacimce %30'a kadar kenevir lifi takviye ettikleri epoksi matristen oluşan kompozit malzemelerin mekanik, balistik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. Hacimce %30 kenevir lifi takviyeli kompozitlerin saf epoksi malzemeye kıyasla izod darbe

enerji değerinin 7,5 kat daha fazla olduğunu, çekme mukavemetinin %60 kadar arttığını ve elastik modül değerinin %80 oranında arttığını belirlemişlerdir. Kenevir lif takviyeli olarak ürettikleri tüm kompozitlerin saf epoksi malzemeye kıyasla termal sıcaklarında %20 kadar azalma gözlemlemişlerdir. Ayrıca balistik enerji değerinin, aynı darbe değeri uygulanmış bildirilen diğer doğal elyaf kompozitlerden daha yüksek sonuç gösterdiğini bildirmişlerdir [34].

Silva, Domiciano, Medeiros ve Costa (2021), polimerik poliüretan (PU) ve pamuk lifi (CF) kullanarak alümina trihidrat (ATH) ilavesi ile üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve tutuşabilirlik davranışını incelemişlerdir. Malzemeler %10, %20 ve %30 ATH içeriğine sahip PU ve PU katkılı olmak üzere döküm yöntemi ile CF/PU kompozitleri ve CFs/PU kompozitleri ATH ilavesi ile vakum torbalama yöntemi ile 0° , $\pm 45^\circ$ ve 90° şeklinde 3 farklı açıda lif yönlendirilmesiyle üretmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre CFs/PU kompoziti saf polimerden daha yüksek bir yanma hızı gösterdiğini, PU/CFs kompozitinin (0°), saf PU kıyasla iki katı bir rijitlik ve mukavemet sergilediğini gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleme yapılmasıyla, ATH ilavesinin fiber- matris arayüz kalitesinde bir düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir [35].

Kamble, B. K. Behera, Mishra ve P. K. Behera (2021), çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir malzemelere dikkat çekmiş ve tekstil atığı olan pamuk elyafları kullanarak kompozit malzemeler üretmiştir. Dolgu malzemesi olarak grafen oksit nanoparçacıkları ve enzimle işlenmiş olan kenevir lifi mikro parçacıklarını atık pamuk ile kullanmışlardır. Ağırlıkça %0,3 grafen oksit ile yüklenen pamuk/epoksi kompozit malzemelerinin gerilme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe mukavemeti sırasıyla %11, %20 ve %30 oranında artış gösterdiğini ve %3 kenevir lifi ile yüklenen pamuk/epoksi kompozit malzemelerinin çekme mukavemetinde %20, eğilme mukavemetinde %14 ve darbe mukavemetinde %116 oranında artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca üretilen bu doğal elyaf katkılı kompozitlerin tren ve otobüs gibi araçların iç mekanlarında kullanılabilineceğini belirtmişlerdir [36].

2.2. Sentetik Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Gör (2018), elle yatırma yöntemi ile cam ve karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemeler üretmiş, mekanik özelliklerini incelemiştir. İzod çentik darbe testi, çekme testi, üç nokta eğilme testi ve pin bearing testlerini uygulamıştır. Test sonuçlarına göre hibrit malzemede kullanılan

cam elyafın darbe dayanımını arttırdığını, karbon elyafın ise çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve pin bearing dayanımını arttırdığını belirlemiştir. Ayrıca kompozit malzemelerde dokuma kumaş yoğunluğunun mekanik özellikler üzerinde önemli bir etki oluşturduğunu bildirmiştir [37].

Hashim, Majid, Baitab, Yidris ve Zahari (2019), ticari uçak yapılarında yaygın olarak kullanılan hibrit kompozitlerden biri olan karbon/ kevlar hibrit kompozitinin düşük ortam sıcaklığı altında çekme özelliklerinin değişimini araştırmışlardır. Hibrit yapıların yorulma mukavemeti, kırılma gerilmesi, mukavemet ve darbe özelliklerinin üzerine pozitif bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Uçak yapılarında kullanılan kompozit malzemelerin geniş sıcaklık değişimleri yaşadıklarını, ortam sıcaklıklarında mekanik özellikler ile ilgili birçok çalışma yapılmasına rağmen düşük sıcaklık değişimlerinde yapılan çalışmaların az olduğuna değinmişlerdir. Bu nedenle 0°C, -5°C ve -10°C düşük sıcaklık ortamlarında karbon/ kevlar hibrit kompozit malzemelere çekme testi uygulamışlardır. Çekme testi sonuçlarına göre, ortam sıcaklığının azalmasının çekme mukavemetini arttırdığını bildirmişlerdir [38].

Nagaraja, Rajanna, Prakash, Koppad ve Alipour (2020), iki farklı kombinasyona sahip karbon-cam/ epoksi hibrit kompozit malzemeler üretmişler ve mekanik özelliklerini kıyaslamışlardır. Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile iki farklı dizilime sahip ((C/G/G/C/G/G/C), (G/C/G/C/G/C/G)) hibrit kompozitlerin ASTM standartlarına göre çekme ve eğilme testleri uygulamışlardır. Test sonucunda taramalı elektron mikroskobu ile kırılma yüzeylerini incelemişlerdir. Test edilen hibrit malzemelerden, dış bölgesi karbon kumaş olanın en yüksek gerilme değerinin 380,35 MPa, eğilme mukavemetinin 615,48 MPa olduğunu ve hem çekme hem de eğilme hasar analizi sonucunda elyaf kopması ve elyaf çekilmesi gözlemlenmiştir. Dışta cam kumaşlı hibrit kompozit malzemedeki ise arayüz ayrışması görülmüştür. Daha iyi çekme ve eğilme özellikleri elde edilebilmesi için karbon elyafın doğru diziliminin önemini vurgulamışlardır [39].

Al-Nimer (2021), karbon/cam/epoksi hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Malzemeleri ANSYS ve Abaqus programları ile simüle etmiş ve mekanik özelliklerini ANSYS programı ile belirlemiştir. Otomobil yapısının ön ray kısmında kullanılmasını amaçladığı bu hibrit kompozitin mekanik özelliklerini alüminyum malzemesi ile karşılaştırmıştır ve alüminyumdan daha yüksek enerji ve şok emme kabiliyetine sahip olduğunu

bildirmiştir [40].

2.3. Hibrit Kompozit Malzemeler ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Arthanarieswaran, Kumaravel ve Kathirselvam (2014), doğal lif olan muz (B) ve sisal (S) ile cam elyafın (G) bir arada hibridizasyon etkisini incelemişlerdir. Epoksi matris ile güçlendirilen bu takviye malzemeleri; B, S, BS, G/B/G, G/S/G, G/BS/G, G/B/G/B/G, G/S/G/S/G ve G/BS/G/BS/G dizilimine sahip dokuz farklı kombinasyonda üretmiş ve mekanik özelliklerini kıyaslamışlardır. İki ve üç kat cam elyaf ilave edilen hibrit kompozitlerin çekme mukavemetini sırasıyla 2,34 ve 4,13 kat artırabileceğini ve sisal ile üç kat cam elyaftan oluşan hibrit kompozitin daha iyi darbe dayanımı gösterdiği sonucuna varmışlardır [41].

Engin, Koyuncu ve Lüle (2015), keten lifi, mısır sapı, ayçiçeği sapı, su kamışı ve arpa samanı olmak üzere beş farklı doğal destek malzemesi ile sentetik destek malzemesi olan cam yünü ve karbon lifini farklı oranlarda yüksek yoğunluklu polietilen matris kullanarak lif takviyeli kompozit malzeme üretmişlerdir. Presle kalıplama yöntemi ile ürettikleri kompozit malzemelere çekme ve ısı testlerini uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, kompozit numunelerin çekme mukavemetlerinin desteklenmemiş polietilen numunelere göre daha düşük olduğunu ama mısır sapı, ayçiçeği sapı ve su kamışı takviye edilmiş doğal kompozit numunelerinin, sentetik malzeme (cam yünü ve karbon lifi) takviye edilen kompozit malzemelere yakın çekme mukavemeti değerlerine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca ürettikleri kompozit malzemelerin yüksek sıcaklığa karşı desteklenmemiş polietilene göre daha az deformasyon gösterdiğini bildirmişlerdir [42].

Assarar, Zouari, Sabhi, Ayad ve Berthelot (2015), keten/karbon/epoksi hibrit kompozitler üretmiş, keten elyafın hibrit yapı içerisindeki dizilim şeklinin sönümlenme ve mekanik özellikler için etkilerini araştırmışlardır. Merdane pres yöntemi kullanılarak üretilen hibrit kompozitlerin sönümlenme etkisini sonlu elemanlar analizi ile belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre keten elyaf tabaka dizilimlerinin eğilme rijitliği ve sönümlenme özellikleri üzerinde önemli bir etki gösterdiğini bildirmişlerdir [43].

Braga ve Magalhaes (2015), farklı ağırlıklarda jüt/cam/epoksi takviyeli hibrit kompozit malzemeler üretmiş, mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Epoksi reçine, jüt ve cam

sıralamasıyla 69/31/0, 68/25/7 ve 64/18/19 olmak üzere üç farklı ağırlık oranına sahip hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. Takviye edilen cam elyaf oranı ile mekanik özelliklerin arttığını, 69/31/0 oranıyla üretilen malzemenin yoğunluğunun düşük ve su emme özelliğine sahip en iyi malzeme olduğunu bildirmişlerdir [44].

Can (2016), jüt/yün keçe/cam/epoksi takviyeli hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Jüt/cam, yün keçe/cam ve jüt/yün keçe/cam olmak üzere üç farklı kompozit malzeme üretimini vakum infüzyon yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak jüt/yün keçe/cam takviyeli hibrit kompozitin fiber yönündeki çekme dayanımlarının yüksek değerler gösterdiğini ve jüt/yün keçe/cam takviyeli hibrit kompozitte eğilmeye maruz kalan ilk yüzeyin jüt elyaf olması durumunda eğilme dayanımının daha iyi sonuçlar gösterdiğini bildirmişlerdir [45].

Sarasini ve diğerleri (2016), karbon (C) lifi, keten (F) lifi ve epoksi reçine içeriğine sahip hibrit kompozitler üretmişlerdir. İki farklı dizilim şeklinde üretmiş oldukları hibrit kompozitlerden biri dış kısımda keten fiberler ve iç kısımda (FCF) karbon fiberler olarak diğeri ise bunun tam tersi dizilime sahip (CFC) hibrit kompozitlerdir. Bunların dışında saf keten ve saf karbon fiber takviyeli kompozit malzemeleri referans olarak üretmişlerdir. Üretmiş oldukları malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için dört noktalı eğilme ve farklı enerji seviyelerinde darbe testleri uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, CFC diziliminin bükülme performansı açısından FCF diziliminden biraz daha üstün olduğunu, ancak dışta keten liflerinin varlığı malzemede çatlak ilerlemesine engel olarak hareket ederek daha yüksek bir darbe hasarı toleransı gösterdiğini bildirmişlerdir [46].

Göz (2016), farklı dizilim ve tabaka sayısına sahip dört farklı cam (C)/jüt (J)/keten (K)/epoksi reçine takviyeli hibrit kompozit malzeme üretmiş ve kullanılan tabaka sayısı ile sıralama düzeninin mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemiştir. C/K/J/K/2J/K/J/K/C, C/K/2J/2K/2J/K/C, C/2K/J/2K/J/2K/C ve C/J/6K/J/C kombinasyonlarına sahip hibrit kompozitlerin üretimini vakum destekli reçine infüzyon yöntemiyle gerçekleştirmiştir, ayrıca üretim öncesi kumaşların yüzey etkinliğinin artırılması amacıyla alkali işlemi (%1' lik NaOH çözeltisi ile) uygulamıştır. Çekme testi sonuçlarına göre maksimum kuvvetin C/K/J/K/2J/K/J/K/C dizilimine sahip plakada (10140,4 N), maksimum uzamanın C/2K/J/2K/J/2K/C dizilimine sahip plakada (6,80 mm) ve maksimum gerilmenin

C/2K/J/2K/J/2K/C dizimine sahip plakada (102,55 MPa) en yüksek değerleri gösterdiğini ve darbe testi sonuçlarına göre C/K/J/K/2J/K/J/K/C dizilimine sahip plakada deformasyonun diğer plaka türlerine oranla daha az olduğu, darbe dayanımının daha fazla olduğunu belirlemiştir [47].

Nisini, Santulli ve Liverani (2017), karbon, bazalt ve keten liflerinden oluşan takviye malzemeleri ile epoksi matris kullanarak iki farklı hibrit kompozit malzeme üretmişlerdir. Dış kısımda karbon lifleri olacak şekilde, iç kısımda ise bazalt ve keten lifleri farklı kombinasyonlar ile sırayla yerleştirilmiş ve vakum torbalama yöntemi ile üretimi gerçekleştirmişlerdir. Çekme, eğilme ve farklı enerji seviyelerinde darbe testleri uygulamışlardır, Elde ettikleri sonuçlara göre, bazalt ile keten lifinin art arda sıralanmasının tabakalar arası mukavemeti arttırdığını ve eğilme sonuçlarına göre faydalı olduğunu, darbe performanslarının iki hibrit malzemede de çok farklı sonuç göstermediğini bildirmişlerdir [48].

Ramana ve Ramprasad (2017), jt ve karbon elyaf takviyeli epoksi hibrit kompozitler üretmiş, jt/epoksi ve karbon/epoksi kompozit malzemeler ile mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Elle yatırma yöntemi kullanılarak üretilen hibrit kompozitlerin lif oranını %45 olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre jt/karbon/epoksi hibrit kompozitin karbon/epoksi kompozite kıyasla çok fazla çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve eğilme modülü kaybı olmadan geliştirilmiş süneklilik ve darbe mukavemeti özellikleriyle yerini alabileceğini bildirmişlerdir [49].

Bachmann, Wiedemann ve Wierach (2018), keten lifi ve geri dönüştürülmüş karbon lifi (rCF) kullanarak hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve saf keten lifi ile saf geri dönüştürülmüş karbon lifi (rCF) takviyeli kompozit malzemelere kıyasla mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, dış katmanlarda rCF liflerinin kullanılmasıyla eğilme mukavemetinin 286,7 MPa ve eğilme modülünün 16,8 GPa olduğunu ve bu sonuçların saf keten elyaf takviyeli kompozit malzemeyle karşılaştırılmasıyla eğilme mukavemetinde %118, eğilme modülünde ise %113 bir artış olduğunu bildirmişlerdir [50].

Tse, Yu, Gong ve Soutis (2018), farklı oranlarda kısa ve geri dönüştürülmüş karbon lifleri (rCF), keten lifleri ve poli-laktik asit (PLA) içeren hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Hibrit kompozitlerin lif oranlarını %75 rCF ile %25 keten, %50 rCF ile %50 keten ve %25 rCF ile %75 keten olarak belirlemiş ve üretmişlerdir.

Elde ettikleri sonuçlara göre, %75 rCF ile %25 keten lifli kompozit en yüksek eğilme mukavemeti (202,61 MPa) ve eğilme modülüne (13.98 GPa) sahip olduğunu, %50 rCF ile %50 keten içeriğine sahip hibrit kompozitin %75 rCF ile %25 keten içeriğine sahip hibrit kompozite kıyasla eğilme mukavemetinin %2,1 ve eğilme modülünün %6,2 daha az olduğunu ve keten lifindeki artışla %25 rCF ile %75 keten içeriğine sahip hibrit kompozitin %50 rCF ile %50 keten içeriğine sahip hibrit kompozite kıyasla eğilme mukavemetinin yaklaşık %10 ve eğilme modülünde ise %20 azalma görüldüğünü bildirmişlerdir [51].

Nor, Sultan, Hamdan, Azmi ve Jayakrisna (2018), jüt (J), kenaf (K) ve fiberglas (FG) kullanarak yeni ve geliştirilmiş doğal lif takviyeli hibrit kompozitler üretmiş mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Dört farklı kombinasyona (FG-KJK-FG, FG-KKK-FG, FG-JJJ-FG, FG-JKJ-FG) sahip hibrit kompozitlere çekme ve düşük hızlı darbe testleri uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre FG-JJJ-FG ve FG-JKJ-FG kombinasyonlarının, hibrit kompozitlerde FG-KJK-FG ve FG-KKK-FG kombinasyonlarına kıyasla %90 daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu ve FG-JJJ-FG, darbe testi sonucuna göre en iyi kombinasyon olduğunu bildirmişlerdir [52].

Reddy, Kumar ve Raju (2018), jüt, ananas yaprağı lifi ve cam lifi kullanarak, 1:1:1 oranında epoksi reçineye takviye etmişlerdir. Bu üretilen polimer hibrit kompozitlerin çekme ve eğilme karakterizasyonunu araştırmışlardır. Kompozitteki lif içeriğinin, hacim olarak 0,18 ile 0,42 arasında değiştiğini, lif içeriğindeki artışla çekme mukavemetinde artış olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca fiber içeriğindeki artışla birlikte kompozitin eğilme mukavemetinde de artış olduğunu bildirmişlerdir [53].

Hassan (2018), jüt, cam ve hibrit jüt / cam elyaf nano-silis parçacık dolgululu epoksi matriks lamine kompozitler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Epoksi %1, %2 ve %3 nano-silis ile katkılanmış ve G8, G1J6G1, J3G2J3, J2G1J2G1J2 ve J8 olarak isimlendirilen farklı kombinasyonlara sahip hibrit kompozitler üretmiştir. Kompozit üretiminde her tabakaya epoksi reçine ve nano-silis karışımını dökerek elle yatırma yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Daha sonra sıcak pres içerisinde 1 saat boyunca 80°C kurlama sıcaklığında 0,4 MPa basınç uygulamıştır. Elde ettiği kompozit plakaları Charpy darbe, çekme ve eğilme testleri için ASTM standartlarına uygun ölçülerde kesmiş ve testleri uygulamıştır. Charpy darbe, çekme ve eğilme testlerinin

sonuçlarında, nano-silis içeriğinin %2'lik oranının tüm hibrit ve hibrit olmayan kombinasyonlar için en iyi değerleri verdiği sonucuna varmıştır [54].

Kureemun ve diğerleri (2018), sentetik ve doğal fiberlerden oluşan hibrit kompozitlerin giderek artan kullanımlarına dikkat çekmiş ve karbon elyaf ve keten elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. Farklı kombinasyonlarda üretmiş oldukları hibrit kompozitlerin mukavemet ve sertlik gibi özelliklerini saf numunelerle kıyaslamış ve ayrıca fiber dağılımlarının çekme performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Hacimce %8 karbon takviyesi ile mukavemet ve sertlik değerlerinde %50'den fazla artış elde edilebildiğini, keten katlarla serpiştirilmiş tek karbon katlara sahip hibrit kompozitlerin daha düşük gerilme sertliği gösterdiğini bu sebeple hibrit arayüz sayısının azaltılmasıyla sert takviyelerin bir arada kullanılmasının tercih edilmesinin sonuçlarda etkili olacağını bildirmişlerdir [55].

Ayan (2019), yarı mamul pamuk ve pamuk kumaş takviyeli biyokompozit malzemeler ile cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini kıyaslamak amacıyla 4 farklı kompozit malzeme üretmiştir. Bu 4 farklı takviye malzemeyi ağırlıkça aynı olacak biçimde, vakum infüzyon yöntemi ile kompozit plaka üretimini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği kompozit plakaları çekme ve düşük hızlı darbe testleri için ASTM standartlarına uygun ölçülerde kesmiş ve testleri uygulamıştır. Doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin, uygun kullanım alanları göz önüne alınarak geleneksel kompozit malzemelere tercih edilebileceğini vurgulamıştır [56].

Al-Hajaj, Sy, Bougherara ve Zdero (2019), karbon elyaf ve keten elyaf kullanarak iki farklı konfigürasyonda hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. Tip A (dokuma karbon lifleri/ tek yönlü keten lifleri) ve tip B (dokuma karbon lifleri/ çapraz katlı keten lifleri) olmak üzere üretilen bu hibrit kompozitlerin darbe tepkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre B tipi hibrit kompozitin daha düşük emilen enerji, daha küçük çatlat uzunlukları, daha küçük girinti derinlikleri, daha küçük hasar alanları ve üretilen A tipi hibrit kompozite kıyasla daha yüksek darbe mukavemeti gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca önceki literatür çalışmalarında belirtilen saf keten elyaf takviyeli epoksi kompozitlere kıyasla tip A ve tip B hibrit kompozitlerin üstün darbe özelliklerine sahip olduklarını, sentetik ve doğal elyafların hibrit yapı içerisinde kullanımının daha yüksek performans sağlayarak başarılı sonuçlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir [57].

Shah, Fehrenbach ve Ulven (2019), doğal elyafların sentetik elyaflar ile hibrit yapı içerisinde kullanılmasının mekanik özelliklerin artırılmasında etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Kenevir lifinin geri dönüştürülmüş karbon lifi ile hibritleşmesinin etkilerini incelemişlerdir. Kenevir lifi ve geri dönüştürülmüş karbon lifini polipropilen termoplastik içerisinde enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretmiş ve çekme, eğilme ve darbe testlerini uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, kenevir lifi ile geri dönüştürülmüş karbon lifinin bir arada kullanılmasıyla çekme mukavemetinde %10-15, eğilme mukavemetinde %30-35 ve darbe mukavemetinde de %35-40 kadar bir artış olduğunu bildirmişlerdir [58].

Arusoğlu (2019), vakum infüzyon yöntemi ile doğal elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzeme üretmiş ve bu malzemelerden standartlara uygun biçimde kesilen numunelere çekme, Charpy çentik darbe, sertlik ve su emilim testleri yapmıştır. Takviye malzemesi olarak saf jüt kumaş ile iki farklı dokuma tipine sahip cam fiber kumaş kullanmış ve cam elyaf- jüt liflerinden oluşan, nispeten doğaya zarar vermeyen alternatif bir malzeme olabildiğini amaçlamıştır. Testler sonucunda doğal elyaflara eklenen cam elyafın, jüte göre mekanik özelliklerini arttırdığını bildirmiştir [59].

Yusuff, Sarifuddin, Norbahiyah, Ali ve Ismail (2020), karbon fiber (C) ve kenaf fiber (K) ile epoksi reçine kullanarak bunların kombinasyonlarından oluşan hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve dizilim sıralarının hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elyaf dizilimleri KKKKK, CKCKC, KCKCK ve CCKCC olmak üzere dört farklı kompozit malzemeyi vakum infüzyon yöntemi ile üretmişlerdir. Mekanik özelliklerinin belirlenmesi adına çekme ve eğilme testlerini uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre en yüksek gerilmenin CKCKC dizilimine sahip hibrit örnekte, en yüksek eğilme özelliklerinin ise CCKCC dizilimine sahip hibrit örnekte gözlemlendiğini, karbon fiberlerin dış katmanda kullanılmasının dış yüzey olarak kenaf liflerinin kullanımına kıyasla mükemmel çekme ve eğilme özellikleri gösterdiğini bildirmişlerdir [60].

Karaçor (2020), Keten/cam/epoksi hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Keten elyafa farklı ağırlıklarda cam elyaf takviye ettiği hibrit kompozitlerin üretimini vakum destekli reçine transfer yöntemi (VARTM) kullanarak gerçekleştirmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre keten elyafa metrekare başına farklı ağırlıkta ilave

edilen cam elyafın mekanik özellikleri arttırdığını ve uygulama alanı olarak taşıtların iç kısımlarında kullanılan plastıklere alternatif olabileceğini bildirmiştir [61].

Y. Singh, J. Singh, Sharma, Lam ve Nguyen (2020), hindistan cevizi lifi/dokuma karbon elyaf/epoksi reçine içeriğine sahip alkali yüzey işleme uygulanmış hibrit kompozit malzemeler üretmiş, mekanik ve termal davranışlarını araştırmışlardır. Vakum torbalama yöntemi kullanarak, %30, %20 ve %10 hindistan cevizi lif ağırlık oranlarınca üretilen kompozit malzemeler ASTM standartlarına uygun biçimde çekme, basma, eğilme ve darbe dayanımları ile termal davranışlarını (Termogravimetrik analiz) incelemişlerdir. Ayrıca alkali işlemden önce ve sonra yüzeyin fiber/matris bağlanmasının özelliklerini analiz etmek ve çekme testi sonrası hasar analizi yapma amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre işlenmiş liflerin işlenmemiş liflere kıyasla daha iyi matris bağlanması gösterdiğini ve hibrit kompozitlerin mekanik yüklemeye altında tek fiber takviyeli kompozitlerden daha sağlam özelliklere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ürettikleri bu hibrit kompozit malzemenin mekanik test sonuçlarına dayanarak spor malzemeleri, döşeme ve çatı kaplama gibi uygulamalar için iki farklı lif kullanımının mümkün olduğunu, farklı hacim oranlarında lif ilavesinin optimize edilerek mekanik özelliklerde iyileşme sağlanabileceğini ve doğal elyaf takviyesinin geleneksel kompozit malzemelere göre güçlü ve kıyaslanabilir mekanik özelliklere sahip olduklarını belirtmişlerdir [62].

Sujon, Md, Habib ve Abedin (2020), dört farklı kombinasyon ve üç farklı fiber oryantasyonu ile dokuma jüt elyaf ve karbon elyaf takviye edilmiş hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile üretilen bu hibrit kompozitlere, tabaka diziliminin ve fiber oryantasyonunun etkisinin belirlenmesi amacıyla eğilme, çekme ve su emme testlerini uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, merkezde dört tabaka karbon fiber ve her iki tarafına tek yönlü olarak takviye edilen üç tabaka jüt fiberden oluşan ($J_3C_4J_3$) hibrit kompozitin en yüksek gerilme mukavemetini (571MPa) gösterdiğini, merkezde altı kat jüt elyaf ve her iki tarafına tek yönlü olarak takviye edilen iki kat karbon elyaftan oluşan ($C_2J_6C_2$) hibrit kompozitin en yüksek eğilme mukavemetine (455MPa) ve en düşük su emme oranına (3.8%) sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca tek yönlü hibrit kompozitlerin açılı-katlı ve çapraz-katlı hibrit kompozitlere kıyasla daha yüksek sonuçlar gösterdiğini bildirmişlerdir [63].

Ameur ve diğeri (2020), farklı oranlarda karbon elyaf ve keten elyaf içeren hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Hibrit durumun ve dizilim şekillerinin rijitlik ve sönüm gibi özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Karbon elyafın hacim oranının artırılmasıyla yorulma direnciyle birlikte yorulma performansının da arttığını ve keten elyafın hacim oranının artmasıyla da sönüm oranı ve yorulma ömrünün arttığını sonucunu bildirmişlerdir [64].

Pinto ve diğeri (2020), karbon ve kenevir elyaflardan oluşan hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. Dört farklı kombinasyona sahip hibrit malzemelerin mekanik özelliklerini referans olarak ürettikleri saf kenevir ve saf karbon malzemelerle karşılaştırmışlardır. Kenevir kumaşların mekanik özellikleri nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla 5-20 J aralığında farklı enerji seviyelerinde üç noktalı eğilme ve darbe testleri başta olmak üzere mekanik testler uygulamışlardır. Kenevir tabakaların hibrit yapı içerisinde diziliminin eğilme ve darbe sonuçları için oldukça önemli olduğunu, doğru dizilim ile üretilen hibrit malzemenin saf karbon kompozitin mekanik özelliklerine çok yakın bir değerde olabileceğinin mümkün olduğunu ve en iyi sonuç alınan hibrit kompozitin kenevir tabakalarının hibrit yapının üst kısmında yer almasıyla elde edildiğini bildirmişlerdir [65].

Islam, Amiri ve Ulven (2021), keten elyaf, karbon elyaf ve keten ve karbon fiberin birlikte dokunmuş olduğu kumaşları kullanarak hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. Sentetik elyaflar ile doğal elyafların aynı yapı içerisinde kullanımının yorulma mukavemetini arttırdığını ve ketenin mekanik ve sönümlenme özelliklerinden dolayı güçlü bir doğal lif olduğunu belirtmişlerdir. 1C/2F/1C/2F/1C dizilimine sahip hibrit kompozit ile aynı ağırlığa sahip keten ve karbon fiberin birlikte dokunmuş olduğu kumaşlardan oluşan hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve yorulma özelliklerini karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre aynı ağırlıkta üretilen keten ve karbon fiberin birlikte dokunmuş olduğu kumaşlardan oluşan hibrit kompozitin, 1C/2F/1C/2F/1C dizilimine sahip hibrit kompozitlere kıyasla yorulma ömründe büyük bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir [66].

A. Wang, X. Wang ve Xian (2021), keten ve karbon kumaş kullanarak iki farklı dizilime sahip doğal elyaf katkılı hibrit kompozit malzemeler üretmiş ve bu farklı dizilimlerin darbe enerjisi absorpsiyonu, malzeme sönümü ve yapısal sönümlenme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Saf karbon (C), saf keten (F), FCFCF ve CFFFC dizilimlerine sahip bu

malzemelerin üretimlerini vakum destekli reçine infüzyon yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre sandviç yapılı hibrit kompozitlerin daha iyi darbe tepkisi ve daha yüksek enerji absorpsiyonu gösterdiğini, bunun dış katman tabakasının daha yüksek mukavemetine ve iç katman tabakaları arasında daha iyi yapışmaya bağlamışlardır. FCFCF dizilimine sahip malzemenin, daha düşük titreşim frekansına ve daha yüksek enerji tüketimine sahip olduğunu ayrıca sönüm katsayısının CFFFC'den %26,4 daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir [67].

Das ve diğerleri (2021), jüt elyaf, cam elyaf ve doymamış polyester reçine kullanarak hibrit kompozitler üretmiş, saf olarak üretilen kompozitler ile mekanik ve termomekanik özelliklere etkilerini incelemiştir. Jüt/polyester, cam/polyester ve hibrit jüt/cam/polyester olarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla belli dozda ɣ-ışınlaması uygulamışlardır. Gerilme mukavemeti, eğilme mukavemeti, gerilme modülü ve eğilme modülü sonuçlarına göre jüt/polyester malzeme için %10,7, %26,7, %21,5 ve %36,5 arttığını, cam/polyester malzeme için %6,2, %10,9, %50,3 ve %18 arttığını ve hibrit jüt/cam/polyester kompozit malzemeler için de %8,9, %11,9, %21,7 ve %19,9 oranında arttığını bildirmişlerdir [68].

Karaçor ve Özcanlı (2021), 60°C, 80°C ve 100°C kür sıcaklıklarının jüt/cam/epoksi hibrit kompozitler üzerindeki mekanik ve fiziksel etkilerini araştırmışlardır. Vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi (VARTM) ile üretilen hibrit kompozitlerin çekme ve sertlik özelliklerini farklı kür sıcaklıkları için incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre sıcaklığın kürlenme sonrası 60°C'den 80°C'ye yükseltilmesiyle çekme mukavemetinin %3,18-3,41 kadar arttığını ve sıcaklığın kürlenme sonrası 80 °C'den 100 °C'ye kadar artırılmasıyla çekme mukavemetinde düşüş görüldüğünü belirlemiştir. Ayrıca sıcaklığın kürlenme sonrası artırılmasının sertlik değerlerini arttırdığını bildirmişlerdir [69].

Yılmaz, Yapıcı, Şahin ve Coşkun (2021), karbon kumaş ve pamuk kumaş kullanarak 12 kat sayısına sahip 4 farklı kompozit malzeme üretmişlerdir. Saf pamuk, saf karbon ve iki farklı dizilime sahip karbon/ pamuk kumaş hibrit biyokompozitlerin üretimini elle yatırma ve vakum torbalama yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için çekme testi, çentik darbe (Charpy) testi ve düşük hızlı darbe testini uygulamışlardır. Bunun sonucunda üretilen hibrit biyokompozitlerin mekanik özelliklerini saf karbon kumaş ve saf pamuk kumaş

referans numuneleriyle kıyaslamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara, göre karbon kumaş ile pamuk kumaşın bir arada kullanılmasıyla saf pamuk kompozitlere kıyasla yüksek bir mukavemet artışı görüldüğünü ve hibrit biyokompozitlerin sonuçlarının birbirine yakın değerler gösterdiğini bildirmişlerdir [70].

Nayak, Jesthi, Saroj ve Sadarang (2022), sentetik lifli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin doğal lif katkılı kompozit malzemelerden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple doğal liflerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla cam (G) elyafı ile jüt (J) ve bambu (B) liflerini bir arada kullanarak hibrit kompozit malzemeler üretmişlerdir. GJB, GBJ ve JBG elyaf dizilimine sahip hibrit kompozitlerin üretimini elle yatırma yöntemi uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak GBJ dizilimine sahip hibrit kompozitin darbe değerinin 87 kJ/m^2 ve GJB dizilimine sahip hibrit kompozitin de diğerlerine kıyasla daha yüksek Barcol sertlik değeri (33BHN) gösterdiğini bildirmişlerdir [71].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölüm, karbon kumaş, pamuk kumaş ve 4 farklı dizilime sahip hibrit kompozit malzeme (karbon kumaş+ pamuk kumaş) olmak üzere 6 farklı kompozit malzeme üretiminin elle yatırma ve vakum torbalama yöntemi ile gerçekleştirildiğini ve elde edilen kompozit plakalardan standartlara uygun numuneler oluşturularak uygulanmış olan mekanik testleri içermektedir.

Karbon kumaş ve pamuk kumaşlar farklı tabaka sayı ve kombinasyonları ile epoksi reçine ilave edilerek plaka halinde üretilmiştir. Üretilen bu plakalardan standartlara uygun hazırlanan numunelere çekme testi, çentik darbe (Charpy) testi ve düşük hızlı darbe testi uygulanmış mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Ayrıca çekme testi sonucunda numunelerin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenerek hasar ilerleme mekanizmaları belirlenmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Karbon Elyaf

Poliakrilnitril liflerinden, katran tortusu ve ziftten, bitkisel esaslı hammaddelerden, polivinilden klorür veya polivinildenklorür kopolimerlerinden üretilen karbon lifleri (Resim 3.1) 1,6-2,2 g/cm³ arasında yoğunluğa sahiptirler. Karbon liflerinin elde edildiği hammadde, üretim yöntemi ve işlem sıcaklığı sahip olduğu özellikler ile birlikte kullanım alanlarını farklılaştırmaktadır [72]. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak karbon elyaf kullanımı sağladığı avantajlar nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer bilinen metallere kıyasla hafifliği, yorulma davranışının iyi olması ve yüksek mukavemet göstermesi başta havacılık sektörü olmak üzere uluslararası uzay istasyonlarında, uydularda, spor araç gereçlerinde askeri amaçlı malzemelerde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır [73]. Bu tez çalışmasında 200 g/m² düz (plain) dokuma karbon kumaş kullanılmıştır.



Resim 3.1. Dokuma karbon elyaf kumaş

3.1.2. Pamuk Elyaf

Pamuk, hızla yenilenebilir önemli doğal kaynaklardandır. Pamuk bitkisinin kozalarından elde edilen ipliklerden üretilen pamuk kumaşlar; esneklik, yüksek mukavemet, boyanabilirlik ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi birçok özelliğe sahiptir [74].

Bu tez çalışmasında Norma Kumaş İplik Tekstil Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ.'den temin edilen 150 gr ağırlığına sahip 30/1 penye kompakt pamuk ipliği ile örülmüş olan likrasız saf pamuk kumaş (Resim 3.2) kullanılmıştır.



Resim 3.2. Pamuk elyaf kumaş

3.1.3. Epoksi Reçine

Kompozit malzemenin bileşenlerinden biri olan matris yapının görevi, takviye bileşenini desteklemek, korumak ve bir arada tutmaktır. Kompozit malzemeye uygulanan yük matris yapı tarafından karşılanır ve takviye yapıyla oluşan ara yüzey bağı ile takviye elemanlarına aktarılır. Aynı zamanda matris yapı malzemeye çevresel faktörlerin vermiş olduğu kimyasal zararlardan da korumaktadır. Ürettiğimiz kompozit malzemelerin matris yapısını epoksi reçine oluşturmaktadır. Kullanılan epoksi reçine MGS L160 ve sertleştiricisi MGS H160' tır. Planör, motorlu planör, motorlu uçak, bot, gemi, spor aletleri, model uçaklar, kalıp ve genel uygulamalar için uygun olup kompozit yapı içerisinde üst düzey uyumluluk sağlamasıyla birlikte çok iyi mekanik ve ısıl özelliklere sahiptirler [75-76].

Dost Kimya firmasından temin edilen epoksi reçine ve sertleştirici oranları ağırlıkça %80: %20 olarak belirlenmiştir. Resim 3.3'de Epoksi reçine ve sertleştiricisi verilmiştir.



(a)

(b)

Resim 3.3. Epoksi matrisi (a) Reçine (b) Sertleştirici

3.2. Yöntem

Kompozit malzemelerde üretim yöntemi takviye ve matris elemanlarına göre belirlenir. İstenilen şekil ve özelliklerde kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu üretim yöntemleri açık kalıplama teknikleri ve kapalı kalıplama teknikleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Açık kalıplama teknikleri; el yatırması yöntemi, püskürtme yöntemi, elyaf sarma (filamen sarım metodu/ fiber yerleştirme), kapalı kalıplama teknikleri ise pultrüzyon (profil çekme) yöntemi, reçine transfer metodu (RTM), yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama prosesi (SRIM), baskı kalıplama metodu (SMC üretimi, BMC hazır kalıplama bileşeni), enjeksiyon kalıplama, savurma döküm (santrifüj) kalıplama, vakum torbası/ otoklav prosesinden oluşmaktadır [77].

Bu çalışmada literatür araştırmaları sonucunda elle yatırma ve vakum torbalama yöntemi birlikte kullanılarak hibrit bir üretim yöntemi tercih edilmiştir. Elle yatırma yönteminde, elyaflar kalıba elle yatırılarak yerleştirilir ve daha sonra üzerine reçine emdirilerek iyi bir şekilde elyaflara nüfuz etmesi sağlanır. Bu yöntem farklı elyaf türlerinin optimizasyonu için oldukça esnek bir yöntemdir ve üretim maliyetinin düşük olması, tasarım esnekliği sağlaması, yerinde kalıplama olanağı gibi birçok avantajı mevcuttur.

Vakum torbalama yöntemi, vakum torbası kullanılarak ıslatılmış elyafların (elle yatırma sonrası) vakum altında sertleşmesi amacına dayanan bir kapalı kalıplama üretim yöntemidir. Bu yöntem ile vakum ortamı içerisinde bulunan fazla reçine ve hava kabarcıkları giderilerek homojen bir malzeme ve aynı zamanda düşük reçine yüksek elyaf oranına sahip daha mukavim bir malzeme üretilebilmektedir [78-79].

3.2.1. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanları 200 g/m² plain dokuma karbon kumaş ve 150 g/m² saf pamuk kumaştan oluşmaktadır. Kullanılan epoksi reçine Hexion marka LR160 ve sertleştirici ise LH160'tır. Epoksi reçine- sertleştirici oranları ağırlıkça %80: %20 olarak belirlenmiş ve bağlayıcılık özelliğinin sağlanabilmesi için 3 dakika mekanik karıştırma işlemi yapılmıştır. Üretimde karbon ve pamuk kumaşlar 50 x 32 cm² ebatlarında kesilmiştir. Kompozitin üretildiği zeminden kolay ayrılabilmesi için ilk elyaf tabakadan önce ve son elyaf tabakadan sonra kullanılacak olan soyma kumaşı, epoksinin ilerlemesini sağlayan infüzyon

filesi ve vakum ortamını sağlayacak olan vakum torbası uygun ölçülerde kesilmiştir (Resim 3.4).



Resim 3.4. Kompozit üretiminde kullanılan malzemeler (a) infüzyon filesi, (b) karbon elyaf kumaş, (c) pamuk elyaf kumaş, (d) soyma kumaşı, (e) vakum torbası, (f) vakum battaniyesi

Üretimde herhangi bir ıslanma problemi olmaması için önce elle yatırma yöntemi ve sonrasında fazla epoksinin dışarı tahliye edilmesi amacıyla vakum torbalama yöntemi birlikte kullanılarak hibrit bir üretim yöntemi tercih edilmiştir.

Üretim yapılacak alanda öncelikle vakum torbası sızdırmazlık bandı ile sabitlenmiş ve üzerine soyma kumaşı yerleştirilmiştir. Epoksi reçine- sertleştirici karışımı rulo fırça yardımı ile karbon, pamuk ve hibrit birleşimdeki kumaşlara ayrı ayrı uygulanarak yedirilmiştir. Elyafın üzerine soyma kumaşı ve vakum filesi yerleştirildikten sonra fazla epoksinin dışarı tahliye edilebilmesi amacıyla elyaf boyutunda kesilen spiral hortum, vakum battaniyesi ile sarılarak vakum çıkış bölgesine yerleştirilmiştir ve vakum hortumu ile bağlantısı tamamlanmıştır. Son olarak vakum torbası sızdırmazlık bandı ile yapıştırılarak vakum pompası çalıştırılmıştır. Yaklaşık olarak 700 mmHg basınçta ve oda sıcaklığında epoksinin emilimi ve reçinenin sertleşmesi için 24 saat boyunca vakum işlemi gerçekleştirilmiş ve plakaların üretimi sağlanmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5. Üretimden görüntüler

Üretilen 6 farklı kompozit plakaya ait numune adları, dizilim şekilleri, tabaka sayıları ve ağırlıkça % fiber oranları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

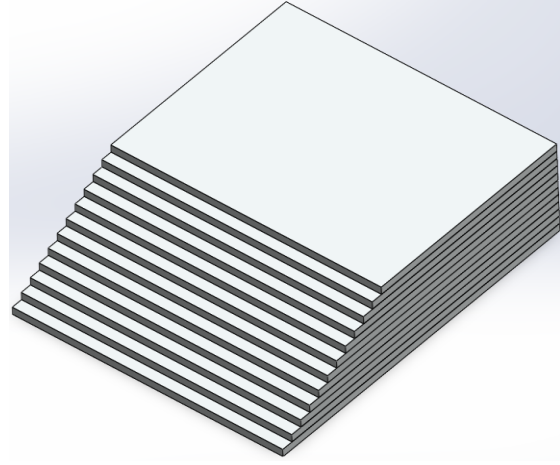
Çizelge 3.1. Üretilen malzeme grupları

Numune Adı	Dizilim Şekli	Kat Sayısı	Ağırlıkça % Fiber Oranları
12K	12 kat karbon kumaş	12	%68,6
12P	12 kat pamuk kumaş	12	%39,01
3K6P3K	3 kat karbon kumaş + 6 kat pamuk kumaş + 3 kat karbon kumaş	12	%57,37
2K2PZ	2 kat karbon kumaş + 2 kat pamuk kumaş + 2 kat karbon kumaş...	12	%60,18
3K12P3K	3 kat karbon kumaş + 12 kat pamuk kumaş + 3 kat karbon kumaş	18	%53,02
3K24P3K	3 kat karbon kumaş + 24 kat pamuk kumaş + 3 kat karbon kumaş	30	%48,08

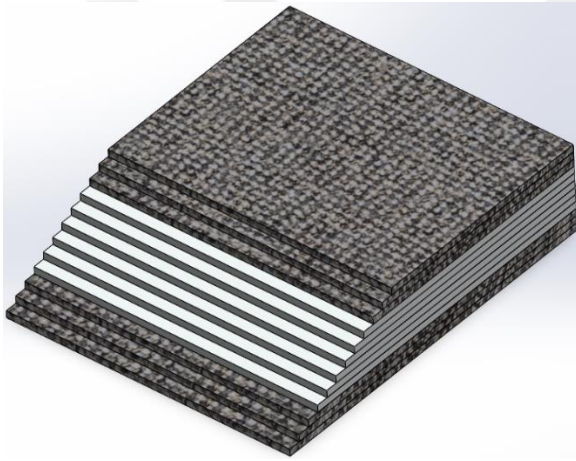
Numunelerde kullanılan saf pamuk kumaş ve karbon kumaş tabakaların dizilimlerinin ve tabaka sayılarının etkilerinin görülebilmesi için Şekil 3.1’de verilmiştir.



(a)



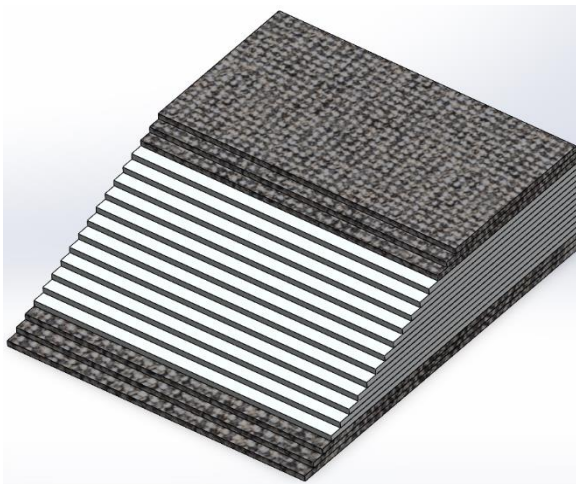
(b)



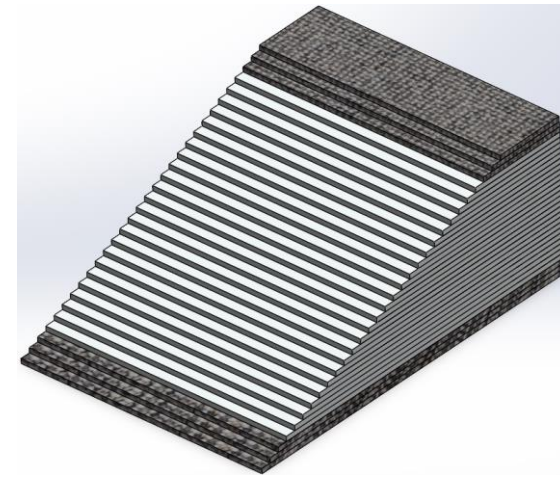
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3.1. Tabaka dizilimlerinin şematik görünümü (a) 12K (b) 12P (c) 3K6P3K (d) 2K2PZ (e) 3K12P3K (f) 3K24P3K

Üretimi tamamlanan kompozit plakalar vakum torbasından çıkarılmış ve soyma kumaşlarından dikkatli bir biçimde ayrılmıştır, her bir kompozit plakanın üretimi için aynı işlemler tekrarlanmış ve 6 farklı kompozit malzeme üretimi tamamlanmıştır.

Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla üretilen plakalardan her bir malzemeye ait 5'er adet numune, çekme testi için ASTM D638, çentik darbe (Charpy) testi için ASTM D6110 ve düşük hızlı darbe testi için de ASTM D7136 standartlarına uygun biçimde kesilmiştir ve testlere tabii tutulmuştur. Resim 3.6'da ASTM standartlarına uygun kesilmiş numunelerin bir örneği verilmiştir.



Resim 3.6. ASTM standartlarına göre kesilmiş numuneler

3.2.2. Çekme Testi

Çekme testi, bir numuneye kopana dek tek ekseninde çekme kuvvetinin uygulandığı temel bir malzeme testidir. Test cihazının çenelerine yerleştirilen numunelere kopana dek kuvvet uygulanır ve sonuçlar kaydedilir. Bu test yöntemiyle maksimum çekme gerilmesi uzama miktarı ve kesit alanındaki azalmalar gibi birçok mekanik özellik elde edilmektedir [80].

Bu çalışmada üretilen kompozit plakalardan ASTM D638 standartlarına uygun olarak çekme numuneleri hazırlanmıştır. Standartlara uygun kesilen numunelerin, çekme testi sırasında çeneye temas edeceği bölgelerde kopma olmaması amacıyla temas yüzeylerine kompozit

destek plakaları (tab) yapıştırılmıştır ve testleri tamamlanmıştır. Hazırlanan numunelerin çekme testleri Instron marka 8801 modeli çekme cihazında 2 mm/dakika hızla yapılmıştır. Resim 3.7’de çekme testinden görüntüler verilmiştir. Test sonuçları 4. bölümde detaylı olarak mevcuttur.



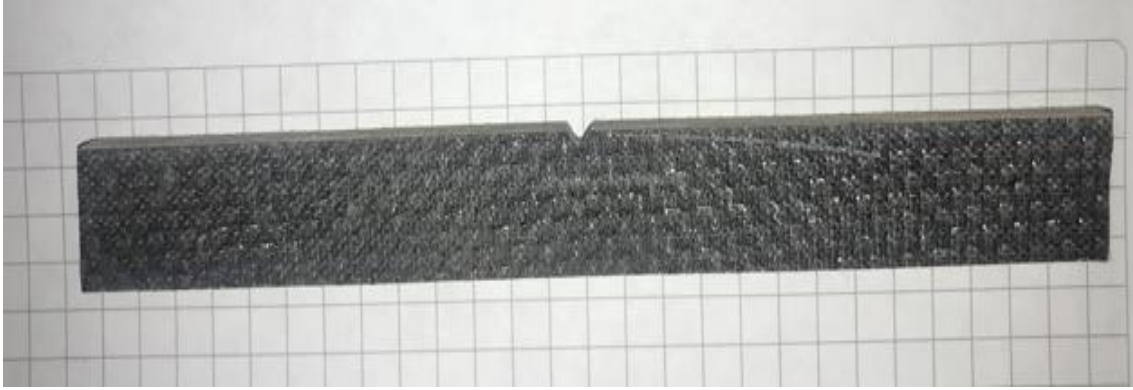
Resim 3.7. Çekme testinden görüntüler

3.2.3. Çentik Darbe (Charpy) Testi

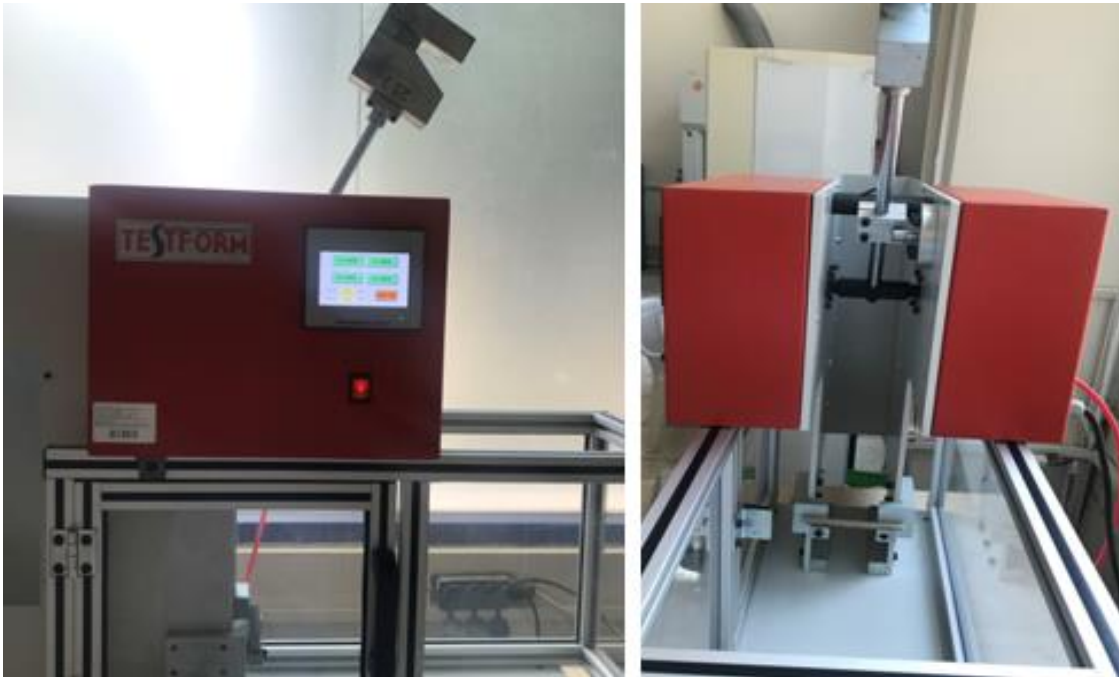
Çentik darbe (Charpy) testi, çentikli bir numunenin darbe yükü altında kırılma sırasında absorbe ettiği enerjiyi ölçmek amacıyla 1900 yılında Georges Augustin Albert Charpy tarafından bulunmuştur. Metaller, kompozitler, seramikler gibi mühendislik malzemelerinin darbe dayanımını belirleyen bir yöntemdir. Bu test yöntemi, standartlara uygun bir numunenin yatay bir şekilde konumlandırılmasıyla çentiğin karşısına ucunda çekiç olan bir sarkacın belli bir yükseklikten bırakılmasıyla gerçekleştirilir. Sarkacın serbest bırakıldığı ilk yükseklik ile numuneyi kırdıktan sonra çıktığı yükseklik arasındaki potansiyel enerji farkı malzemenin darbe

dayanımını belirler. Sarkacın numuneyi kırdıktan sonraki yüksekliği ne kadar az ise malzemenin darbe dayanımı veya tokluğu o kadar yüksektir [80-81].

Üretilen kompozit plakalardan ASTM D6110 standartlarına uygun olarak çentik darbe (Charpy) numuneleri, her bir malzeme grubu için uygun ölçülerde hazırlanmıştır. Çentik darbe (Charpy) testi Testform Marka cihazda 25 J çekiç enerjisi ile gerçekleştirilmiştir. Test öncesinde numunelere “V” biçiminde çentik açılarak (Resim 3.8) test cihazına yerleştirilmiştir ve testler tamamlanmıştır. Resim 3.9’da çentik darbe (Charpy) testinden görüntüler verilmiştir. Test sonuçları 4. bölümde detaylı olarak mevcuttur.



Resim 3.8. Çentik açılmış numune örneği

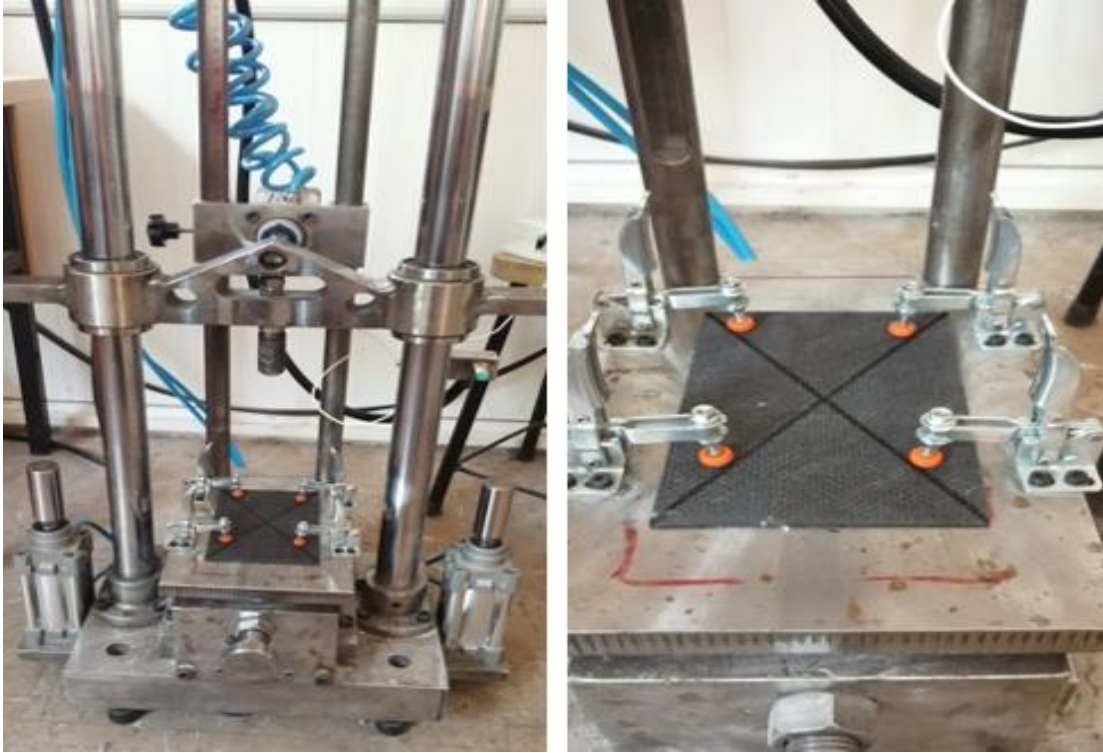


Resim 3.9. Çentik darbe (Charpy) testinden görüntüler

3.2.4. Düşük Hızlı Darbe Testi

Düşük hızlı darbe testi, belirli bir ağırlık ve hıza sahip vurucu ucun cihaza sabitlenmiş numeneye çarpması ile gerçekleştirilir. Çarpma sonrası numunede oluşan yer değiştirme (çökme, sehim), hasar ve numune tarafından absorbe edilen enerji sonuçları elde edilebilmektedir. Düşük hızlı darbe testinde numune yüzeyinde görülemeyen, malzeme iç yapısında matris çatlakları, delaminasyon, fiber ayrılmaları gibi hasarlar oluşabilmektedir. Tüm sonuçlar değerlendirilerek malzemenin rijitlik, kırılmalık ve süneklik gibi özellikleriyle ilgili yorumlar yapılabilir [81-82].

Üretilen kompozit plakalardan ASTM D7136 standartlarına uygun olarak düşük hızlı darbe testi numuneleri, her bir malzeme grubu için uygun ölçülerde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin düşük hızlı darbe testleri DAQ sistemi ile 25 kHz örnekleme frekansında çalışan Labview yazılımı aracılığıyla veri okuyan deney cihazında yapılmıştır. Test cihazının vurucu uç ağırlığı 5,6 kg olup test hızı 2 m/s (11,2 J) ve 3m/s (25,2 J) olmak üzere iki farklı hızda gerçekleştirilmiştir. Resim 3.10'da düşük hızlı darbe testinden görüntüler verilmiştir. Test sonuçları 4. bölümde detaylı olarak mevcuttur.



Resim 3.10. Düşük hızlı darbe testinden görüntüler

3.2.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), odaklanmış elektron demetinin numune yüzeyini taramasıyla yüzeyin morfolojisi ve topografyası hakkında bilgi veren görüntüleme yöntemidir. Yüksek voltaj ile hızlandırılan elektron demeti ile numune atomları arasında çeşitli etkileşimler sonucunda yüzeyin morfolojisi ve topografyası hakkında bilgi içeren sinyaller üretir. Elektron ve numune atomları arasında oluşan bu sinyaller uygun algılayıcılarda toplanır ve toplanan bu sinyaller işlenerek görüntü elde edilir [83].

Bu çalışmada, çekme testi uygulanmış kompozit numunelerin SEM cihazı ile yüzey görüntüleri incelenmiştir ve hasar ilerleme mekanizmaları tespit edilmiştir. SEM analizi FEI marka, Quanta 650 Field Emission SEM model cihaz ile yapılmıştır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Üretimi yapılan 6 farklı malzemeye çekme testi, çentik darbe (Charpy) testi ve düşük hızlı darbe testi uygulanmıştır. Her bir testin sonucu için 5 farklı numunenin ortalama değerleri alınmıştır. Ayrıca çekme testi uygulanan kompozit numunelerin SEM cihazı ile yüzey görüntüleri incelenmiştir.

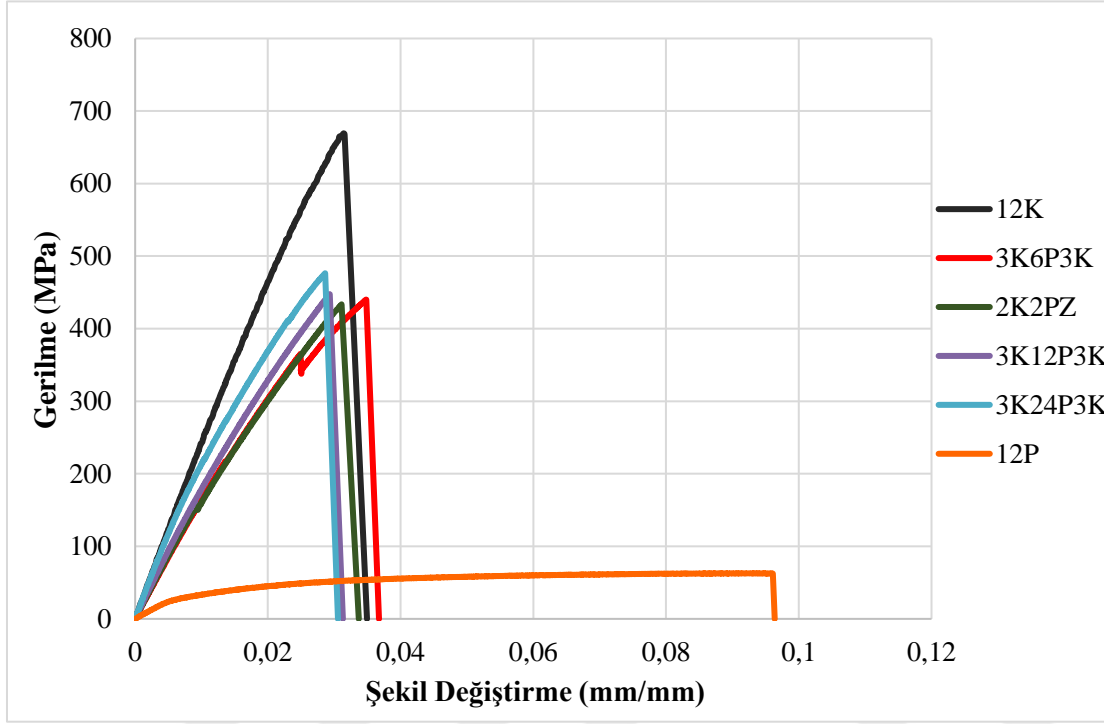
4.1. Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi sonunda kopan 12P ve 3K24P3K malzemelerine ait görüntüler Resim 4.1’de verilmiştir.



Resim 4.1. Çekme testi sonunda kopmuş numuneler (a) 12P (b) 3K24P3K (c) 3K24P3K yandan görünümü

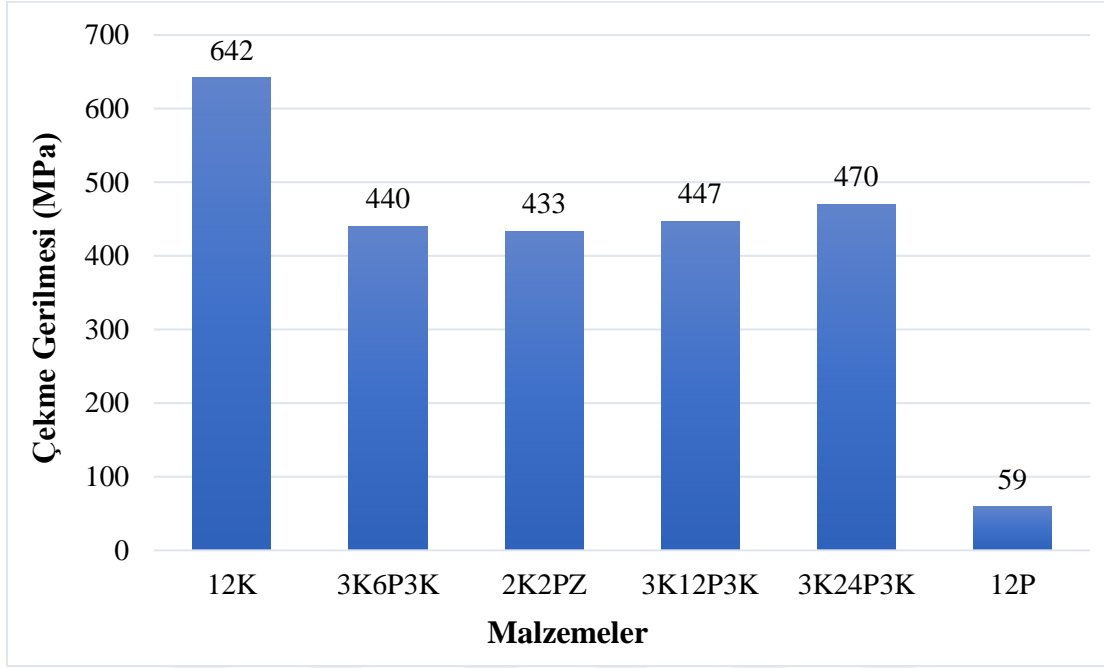
Uygulanan çekme testlerinden her bir malzeme türüne ait çekme gerilmesi ve gerilme-şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.1’ de malzemelerin gerilme ve şekil değiştirme değerleri kıyaslanarak verilmiştir.



Şekil 4.1. Gerilme-şekil değiştirme grafiği

Sonuçlar incelendiğinde saf karbon ve saf pamuk numunelerin beklendiği gibi en yüksek ve en düşük gerilmelere sahip olurken saf pamuk numune oldukça sünek bir davranış göstermiştir. Ancak saf pamuk malzemelere takviye edilen karbon kumaş nedeniyle bu hibrit biyokompozitler gevrek bir karakter göstermiş ve akma gerilmesi değerleri artmıştır. Bunun nedeni karbon kumaşın çekmeye karşı dayanımı ve rijit bir yapıya sahip olmasıdır. Hibrit biyokompozitler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında takviye edilen pamuk kat sayısının artmasıyla 3K12P3K ile 3K24P3K numunelerinin 3K6P3K ile 2K2PZ numunelerinden daha yüksek akma noktasına sahip olduğu ve daha rijit davrandıkları görülmüştür.

Malzemelerin en yüksek gerilme değerleri olan çekme gerilmesi değerleri Şekil 4.2’de her bir malzeme için kıyaslanarak verilmiştir. Elde edilen çekme gerilmesi değerleri MPa cinsinden hesaplanmıştır.



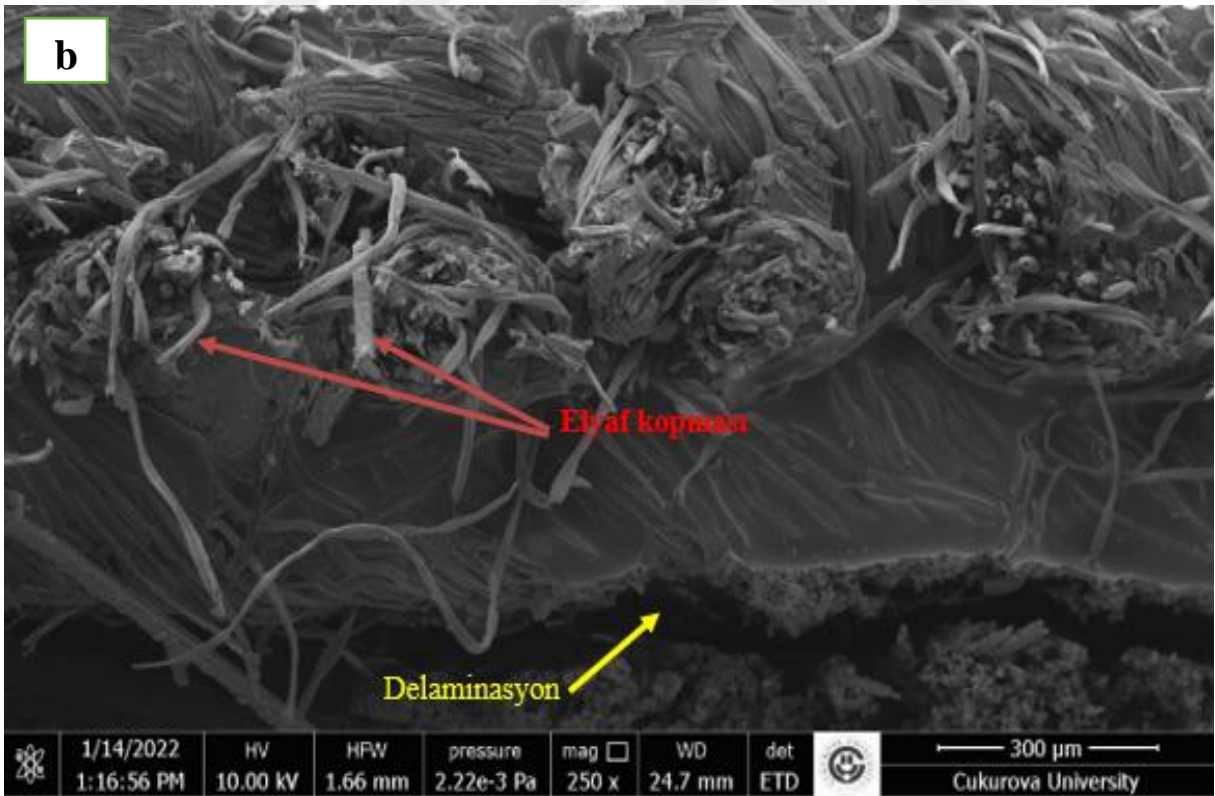
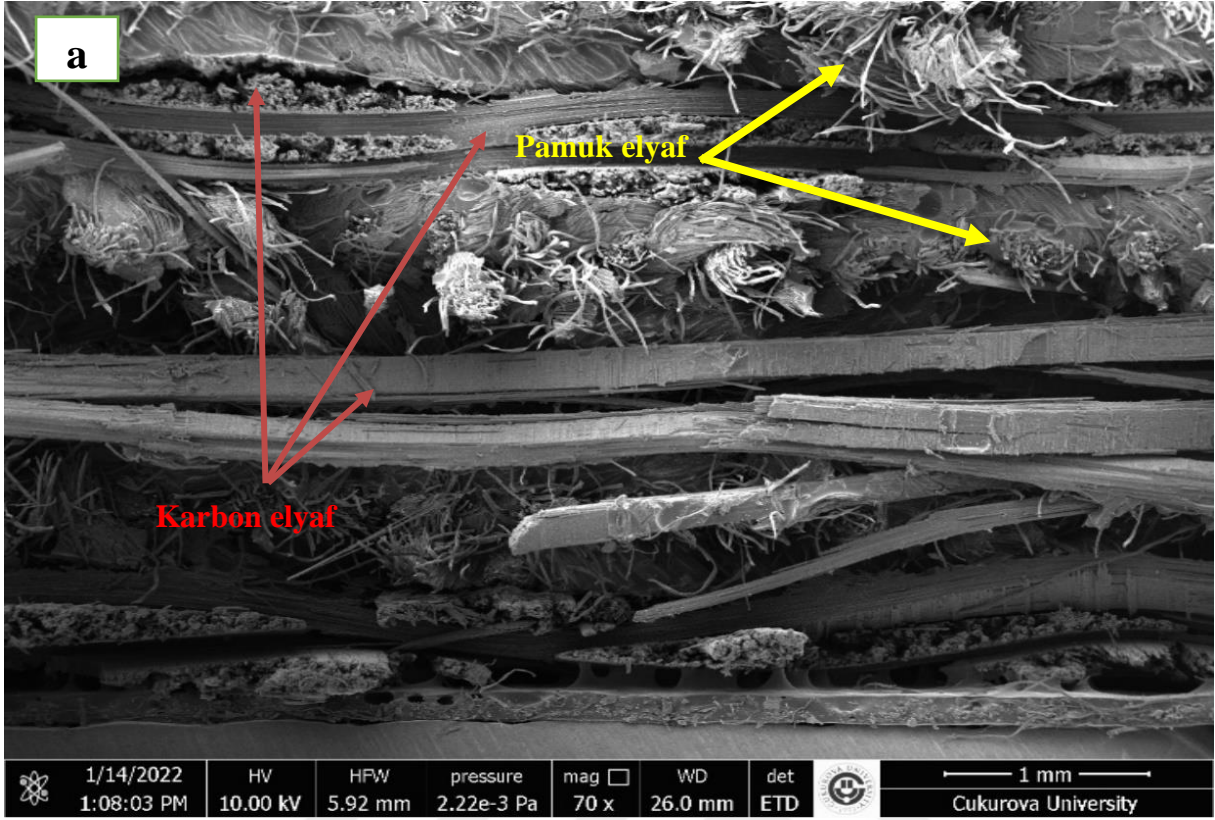
Şekil 4.2. Çekme testi sonuçları- çekme gerilmesi

Değerler incelendiğinde karbon elyaf takviyeli kompozit numunelerinin çekme gerilmesi değeri 642 MPa, saf pamuk elyaf takviyeli kompozit numunelerinin çekme gerilmesi değeri 59 MPa olarak belirlenmiştir. Hibrit biyokompozit olarak üretilen 3K6P3K numunelerinin çekme gerilmesi değeri 440 MPa, 2K2PZ numunelerinin 433 MPa, 3K12P3K numunelerinin 447 MPa ve 3K24P3K numunelerinin ise 470 MPa olarak elde edilmiştir. 3K6P3K ve 2K2PZ numuneleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında sonuçlar birbirine yakın olsa da 2K2PZ numunelerinde iki katlı yapının gerilme süreksizliğinden dolayı daha düşük mukavemet sonuçları vermiştir. Hibrit biyokompozitlerin (3K6P3K, 2K2PZ, 3K12P3K ve 3K24P3K) tanımlarına uygun bir şekilde saf karbon kumaştan düşük ve saf pamuktan daha yüksek mukavemet değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Hibrit biyokompozitlerde takviye edilen saf pamuk elyafın kat sayısının artmasının rijitliği ve dolayısıyla mukavemeti arttırdığı belirlenmiştir.

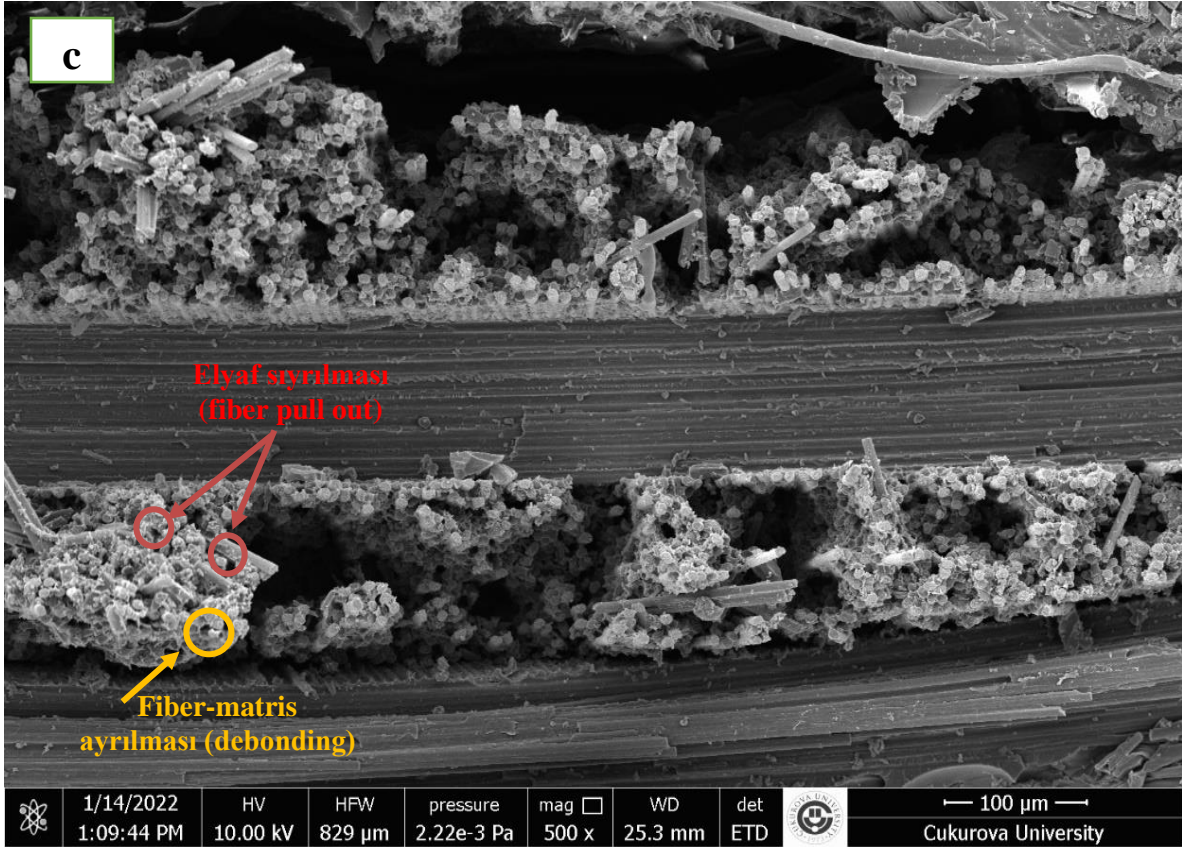
4.2. SEM Analizi Sonuçları

Bu tez çalışmasında, çekme testi uygulanan kompozit numunelerin SEM cihazı ile yüzey görüntüleri incelenmiş ve numunelerde oluşan hasar ilerleme mekanizmaları tespit edilmiştir.

Çekme testi sonucu kırılmış veya hasar görmüş 2K2PZ numunesinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü Resim 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.2. 2K2PZ numunesinin a) 70 X b) 250X ve c) 500 X büyütmede SEM görüntüleri



Resim 4.2 (devamı). 2K2PZ numunesinin a) 70 X b) 250X ve c) 500 X büyütmede SEM görüntüleri

Çekme testi sonucunda Resim 4.2’de verilen 2K2PZ numunelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüzey görüntüleri incelendiğinde, karbon elyaf ve pamuk elyaflara ait fiber katmanları açıkça görülmektedir. Uygulanan çekme kuvveti ile 2K2PZ numunelerinde; elyaf kopması, elyaf sıyrılması (fiber pull out), delaminasyon ve fiber- matris ayrılması (debonding) hasar ilerleme mekanizmaları gözlemlenmiştir.

4.3. Çentik Darbe (Charpy) Testi Sonuçları

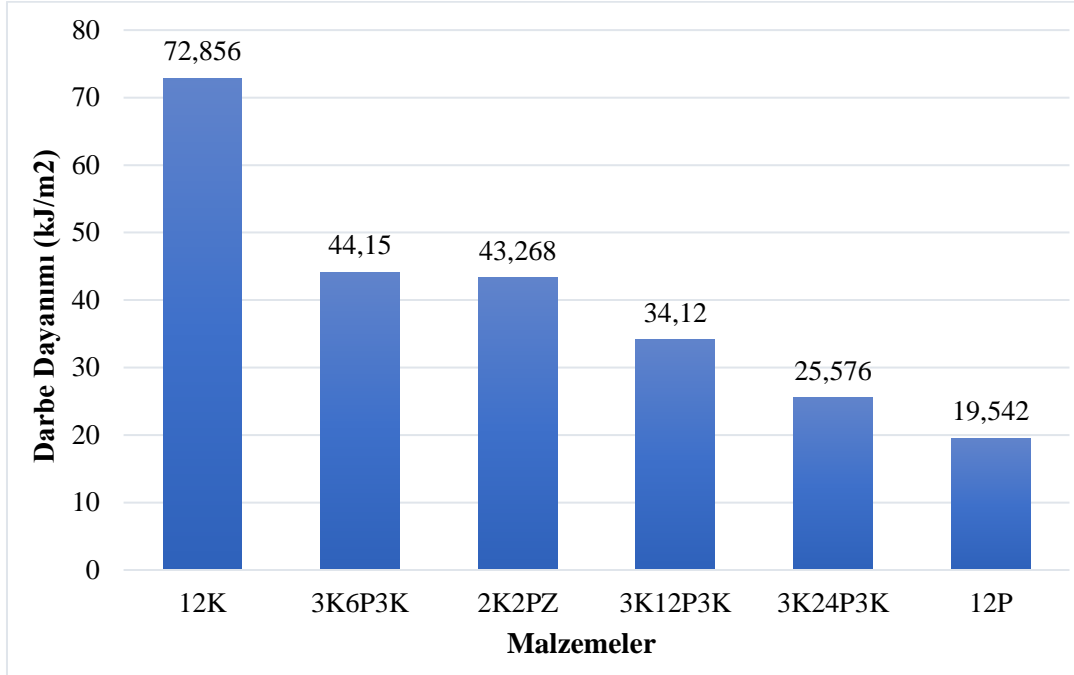
Çentik darbe (Charpy) testi sonunda çentik noktalarından kırılan 12P ve 3K24P3K malzemelerine ait görüntüler Resim 4.3’te verilmiştir.



Resim 4.3. Çentik darbe (Charpy) testi sonunda çentik noktalarından kırılan numuneler (a) 12P
(b) 3K24P3K

Çentik darbe (Charpy) testi, üretilen hibrit biyokompozitlerin darbe dayanımlarının saf olarak üretilen kompozit malzemelere göre kıyaslanması amacıyla yapılmıştır. Yatay konumda bulunan numuneye ucunda çekiç olan bir sarkacın çarpmasıyla numune tarafından yutulan enerji hesaplanır. Darbe dayanımını, sarkacın serbest bırakıldığı ilk yükseklik ile numuneyi kırdıktan sonra çıktığı yükseklik arasındaki potansiyel enerji farkı belirler. Darbe dayanım değerinin düşük olması kırılma için harcanan enerjinin de az olduğunu gösterir ve bu da malzemenin mukavemetinin düşük olduğu anlamına gelmektedir [80-81].

Numunelerin çentik darbe (Charpy) deneyi sonuçlarına göre darbe dayanımları Şekil 4.3'te verilmiştir. Elde edilen darbe dayanımları kJ/m^2 cinsinden incelenmiştir.



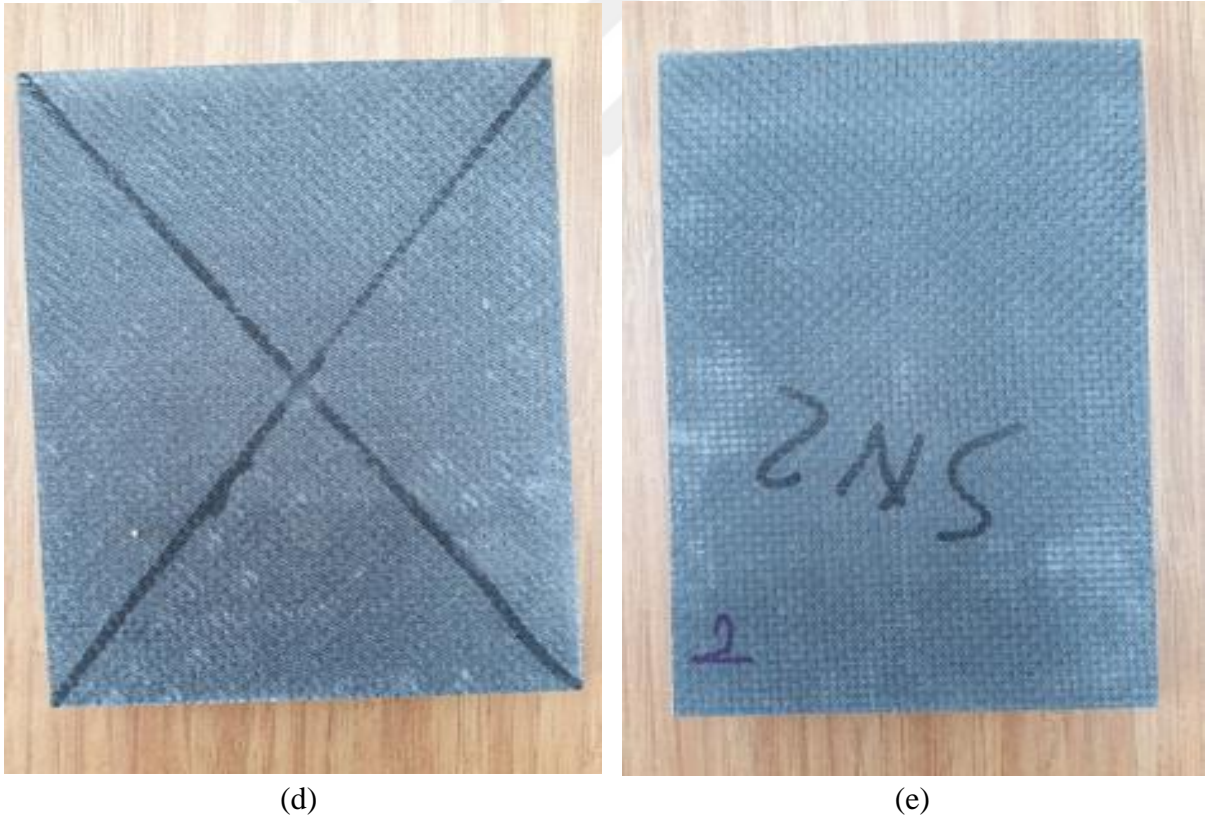
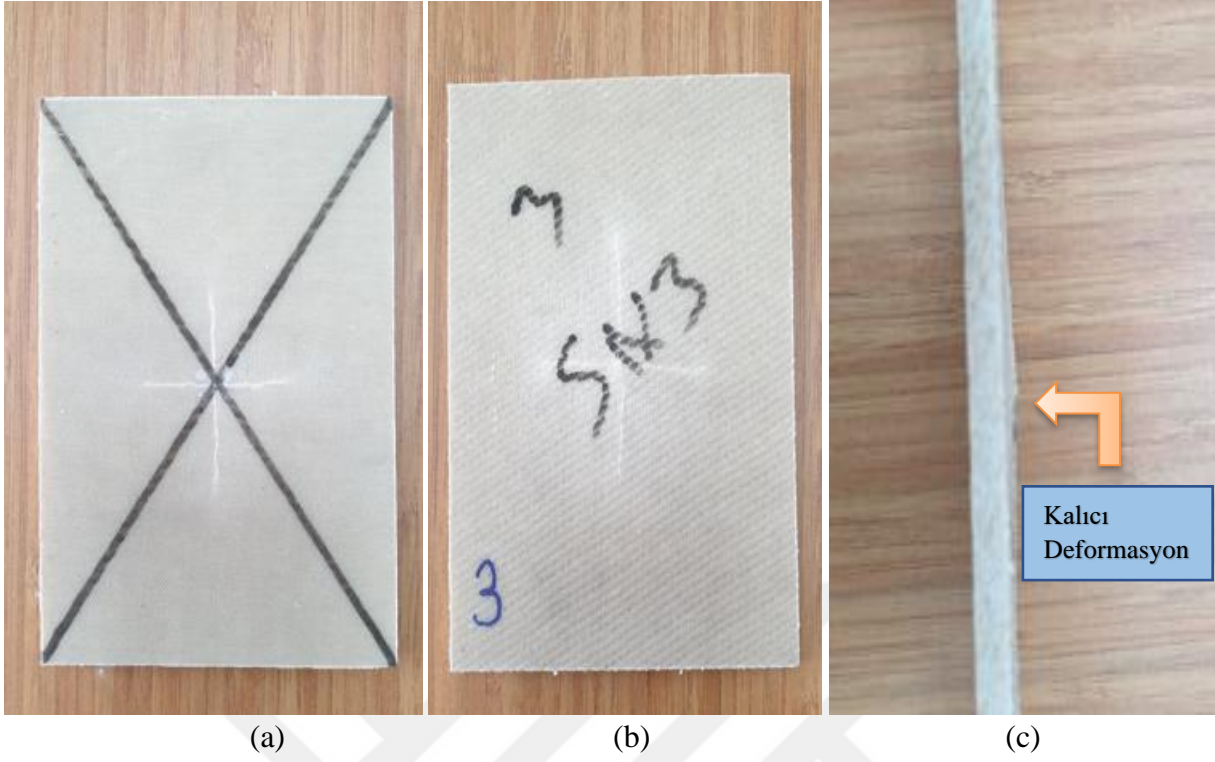
Şekil 4.3. Çentik darbe (Charpy) testi sonuçları- darbe dayanımı

Elde edilen darbe dayanımları incelendiğinde; karbon elyaf takviyeli kompozit numunelerinin darbe dayanımı $72,856 \text{ kJ/m}^2$, saf pamuk elyaf takviyeli kompozit numunelerinin darbe dayanımı $19,542 \text{ kJ/m}^2$, hibrit biyokompozit olarak üretilen 3K6P3K numunelerinin darbe dayanımı $44,15 \text{ kJ/m}^2$, 2K2PZ numunelerinin darbe dayanımı $43,268 \text{ kJ/m}^2$, 3K12P3K numunelerinin darbe dayanımı $34,12 \text{ kJ/m}^2$ ve 3K24P3K numunelerinin darbe dayanımı ise $25,576 \text{ kJ/m}^2$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar malzemelerin çekme gerilmesi sonuçlarıyla uyumlu olup, yüksek mukavemet için yüksek kırılma enerjisi düşük mukavemet için düşük kırılma enerjisi elde edilmiştir. Yine her ne kadar saf pamuk sünek karakter göstermiş olsa da gerilme-şekil değiştirme diyagramında eğrinin altında kalan alan saf karbon kompozite göre daha küçük olduğundan tokluğu da daha küçüktür.

Saf pamuk elyafa takviye edilen karbon elyafın rijitliği ve darbe dayanım özelliği sayesinde, aynı yapı içerisinde kullanılmasıyla oluşturulan hibrit biyokompozit malzemelerin darbe dayanımı artmıştır.

4.4. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonuçları

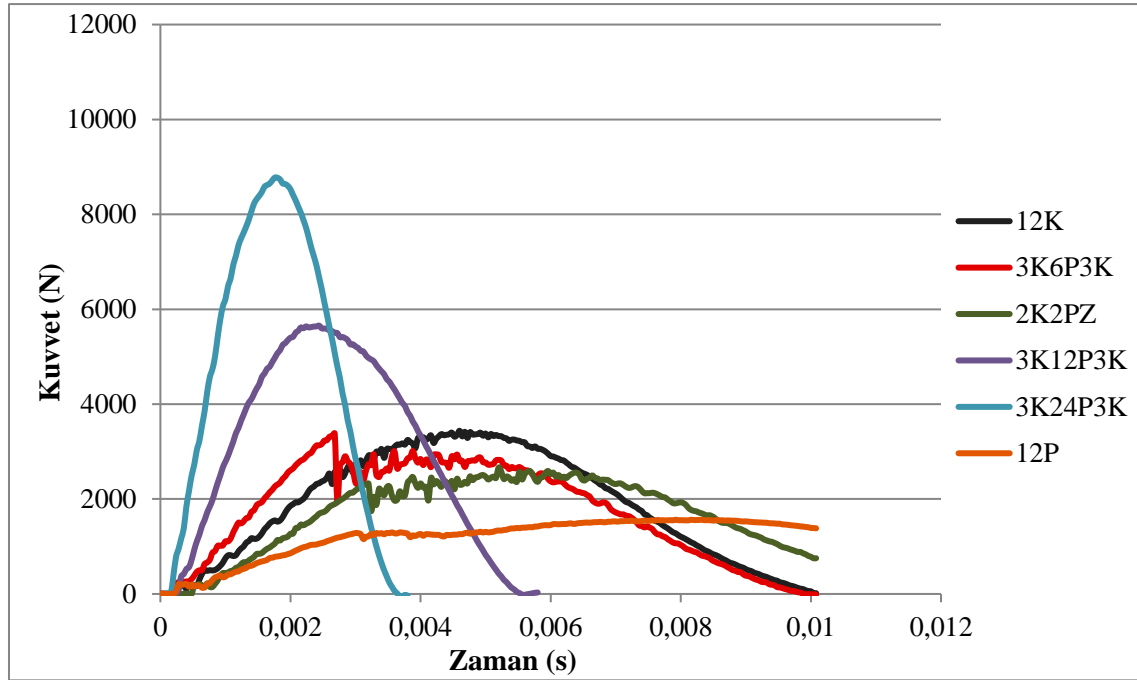
Kuvvet etkisi altında kalan 12P ve 3K24P3K malzemelerinin 3 m/s hız ile gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait numune görüntüleri Resim 4.4'te verilmiştir.



Resim 4.4. Düşük hızlı darbe testinde kuvvet etkisi altında kalan numuneler (a) 12P önden görünüm (b) 12P arkadan görünüm (c) 12P yandan görünüm (d) 3K24P3K önden görünüm (e) 3K24P3K arkadan görünüm

Düşük hızlı darbe testi karbon elyaf takviyeli, pamuk elyaf takviyeli ve hibrit biyokompozit (3K6P3K, 2K2PZ, 3K12P3K, 3K24P3K) malzemelere 2 m/s ve 3 m/s çarpma hızıyla her bir malzeme türü için uygulanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda grafikler oluşturulmuştur.

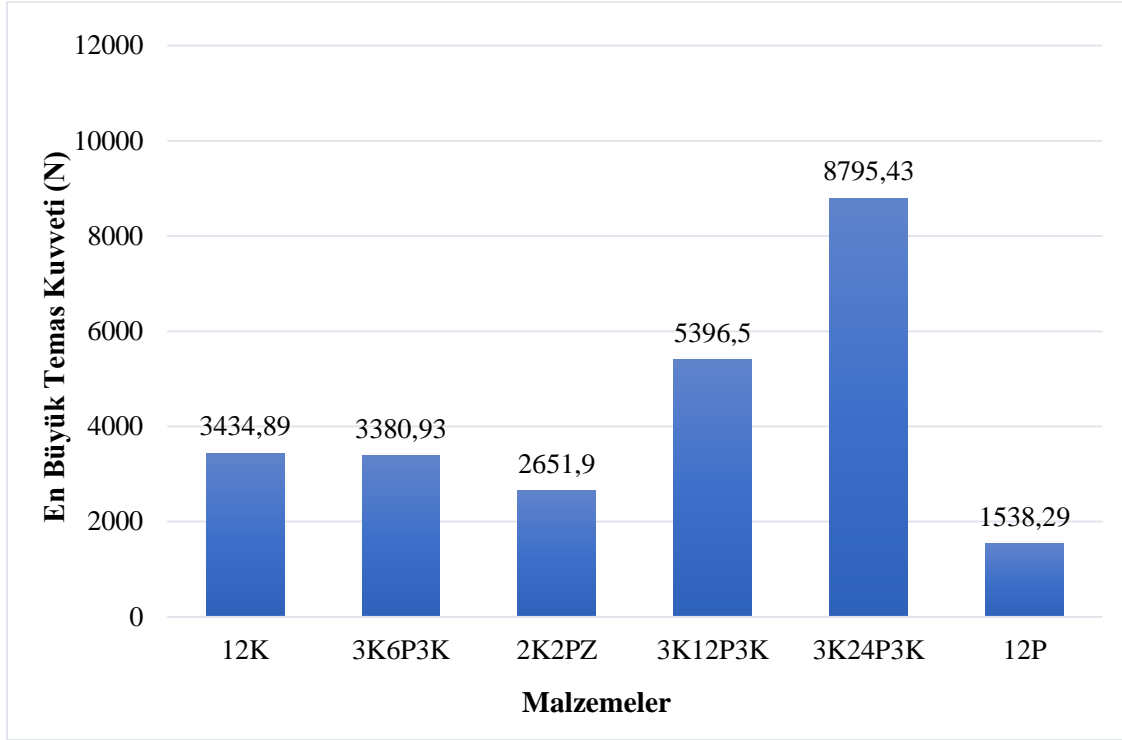
Şekil 4.4'te grafikte, 2 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait kuvvetin zamana bağlı değişimi tüm malzeme türleri için gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kuvvet- zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için

Grafikte görülen duruma göre; saf pamuk elyaf kompozit numunelerin esnek ve sünek yapısından dolayı vurucu uca karşı daha az direnç kuvveti göstermiştir ve kısmi olarak saplanma gerçekleşmiştir. Takviye edilen karbon elyafın rijit ve darbeye karşı dayanımı ile artan tabaka sayıları direnç kuvvetinde artışa neden olmuştur. Ancak 3K12P3K ve 3K24P3K numunelerinin diğer numunelere kıyasla daha kısa sürede daha fazla kuvvete maruz kaldığı görülmüştür. Burada artan kat oranına bağlı olarak tepki kuvveti artmış ve süre kısalmıştır.

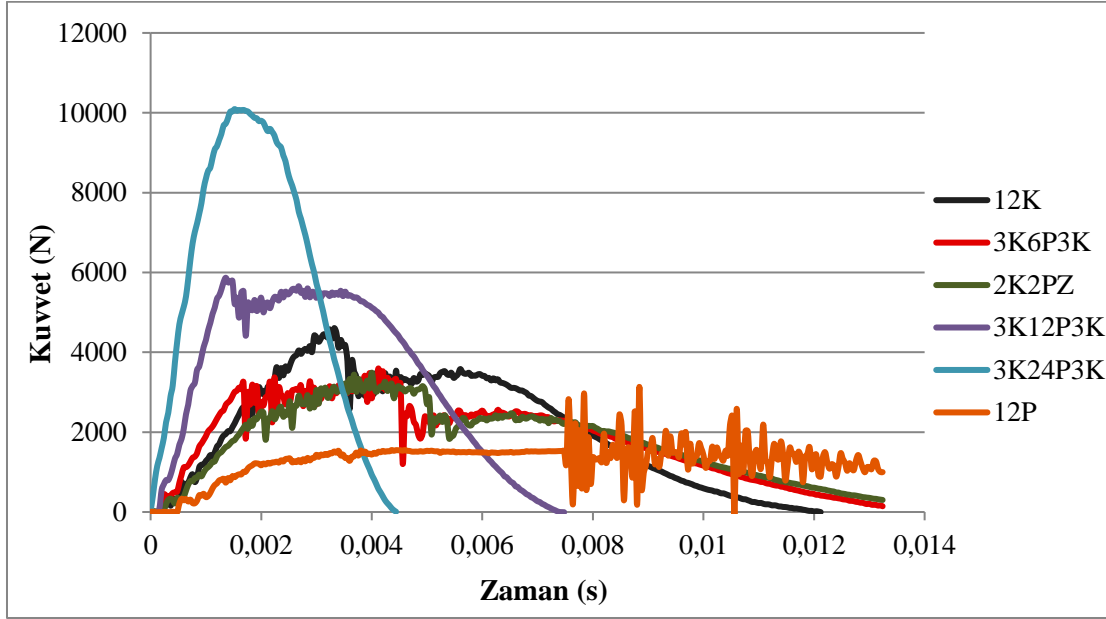
Şekil 4.5'te grafikte, 2 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait numunelerden elde edilen en büyük temas kuvveti değerleri tüm malzeme türleri için verilmiştir.



Şekil 4.5. En büyük temas kuvveti sonuçları 2 m/s çarpma hızı için

En büyük temas kuvvetleri 12K malzemesi için 3434,89 N, 3K6P3K malzemesi için 3380,93 N, 2K2PZ malzemesi için 2651,9 N, 3K12P3K malzemesi için 5396,5 N, 3K24P3K malzemesi için 8795,43 N ve 12P malzemesi için de 1538,29 N'dur. Bu sonuçlardan da net bir şekilde görülmektedir ki farklı dizilişlere sahip hibrit kompozit malzemelerden 3K6P3K ile 2K2PZ aynı sayıda takviye elemanından oluşmasına rağmen 3K6P3K malzemesinde karbon elyafların bir arada kullanılan tabaka sayısının daha fazla olması ve dış katmanlarda kullanılması nedeniyle daha yüksek direnç kuvvet göstermiştir. Artan kat oranıyla birlikte 3K12P3K ile 3K24P3K malzemeleri daha rijit davranmış ve dolayısıyla gelen darbeye karşı daha yüksek tepki kuvveti göstermiştir.

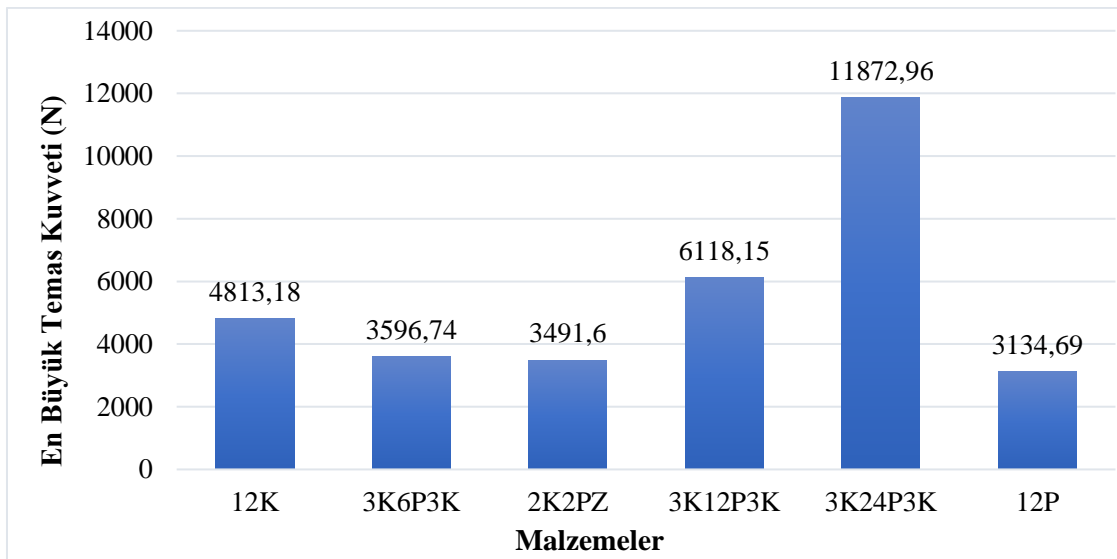
Şekil 4.6'da grafikte, 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait kuvvetin zamana bağlı değişimi tüm malzeme türleri için gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kuvvet-zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için

Darbe hızının 2 m/s den 3 m/s'ye çıkarılmasıyla numune üzerinde oluşan temas kuvveti ve temas süresi artmıştır. Grafikte salınımin fazla olması numunede fazla hasar oluştuğunu göstermektedir.

Şekil 4.7'de grafikte, 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait numunelerden elde edilen en büyük temas kuvveti değerleri tüm malzeme türleri için verilmiştir.

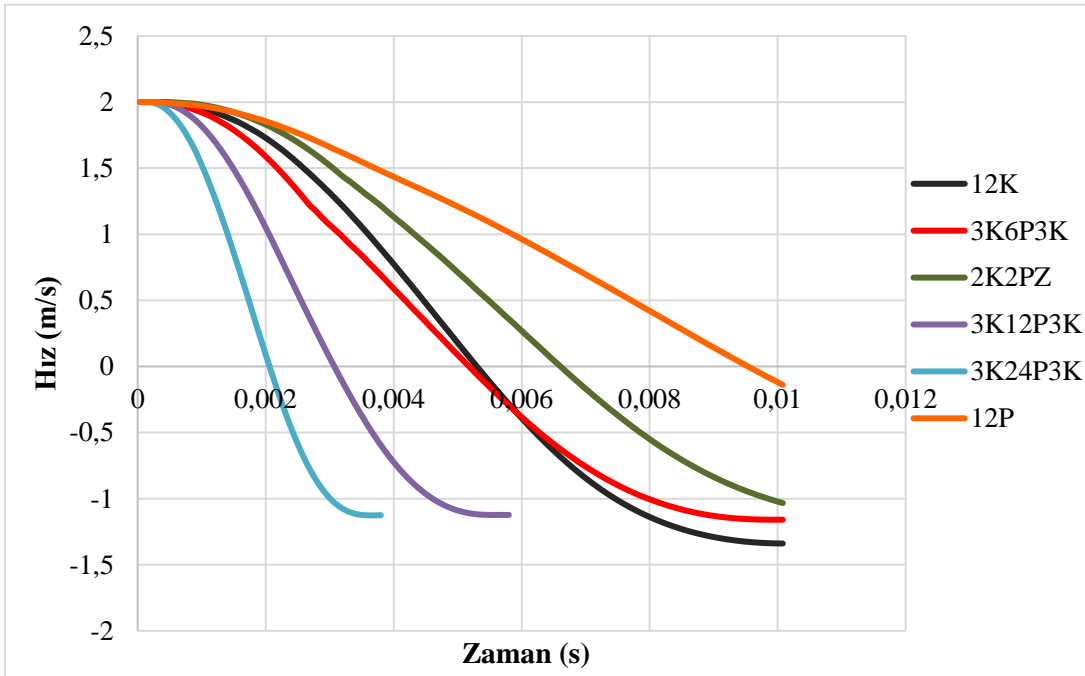


Şekil 4.7. En büyük temas kuvveti sonuçları 3 m/s çarpma hızı için

En büyük temas kuvveti sonuçlarına göre net bir şekilde kuvvet değerlerindeki artışlar görülmektedir. 3K6P3K, 3K12P3K ile 3K24P3K numunelerinde kat oranının artmasıyla kuvvet değerleri artmıştır.

Artan enerji seviyesiyle birlikte kuvvet-zaman değerlerinde de artış görülmüştür. Tüm malzeme türleri her iki çarpma hızı için de kendi aralarında paralel sonuçlar göstermiştir.

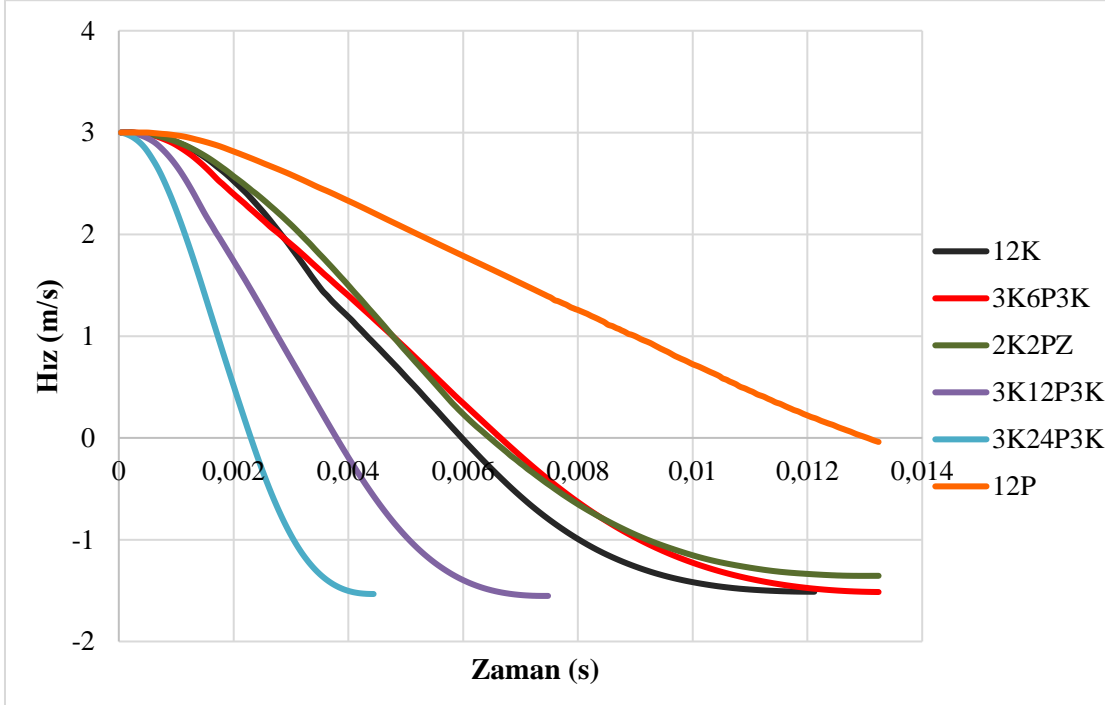
Şekil 4.8’de grafikte, 2 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait numunelerin zamana bağlı hız değişimleri tüm malzeme türleri için verilmiştir.



Şekil 4.8. Hız- zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için

Şekil 4.8’ de verilen hız- zaman grafiği incelendiğinde ilk başta 2 m/s hıza sahip vurucu ucun numune ile teması sonrasında hızı azalır. Vurucu ucun numune yüzeyi ile temas sonrasında geri sekmesi durumunda yukarı yönde hareket eden vurucu uç negatif bir hıza sahip olmaktadır. Hızın sıfır durumunda olması veya geri sekme olmaması halinde vurucu ucun malzemelerde saplanma veya delinme gerçekleştirdiğini bildirmektedir [84-85]. Buna göre 12P malzemesinde geri sekme sıfıra yakın (kısmi saplanma) gözlemlenirken geriye kalan tüm malzeme türleri için vurucu ucun geri sekmesi durumu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.9'da grafikte 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait numunelerin zamana bağlı hız değişimleri tüm malzeme türleri için verilmiştir.

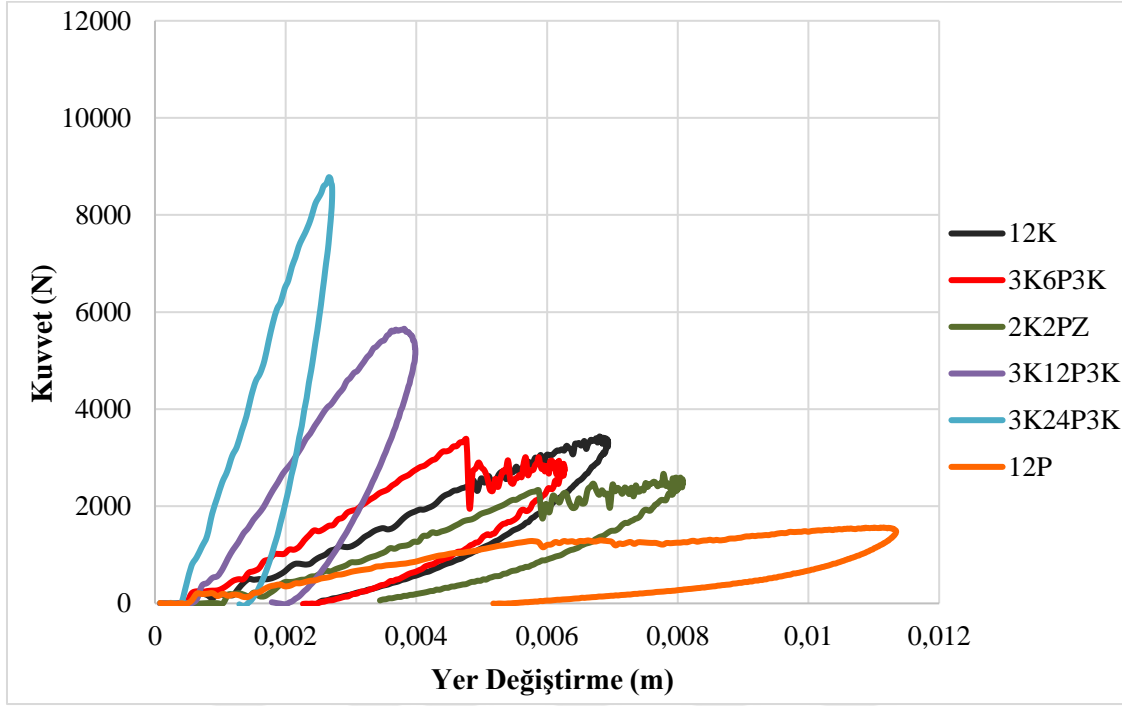


Şekil 4.9. Hız- zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için

Şekil 4.9' da verilen hız- zaman grafiği incelendiğinde 3 m/s hıza sahip vurucu ucun 12P malzemesi hariç tüm malzeme türleri için zamanla hızının azaldığı ve vurucu ucun numune yüzeyinden geri sekmesiyle yukarı yönde hareket eden negatif bir hıza sahip olduğu görülmüştür. Şekil 4.8'de verilen 2 m/s hız ile gerçekleştirilen testin sonuçlarına benzer şekilde, 12P malzemesinde geri sekme sıfıra yakındır (kısmi saplanma). Geriye kalan tüm malzeme türleri için de vurucu ucun geri sekmesi durumu gözlemlenmiştir.

Düşük hızlı darbe testlerinde 2 m/s ve 3 m/s darbe enerjileri için hız- zaman grafikleri kıyaslandığında aynı malzemeler kendi aralarında paralel sonuçlar göstermiştir.

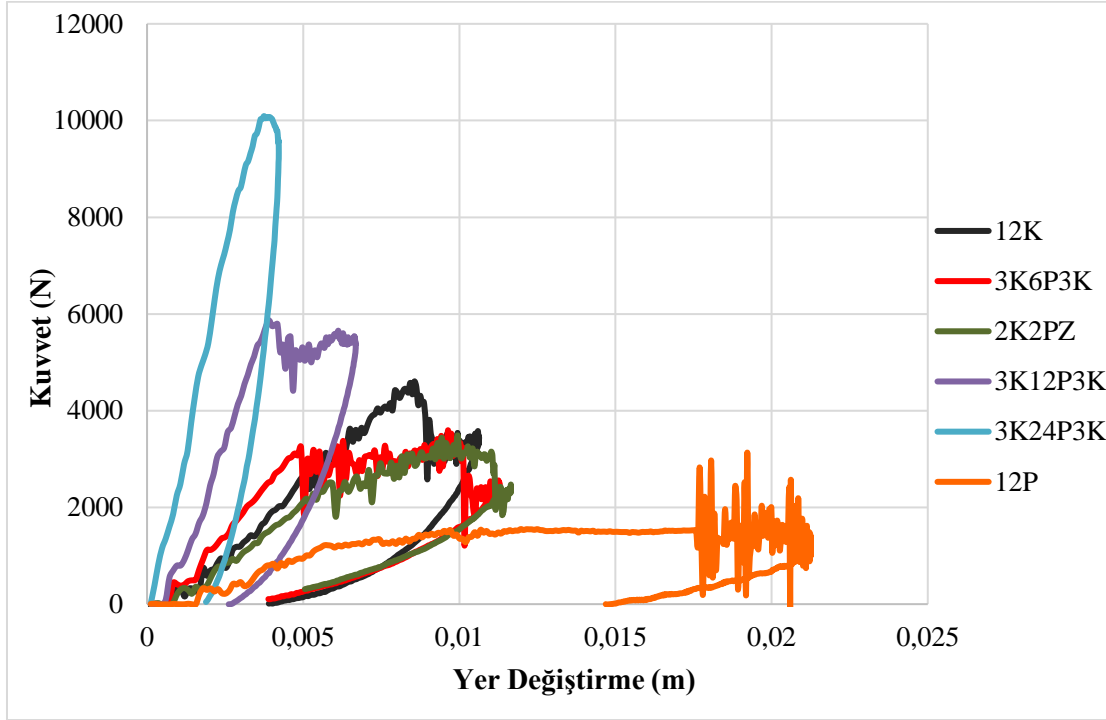
Şekil 4.10'da grafikte 2 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait, uygulanan kuvvetlere bağlı olarak numunelerin üzerinde oluşan yer değiştirmeler tüm malzeme türleri için verilmiştir.



Şekil 4.10. Kuvvet- yer değiştirme grafiği 2 m/s çarpma hızı için

Şekil 4.10' da verilen kuvvet- yer değiştirme grafiği incelendiğinde uygulanan kuvvet karşısında en fazla yer değiştirme miktarı 12P numunesinde oluşmuştur. Yapısı gereği sünek bir davranış gösteren 12P numunesi, uygulanan darbe sonucunda numune eski şeklini alma eğilimi göstermemiştir. Bu nedenle darbe enerjisini absorbe ederek kalıcı hasar oluştuğu belirlenmiştir. Karbon kumaşın takviye edildiği hibrit kompozit malzemelerde artan kat oranıyla birlikte kuvvet etkisi altında yer değiştirme miktarının azaldığı görülmüştür. Bu durumda takviye edilen karbon elyaflar hibrit kompozitlere (3K6P3K, 2K2PZ, 3K12P3K ve 3K24P3K) rijit bir yapı özelliği kattığı görülmektedir. Ayrıca 3K12P3K ile 3K24P3K malzemelerinin kuvvet artış bölgelerinde diğer malzemelere kıyasla, salınımın sifıra yakın olması hasarlanmanın da çok az olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.11'de grafikte 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait, uygulanan kuvvetlere bağlı olarak numunelerin üzerinde oluşan yer değiştirmeler tüm malzeme türleri için verilmiştir.

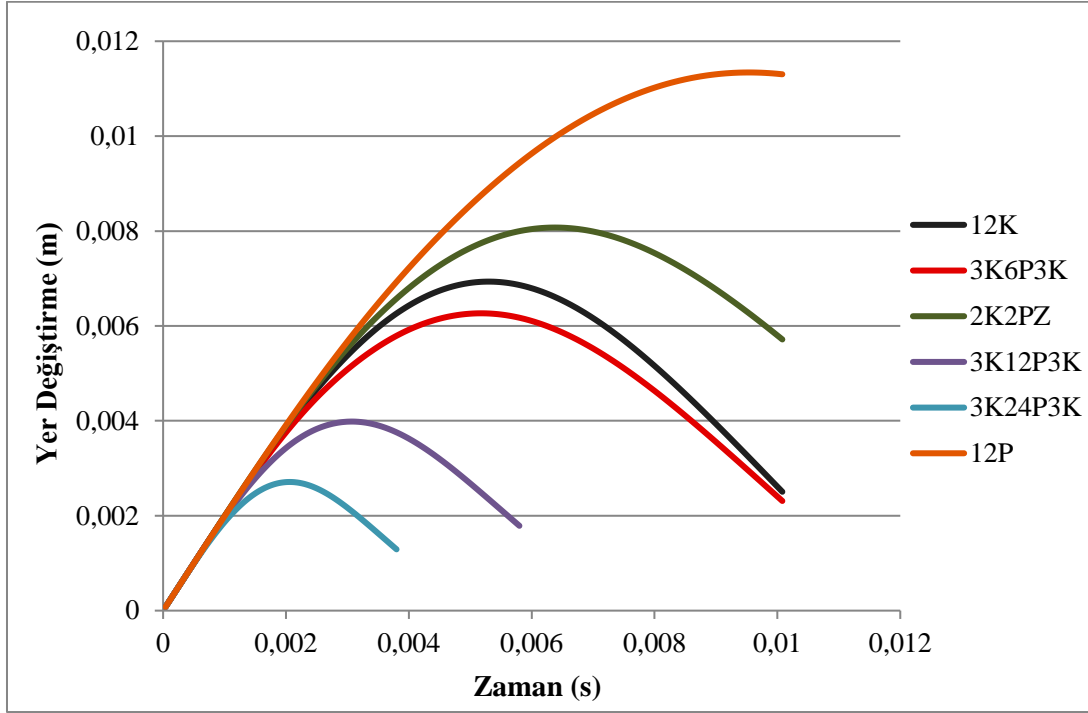


Şekil 4.11. Kuvvet- yer değiştirme grafiği 3 m/s çarpma hızı için

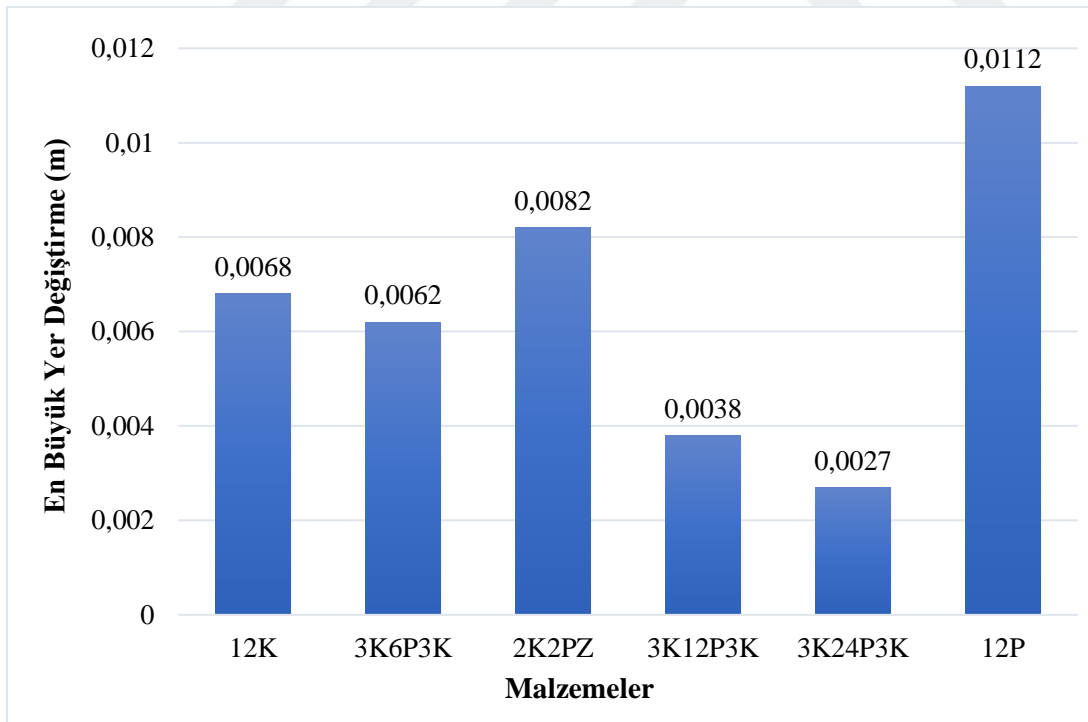
Şekil 4.11'de verilen kuvvet- yer değiştirme grafiği incelendiğinde artan enerji seviyesiyle birlikte kuvvet ve yer değiştirme değerlerinde artış görülmüştür. En fazla yer değiştirme miktarı 12P numunesinde görülmüştür. Karbon elyaf takviyesi ve artan kat oranı yer değiştirme miktarını azaltmıştır. Bu durumda rijitlik arttıkça kuvvet artmış ve kompozit tabakaların sehim (ökme) miktarı azalmıştır.

Kuvvet- yer değiştirme grafikleri 2 m/s ve 3 m/s darbe enerji değerleri için karşılaştırıldığında artan enerji seviyesinin değerleri arttırdığını fakat malzemelerin kendi aralarında paralel sonuçlar gösterdiği elde edilmiştir.

Şekil 4.12'de grafikte, 2 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testinin, uygulanan kuvvetlere bağlı olarak numunelerin üzerinde oluşan yer değiştirmelerin zamana göre değişimi tüm malzeme türleri için verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.13'de 2 m/s çarpma hızı için her bir malzeme türüne ait en büyük yer değiştirme değerleri verilmiştir.



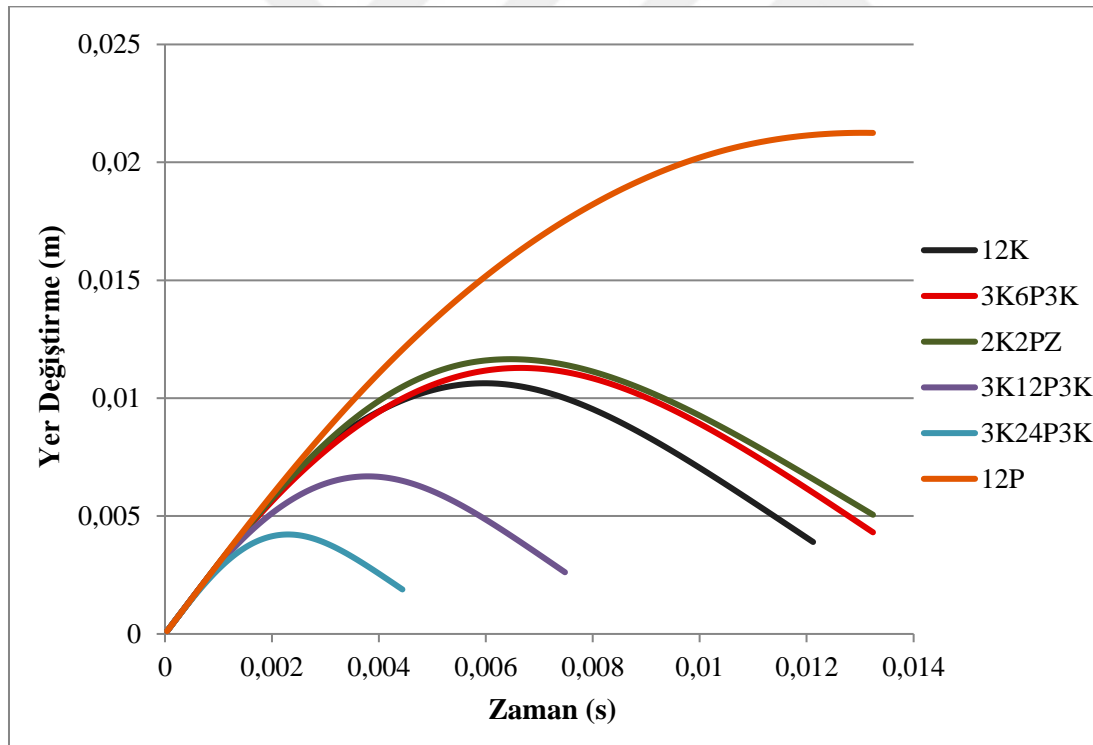
Şekil 4.12. Yer değiştirme-zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için



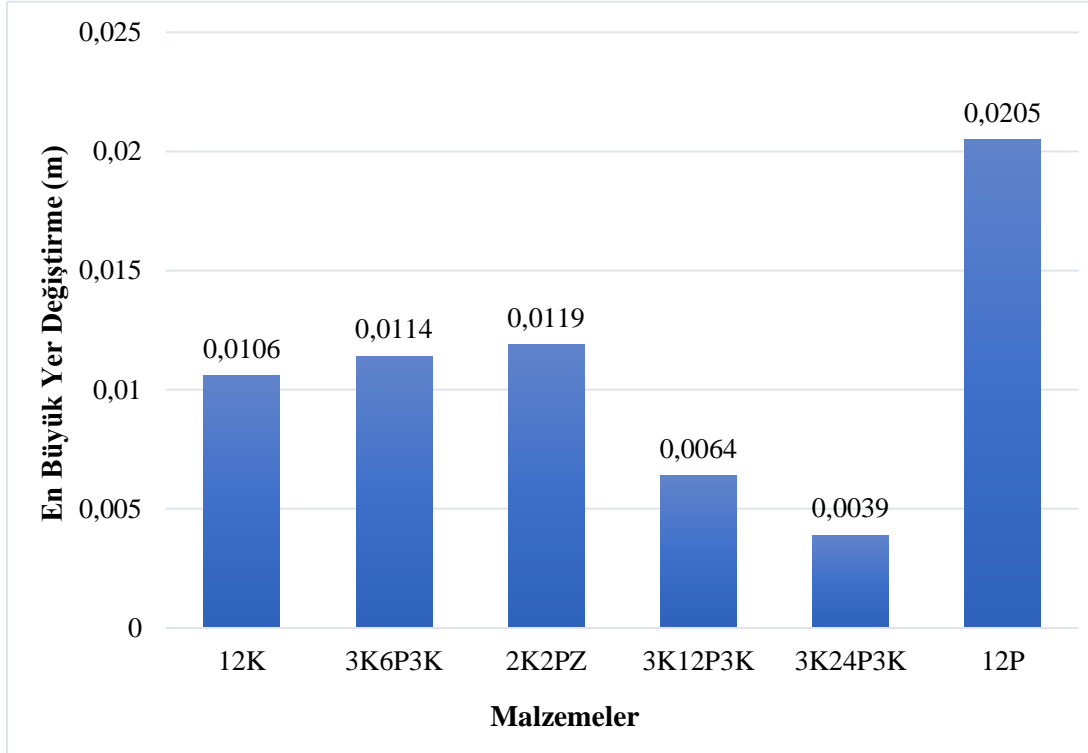
Şekil 4.13. En büyük yer değiştirme sonuçları 2 m/s çarpma hızı için

Grafikler incelendiğinde en yüksek sehimin saf pamuk kompozit malzemede olduğu, hibrit kompozitlerden 3K6P3K ve 2K2PZ numunelerinin karbon kumaşın rijit yapısından dolayı saf karbon kompozite daha yakın bir davranış sergilediği görülmüştür. Artan kat oranıyla birlikte 3K6P3K, 3K12P3K ve 3K24P3K numunelerinde daha az yer değişimi elde edilmiştir. Kısmen daha rijit davranan numunelerde (karbon kumaş içerikli) gözle görülür bir kalıcı deformasyon görülmezken özellikle 12P numunelerinde gözle görülür kalıcı deformasyonlar görülmüştür. Bu da 12P numunelerinde kalınlık artışı ve tabakalar arası ayrılma (delaminasyon) hasarına işaret etmektedir.

Şekil 4.14'te grafikte, 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testinin, uygulanan kuvvetlere bağlı olarak numunelerin üzerinde oluşan yer değiştirmelerin zamana göre değişimi tüm malzeme türleri için verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.15'te 3 m/s çarpma hızı için her bir malzeme türüne ait en büyük yer değiştirme değerleri verilmiştir.



Şekil 4.14. Yer değiştirme-zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için

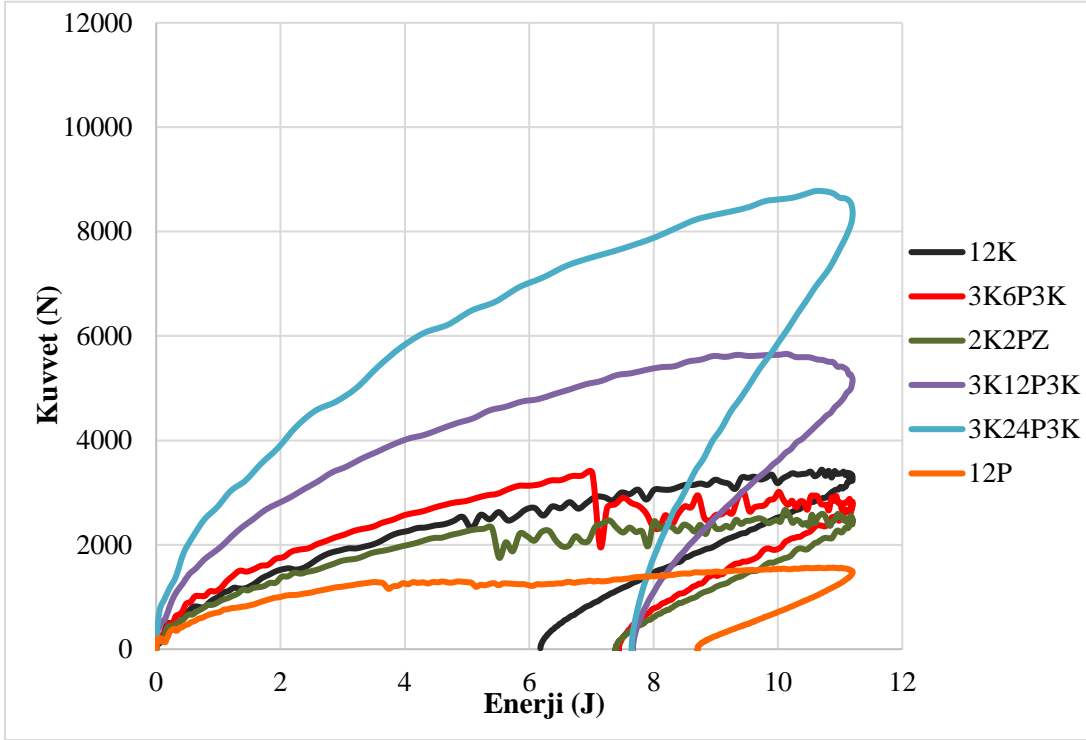


Şekil 4.15. En büyük yer değiştirme sonuçları 3 m/s çarpma hızı için

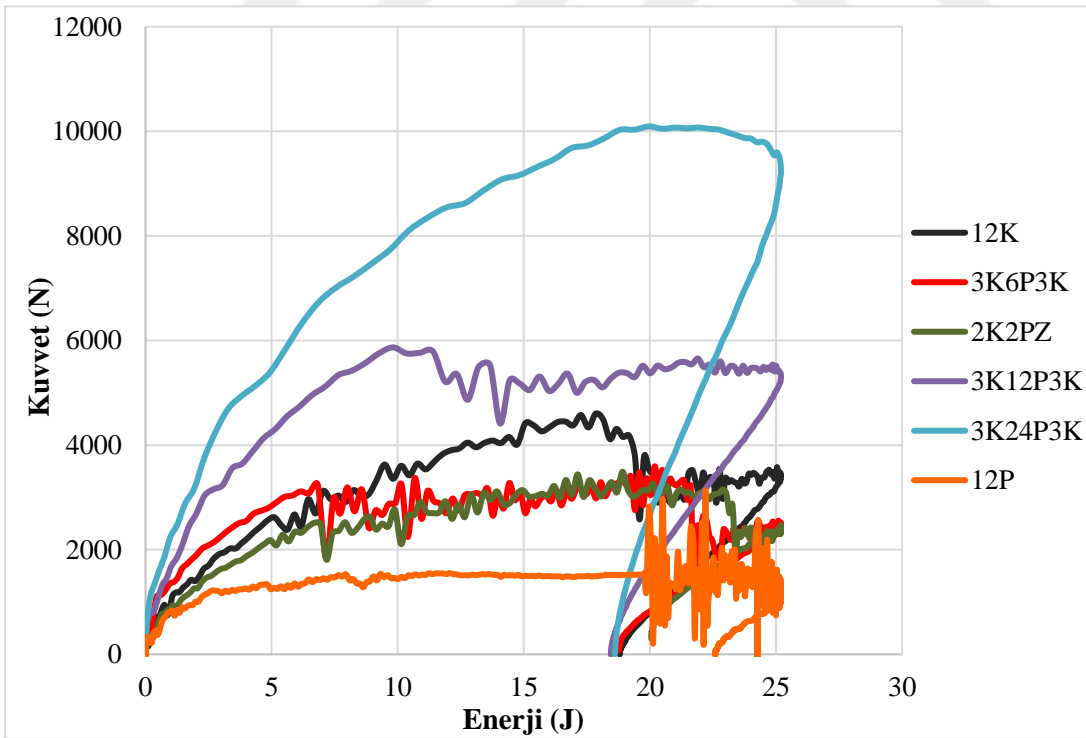
Grafikler incelendiğinde 3 m/s enerji seviyesi için en yüksek sehimin saf pamuk kompozit malzemede olduğu, hibrit kompozitlerden 3K6P3K ve 2K2PZ numunelerinin karbon kumaşın rijit yapısından dolayı saf karbon kompozite daha yakın bir davranış sergilediğini ve artan kat oranının 3K6P3K, 3K12P3K ve 3K24P3K numunelerinde yer değiştirme miktarını düşürdüğünü en büyük yer değiştirme sonuçlarında da net bir şekilde göstermektedir.

Yer değiştirme- zaman ve en büyük yer değiştirme değerleri 2 m/s ve 3 m/s darbe enerji değerleri için kıyaslandığında artan düşük hızlı darbe enerjisinin bu değerleri arttırdığını ama malzemelerin kendi aralarında paralel sonuçlar gösterdiği elde edilmiştir.

Şekil 4.16'da 2 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen ve Şekil 4.17'de 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait, numunelere uygulanan kuvvet altında ki enerji dağılımları tüm malzeme türleri için verilmiştir.



Şekil 4.16. Kuvvet- enerji grafiği 2 m/s çarpma hızı için

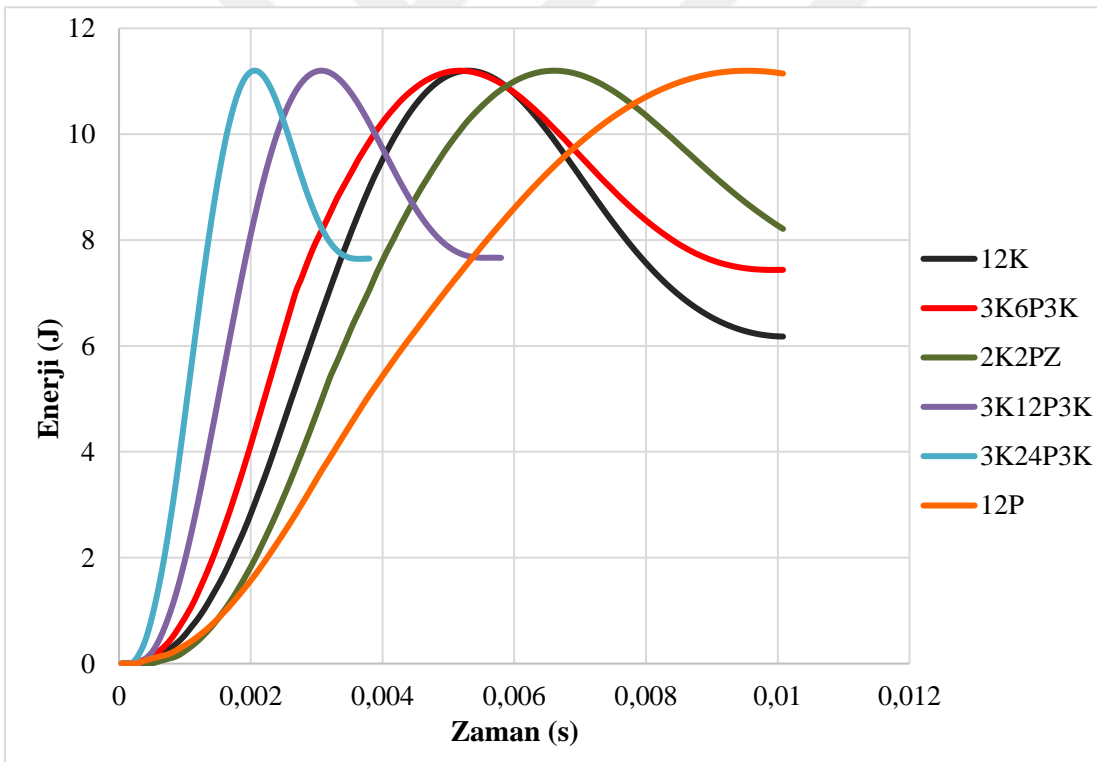


Şekil 4.17. Kuvvet- enerji grafiği 3 m/s çarpma hızı için

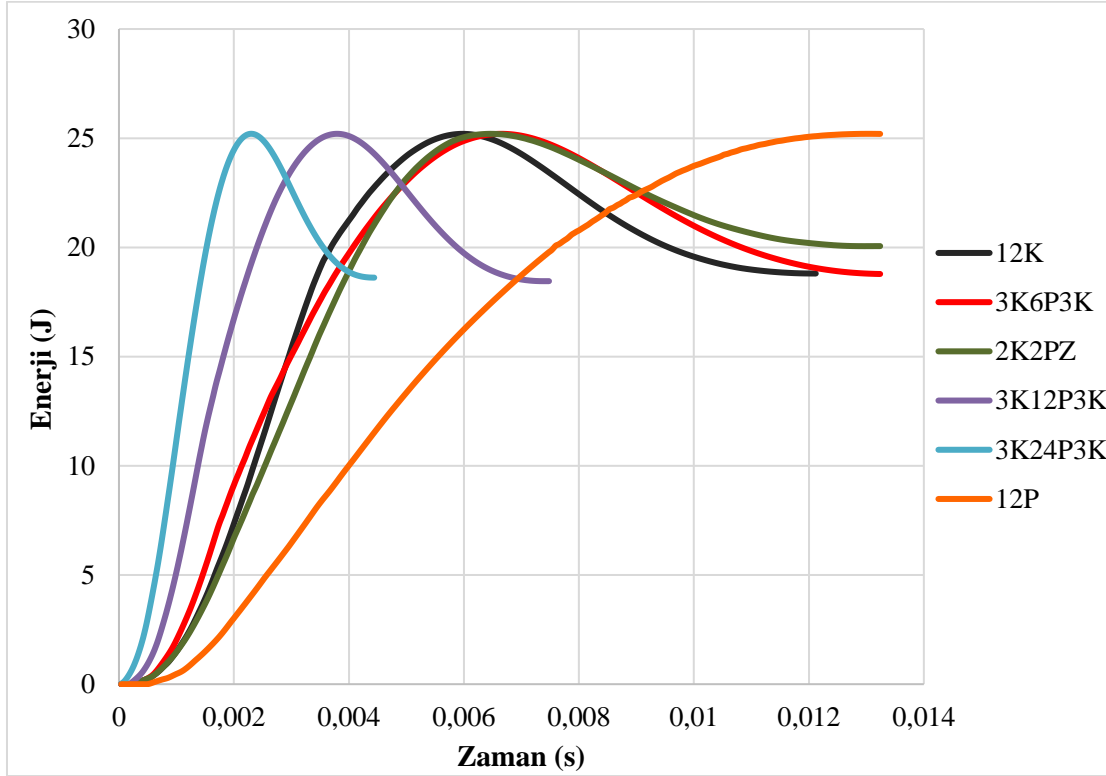
Düşük hızlı darbe testinde enerji, belirli bir ağırlığa sahip vurucu ucun belirli bir yükseklikten bırakılmasıyla elde edilen potansiyel enerjiden sağlanır. Vurucu ucun belirlenen yükseklikten serbest bırakılmasıyla potansiyel enerji dönüşümü gerçekleşir ve vurucu uç belirlenen hızda cihaza sabitlenmiş numuneye çarpar. Vurucu ucun serbest bırakıldığı andan darbe sonuçlanıncaya kadar geçen süre zarfında enerjide kayıplar yaşanır ve absorbe edilen miktarlarda değişimler meydana gelir [85-86].

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 kıyaslandığında artan darbe enerjisiyle birlikte kuvvet ve enerji değerleri artmış ve her bir malzeme türü için kendi aralarında paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 4.18'de 2 m/s çarpma hızıyla ve Şekil 4.19'da 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait, enerji- zaman grafiği tüm malzeme türleri için verilmiştir.



Şekil 4.18. Enerji- zaman grafiği 2 m/s çarpma hızı için

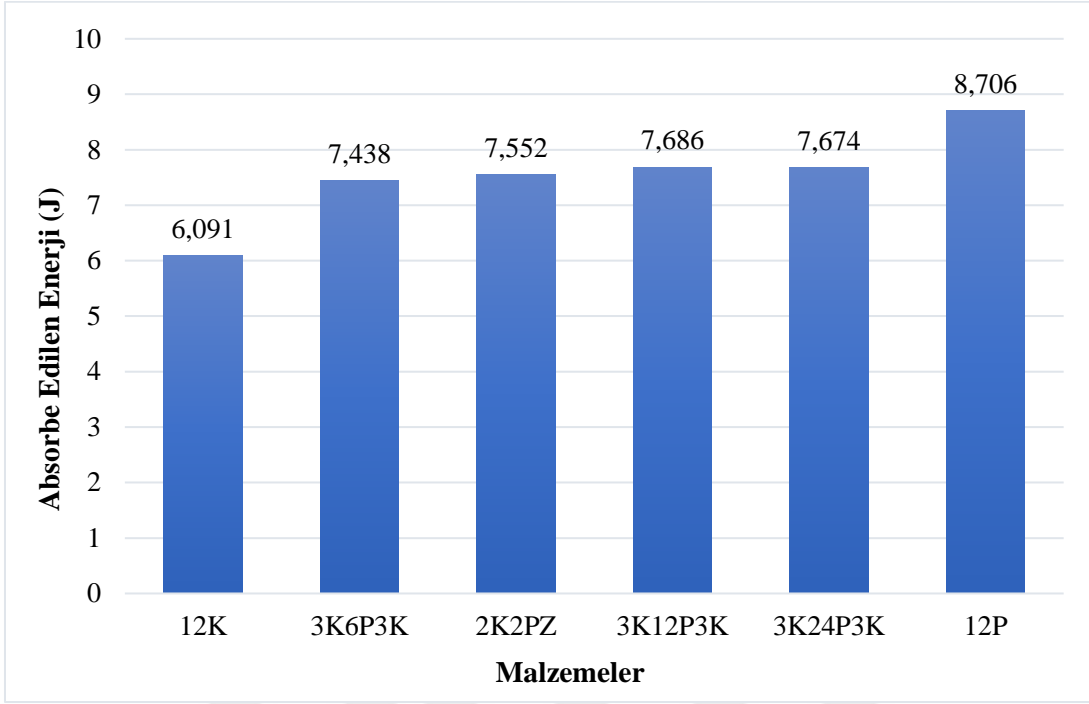


Şekil 4.19. Enerji- zaman grafiği 3 m/s çarpma hızı için

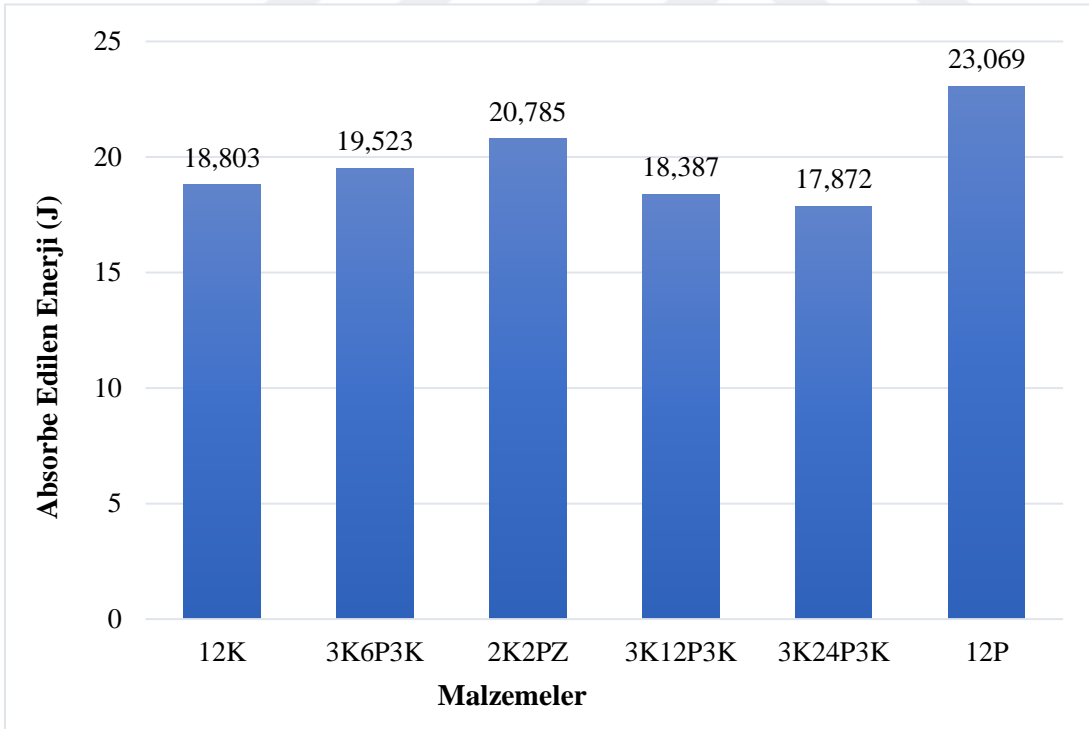
Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilen Enerji (J)- zaman (s) grafiklerinde, artan kat oranına bağlı olarak rijit bir karakter gösteren 3K24P3K numunelerinin darbe enerjisinin maksimum seviyesine daha kısa sürede ulaştığı, benzer şekilde 12P numunesinin sünek bir karakter göstermesi nedeniyle maksimum darbe enerjisine daha uzun bir sürede ulaştığı görülmektedir.

Verilen Enerji- zaman grafikleri 2 m/s ve 3 m/s çarpma hızı için kıyaslandığında malzemelerin kendi aralarında paralel sonuçlar gösterdiği ve bu sonuçların diğer tüm darbe sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

Şekil 4.20'de 2 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen ve Şekil 4.21'de 3 m/s çarpma hızıyla gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testine ait, numunelerin darbe esnasında absorbe ettiği enerji değerleri tüm malzeme türleri için verilmiştir.



Şekil 4.20. Absorbe edilen enerji grafiği 2 m/s çarpma hızı için



Şekil 4.21. Absorbe edilen enerji grafiği 3 m/s çarpma hızı için

Çarpma sonrasında absorbe edilen enerji, kuvvet- yer değiştirme eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır [84-85]. 2 m/s ve 3 m/s darbe enerji değerleri için absorbe edilen enerji

değerleri incelendiğinde, numune tarafından absorbe edilen enerji değerinin saf pamuk kompozitte diğerlerine oranla yüksek olması numunede oluşan hasarın da fazla olduğu anlamına gelmektedir. 2 m/s çarpma hızı için toplam enerji 11,2 J iken 12P numunesi için absorbe edilen enerji 8,706 J'dür. Böylece toplam enerjinin %77,73'ü absorbe edilmiştir. 3 m/s çarpma hızı için toplam enerji 25,2 J iken en yüksek absorbe edilen enerji 12P numunesi için 23,069 J'dür. Bu da toplam enerjinin %91,54'üne denk gelmektedir. Artan darbe enerjisiyle numuneler tarafından yutulan enerjinin de arttığı görülmektedir. Numune tarafından yutulan enerji miktarının artması numune de oluşan hasarında arttığını göstermektedir [86-87]. Bu sonuçlar başta gerilme-şekil değiştirme olmak üzere diğer sonuçlarla da uyumludur.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında karbon kumaş, pamuk kumaş ve 4 farklı hibrit (karbon kumaş+pamuk kumaş) biyokompozit olmak üzere 6 farklı malzeme üretimi elle yatırma ve vakum torbalama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çekme testi, çentik darbe (Charpy) testi ve düşük hızlı darbe testleri uygulanmış ve karbon/ pamuk kumaş takviyeli hibrit biyokompozit malzemelerin saf karbon kumaş ve saf pamuk kumaş referans numunelerine göre mekanik özellikleri kıyaslanmıştır.

Malzemelere uygulanan çekme testi ile çekme gerilmesi ve şekil değiştirme sonuçları, çentik darbe (Charpy) testi ile darbe dayanımları ve düşük hızlı darbe testi ile yer değiştirme (çökme, sehim), hasar ve absorbe edilen enerji sonuçları elde edilerek malzemelerin rijitlik, süneklik ve kırılabilirlik gibi özellikleri kıyaslanmıştır. Ayrıca çekme testi uygulanan 2K2PZ numunelerinin SEM cihazı ile yüzey görüntüleri incelenmiş ve numunelerde oluşan hasar ilerleme mekanizmaları tespit edilmiştir.

Tez çalışması sonucunda elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur.

- Malzeme üretimi elle yatırma ve vakum torbalama yöntemi birlikte kullanılarak hibrit bir üretim yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Böylece tabakalar arası ıslanma problemi en aza indirilmiştir.
- Gerilme- şekil değiştirme grafiği değerlendirildiğinde, saf pamuk (12P) numuneler beklendiği gibi oldukça sünek bir davranış göstermiştir. Ancak saf pamuk malzemelere takviye edilen karbon kumaşın rijit bir yapıya sahip olması nedeniyle hibrit biyokompozitlerin gevrek bir karakter gösterdiği ve akma gerilmesi değerleri arttığı belirlenmiştir ve hibrit biyokompozitlerin kendi aralarında kıyaslanmasıyla, 3K12P3K ile 3K24P3K numunelerinin 3K6P3K ile 2K2PZ numunelerinden daha yüksek akma noktasına sahip olduğu ve daha rijit davrandıkları tespit edilmiştir.
- Çekme gerilmesi sonuçlarına göre beklendiği gibi saf karbon ve saf pamuk numunelerin en yüksek ve en düşük gerilme değerlerine (642 MPa ve 59 MPa) sahip olduğu ve hibrit biyokompozitlerde gerilme değerleri büyükten küçüğe doğru 3K24P3K (470 MPa), 3K12P3K (447 MPa), 3K6P3K (440 MPa) ve 2K2PZ (433 MPa) olarak tespit edilmiştir.

- Çentik darbe (Charpy) testi sonuçlarından elde edilen darbe dayanımları karbon elyaf (12K) takviyeli kompozit numunelerin $72,856 \text{ kJ/m}^2$, saf pamuk elyaf (12P) takviyeli kompozit numunelerin $19,542 \text{ kJ/m}^2$ ve hibrit biyokompozit numunelerinin büyükten küçüğe doğru 3K6P3K ($44,15 \text{ kJ/m}^2$), 2K2PZ ($43,268 \text{ kJ/m}^2$), 3K12P3K ($34,12 \text{ kJ/m}^2$) ve 3K24P3K ($25,576 \text{ kJ/m}^2$) olarak belirlenmiştir. Saf pamuk elyafa takviye edilen karbon elyafın rijitlik ve darbe dayanım özellikleri sayesinde aynı yapı içerisinde kullanılmasıyla hibrit biyokompozit numunelerinin darbe dayanımları artmıştır.
- Düşük hızlı darbe testi sonuçlarına göre; 12P numunesinin geri sekme durumunun sıfıra yakın bir sonuç gösterdiği (kısmi saplanma) ve 12K, 3K6P3K, 2K2PZ, 3K12P3K ve 3K24P3K numunelerinde geri sekme durumunun olduğu tespit edilmiştir.
- Düşük hızlı darbe testinde 3 m/s darbe hızının 2 m/s darbe hızına kıyasla, darbe enerjisi yüksek olduğu için malzeme daha rijit davranmış ve daha yüksek ve en büyük kuvvet değerleri elde edilmiştir.
- SEM analizi sonuçlarına göre 2K2PZ numunelerinde elyaf kopması, elyaf sıyrılması (fiber pull out), delaminasyon ve fiber- matris ayrılması (debonding) hasar mekanizmaları gözlemlenmiştir.
- Üretilen bu yeni hibrit biyokompozit malzemeler karbon elyaftan daha düşük dayanım gerektiren yerlerde hem çevreye daha az zarar veren hem de maliyeti düşürmek adına farklı alanlarda kullanılabilir. Takviye edilen elyaf miktarı, kombinasyonu ve üretim yöntemleri malzemenin test sonuçlarını değiştirebildiğinden farklı üretim yöntemleri, farklı tabaka sayıları ve elyaf çeşitleri ile farklı partikül katkılarıyla (karbon nanotüp vb.) desteklenerek çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Liu, J., Yao, Y., Chen, S., Li, X., Zhang, Z. (2021). A new nanoparticle-reinforced silicone rubber composite integrating high strength and strong adhesion. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 151, 106645.
- [2] Şanlı, P. (2019). Farklı Oranlardaki Takviye Elemanlarıyla Katkılandırılmış Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.
- [3] Şahin, Y. (2000). Kompozit Malzemelere Giriş (1. Baskı). Gazi, Ankara.
- [4] Mazumdar, S.K. (2002). Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering. *CRC Press*, New York.
- [5] Rajesh M, Mahesha C.R. (2021). The Mechanical properties and tribological behavior of Ni coated carbon fibers reinforced with Al 7075 metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*.
- [6] Sabır Emel, C. (2020). Yüzey Modifikasyonu Yapılmış İsirgan Otu Lifi Takviyeli Polyester Kompozit Üretimi ve Mekanik Özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 433-443.
- [7] Estrada, R. G., Santiuste, C., Barbero, E. (2021). Failure Maps of Biocomposites Mechanical Joints Reinforced With Natural Fibres. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100159.
- [8] Yılmaz S., Yapıcı A., Tatar Ahmet C., Şahin Ömer S. (2019). Pamuk Elyaf Takviyeli Biyokompozit Malzemelerin Düşük Hızlı Darbe Davranışının İncelenmesi. *Gaziantep 6th International Multidisciplinary Studies Congress*, 1, 227-233, Gaziantep.
- [9] Ayan, M.Ç., Kiriş, S., Yapıcı, A., Karaaslan, M., Akgöl, O., Altıntaş, O., Ünal, E. (2020), Investigation of cotton fabric composites as a natural radar- absorbing material. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92 (8), 1275-1280.
- [10] Eryıldız, E., Akdoğan Eker, A. (2015). Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2, 8-12.
- [11] Özkan, V., Yapıcı, A., Karaaslan, M., Akgöl, O. (2020). Electromagnetic Scattering Properties of MWCNTs/Graphene Doped Epoxy Layered with PVC Nanofiber/E-Glass Composites. *Journal of Electronic Materials*, 49(3), 2249-2256.
- [12] Ceritbinmez, F., Yapıcı, A., Kanca, E. (2021). The Effect of Nanoparticle Additive On Surface Milling In Glass Fiber Reinforced Composite Structures. *Polymers and Polymer Composites*, 29 (9), 575-585.
- [13] Aydın Raci, M., Acar, V., Yapıcı, F., Yıldız, K., Topcu Vefa, M., Gündoğdu, Ö. (2018). Inter-ply Hibrit Kompozit Yapılarda Elyaf Diziliş Sıralamasının Mekanik ve Dinamik Özelliklere Etkisi. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.*, 8(3), 255-263.

- [14] N. M. Nurazzi, M. R. M. Asyraf, S. Fatimah Athiyah, S. S. Shazleen, S. Ayu Rafiqah, M. M. Harussani, S. H. Kamarudin, M. R. Razman, M. Rahmah, E. S. Zainudin, R. A. Ilyas, H. A. Aisyah, M. N. F. Norrahim, N. Abdullah, S. M. Sapuan, A. Khalina. (2021). A Review on Mechanical Performance of Hybrid Natural Fiber Polymer Composites for Structural Applications. *Polymers*, 13(13), 2170.
- [15] Doan, T.T.L., Brodowsky, H. ve Mader, E. (2007). Jute Fibre/Polypropylene Composites II. Thermal, Hydrothermal and Dynamic Mechanical Behaviour. *Composites Science and Technology*, 67, 2707-2714.
- [16] Utrera-Barrios, S., Perera, R., León, N., Santana, M. H., Martínez, N. (2021). Reinforcement of Natural Rubber Using A Novel Combination of Conventional and In Situ Generated Fillers, *Composites Part C: Open Access*, 5, 100133.
- [17] Mochane, M. J., Mokhena, T. C., Mokhothu, T. H., Mtibe, A., Sadiku, E. R., Ray, S. S., Ibrahim, I. D., Daramola, O. O. (2019). Recent Progress On Natural Fiber Hybrid Composites For Advanced Applications: A Review. *eXPRESS Polymer Letters*, 13 (2), 159-198.
- [18] Güğül, H. (2018). Karbon Nanotüp ve Cam Elyaf Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- [19] Ratna Prasad, A. V., Mohana Rao, K. (2011). Mechanical Properties of Natural Fibre Reinforced Polyester Composites: Jowar, Sisal and Bamboo. *Materials & Design*, 32 (8–9), 4658-4663.
- [20] Sabinesh, S., Thomas Renald, C. J., Sathish S. (2014). Investigation on Tensile and Flexural Properties of Cotton Fiber Reinforced Isophthallic Polyester Composites. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2, 213–219.
- [21] Alomayri, T., Shaikh, F. U. A., Low, I. M. (2014). Effect of Fabric Orientation On Mechanical Properties of Cotton Fabric Reinforced Geopolymer Composites. *Materials & Design*, 57, 360-365.
- [22] Ismail, A. E., Che Abdul Aziz, M. A. (2015). Tensile Strength of Woven Yarn Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composites. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 9, 1695-1704.
- [23] Bisaria, H., Gupta, M. K., Shandilya, P., Srivastava, R. K. (2015). Effect of Fibre Length on Mechanical Properties of Randomly Oriented Short Jute Fibre Reinforced Epoxy Composite. *Materials Today: Proceedings*, 2 (4–5), 1193-1199.
- [24] Ghazilan Ahmad, A. L., Mokhtar, H., Shaik Dawood, M. S. I., Aminanda, Y., Mohamed Ali, J. S., (2017). Tensile Mechanical Property of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Reinforced Epoxy Composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 184, 012046.
- [25] Mohan, K., Rajmohan, T. (2017). Fabrication and Characterization of MWCNT Filled Hybrid Natural Fiber Composites. *Journal of Natural Fibers*, 14 (6), 864-874.

- [26] Sathishkumar, T.P., Naveen, J., Navaneethakrishnan, P., Satheeshkumar, S., Rajini, N. (2017). Characterization of Sisal/Cotton Fibre Woven Mat Reinforced Polymer Hybrid Composites. *Journal of Industrial Textiles*, 47, 429- 452.
- [27] Tafur, C.L., Mora, E.E., Baracaldo, R.R. (2018). Effects of the Vacuum Moulding Process on the Mechanical Properties of Cotton/Epoxy Composite. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 26, 3(129), 93-97.
- [28] Rohen, L. A., Neves, A. C. C., dos Santos, J. L., Nascimento, L. F. C., Monteiro, S. N., de Assis, F. S., Simonassi, N. T., & da Silva, L. C. (2018). Comparative Analysis of the Tensile Properties of Polyester and Epoxy Composites Reinforced with Hemp Fibers. *In Materials Science Forum*, 930, 201–206.
- [29] Chaudhary, V., Bajpai, P. K., Maheshwari, S. (2018). Studies on Mechanical and Morphological Characterization of Developed Jute/Hemp/Flax Reinforced Hybrid Composites for Structural Applications. *Journal of Natural Fibers*, 15 (1), 80-97.
- [30] Kocamış, U. Ö. (2019). Nonwoven Polyolofin ve Doğal Ketten/Jüt Takviyeli Hibrit Kompozitlerde İki Farklı Nonwoven Üretim Yönteminin Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [31] Hamdan, M., Siregar, J.P., Sapuan, S.M., Tezara, C., Hafizi, Z.M., Rejab, M.R., Bachtiar, D., Jamiluddin, J. (2019). Vibration Analysis of Hybrid-Reinforced Unsaturated Polyester Composites. *Unsaturated Polyester Resins*, 489-514.
- [32] Gunge, A., Koppad, P. G., Nagamadhu, M., Kivade, S. B., Murthy K. V. S. (2019). Study On Mechanical Properties of Alkali Treated Plain Woven Banana Fabric Reinforced Biodegradable Composites. *Composites Communications*, 13, 47-51.
- [33] Arukhamy, K., Subramani, S.P., Palaniappan, S.K., Sethuraman, B., Kaliyannan, G.V. (2020). Study On Mechanical Characteristics of Woven Cotton/Bamboo Hybrid Reinforced Composite Laminates. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (1), 718-726.
- [34] Ribeiro, M. P., Neuba, L. D. M., Da Silveira, P. H. P. M., Da Luz, F. S., Figueiredo, A. B.-H. D. S., Monteiro, S. N., Moreira, M. O. (2021). Mechanical, Thermal and Ballistic Performance of Epoxy Composites Reinforced With Cannabis Sativa Hemp Fabric. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 221-233.
- [35] Silva, A. A., Domiciano, S. M., Medeiros, R. D., Costa, R. R., (2021). Flammability and Mechanical Behavior of Cotton Fiber Polymeric Composite Laminate With Polyurethane and Alumina Trihydrate. *Journal of Composite Materials*, 56 (4), 645-662.
- [36] Kamble, Z., Behera, B. K., Mishra, R., Behera, P. K., (2021). Influence of Cellulosic and Non-Cellulosic Particle Fillers On Mechanical, Dynamic Mechanical, and Thermogravimetric Properties of Waste Cotton Fibre Reinforced Green Composites. *Composites Part B: Engineering*, 207, 108595.
- [37] Gör, A. (2018). Elyaf Takviyeli Hibrit Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak.

- [38] Hashim, N., Majid, D. L. A., Baitab, D. M., Yidris, N., Zahari, R. (2019). Tensile Properties of Woven Intra-Ply Carbon/Kevlar Reinforced Epoxy Hybrid Composite at Sub-Ambient Temperature. *Encyclopedia of Materials: Composites*, 1, 766-773.
- [39] Nagaraja, K. C., Rajanna, S., Prakash, G. S., Koppad, P. G., Alipour, M. (2020). Studying the Effect of Different Carbon and Glass Fabric Stacking Sequence On Mechanical Properties of Epoxy Hybrid Composite Laminates, *Composites Communications*, 21, 100425.
- [40] Al-Nimer, K. N. M. (2021). Karbon – E Cam / Epoksi Hibrit Kompozitlerin Çekme Basma ve Darbe Özelliklerinin Sayısal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul.
- [41] Arthanarieswaran, V.P., Kumaravel, A., Kathirselvam, M. (2014). Evaluation of Mechanical Properties of Banana and Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composites: Influence of Glass Fiber Hybridization. *Materials & Design*, 64, 194-202.
- [42] Engin, K. E., Koyuncu, T., Lüle, F. (2015). Farklı Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Bazı Teknik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30 (1), 43-50.
- [43] Assarar, M., Zouari, W., Sabhi, H., Ayad, R., Berthelot, J. M. (2015). Evaluation of the Damping of Hybrid Carbon–Flax Reinforced Composites. *Composite Structures*, 132, 148-154.
- [44] Braga, R. A., Magalhaes, P. A. A. (2015). Analysis of the Mechanical and Thermal Properties of Jute and Glass Fiber As Reinforcement Epoxy Hybrid Composites. *Materials Science and Engineering: C*, 56, 269-273.
- [45] Can, S. (2016). Doğal/Sentetik Karma Kompozitlerin Çekme ve Eğilme Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [46] Sarasini, F., Tirillò, J., D'Altilia, S., Valente, T., Santulli, C., Touchard, F., Chocinski-Arnault, L., Mellier, D., Lampani, L., Gaudenzi, P. (2016). Damage Tolerance of Carbon/Flax Hybrid Composites Subjected To Low Velocity Impact. *Composites Part B: Engineering*, 91, 144-153.
- [47] Göz, S. (2016). Elyaf Dizilişinin Karma Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [48] Nisini, E., Santulli, C., Liverani, A. (2017). Mechanical and Impact Characterization of Hybrid Composite Laminates With Carbon, Basalt and Flax Fibres. *Composites Part B: Engineering*, 127, 92-99.
- [49] Ramana, M. V., Ramprasad, S. (2017). Experimental Investigation on Jute/Carbon Fibre reinforced Epoxy Based Hybrid Composites. *Materials Today: Proceedings*, 4 (8), 8654-8664.
- [50] Bachmann, J., Wiedemann, M., Wierach, P. (2018). Flexural Mechanical Properties of Hybrid Epoxy Composites Reinforced with Nonwoven Made of Flax Fibres and Recycled Carbon Fibres. *Aerospace*, 5 (4), 107.

- [51] Tse, B., Yu, X., Gong, H., Soutis, C. (2018). Flexural Properties of Wet-Laid Hybrid Nonwoven Recycled Carbon and Flax Fibre Composites in Poly-Lactic Acid Matrix, *Aerospace*, 5(4), 120.
- [52] Nor, A.F.M., Sultan, M.T.H., Hamdan, A., Azmi, A.M.R., Jayakrisna, K. (2018). Hybrid Composites Based On Kenaf, Jute, Fiberglass Woven Fabrics: Tensile And Impact Properties. *Materials Today: Proceedings*, 5 (5), 2, 11198-11207.
- [53] Reddy, M. I., Kumar, M. A., Raju, Ch. R. B. (2018). Tensile and Flexural properties of Jute, Pineapple leaf and Glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5 (1), 1, 458- 462.
- [54] Hassan, W. F. (2018). Investigation of the Mechanical Properties of Nano-Silica Particulate Jute/Glass Fiber Hybrid Composites. Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep.
- [55] Kureemun, U., Ravandi, M., Tran, L.Q.N., Teo, W.S., Tay, T.E., Lee, H.P. (2018). Effects of Hybridization and Hybrid Fibre Dispersion On The Mechanical Properties of Woven Flax-Carbon Epoxy At Low Carbon Fibre Volume Fractions. *Composites Part B: Engineering*, 134, 28-38.
- [56] Ayan, M. Ç. (2019). Pamuk Elyaf Takviyeli Biyokompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- [57] Al-Hajaj, Z., Sy, B.L., Bougherara, H., Zdero, R. (2019). Impact Properties of A New Hybrid Composite Material Made From Woven Carbon Fibres Plus Flax Fibres In An Epoxy Matrix. *Composite Structures*, 208, 346-356.
- [58] Shah, N., Fehrenbach, J., Ulven, C. A. (2019). Hybridization of Hemp Fiber and Recycled-Carbon Fiber in Polypropylene Composites. *Sustainability*, 11 (11), 3163.
- [59] Arusoğlu, T. (2019). Doğal Elyaf Takviyeli Termoset Polimer Hibrit Kompozitlerin Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [60] Yusuff, I., Sarifuddin, N., Norbahiyah, S., Ali, A. M., Ismail, H. (2020). Tensile and Flexural Properties of Woven Carbon-Kenaf Fiber Reinforced Epoxy Matrix Hybrid Composite: Effect of Hybridization and Stacking Sequences. *AIP Conference Proceedings*, 2267, 020026.
- [61] Karaçor, B. (2020). Otomobil İç Mekân Plastiklerinde Alternatif Olarak Doğal Fiber Takviyeli Hibrit Kompozit Malzemelerin Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [62] Singh, Y., Singh, J., Sharma, S., Lam, T.D., Nguyen, D.N. (2020). Fabrication and Characterization of Coir/Carbon-Fiber Reinforced Epoxy Based Hybrid Composite For Helmet Shells and Sports-Good Applications: Influence of Fiber Surface Modifications On the Mechanical, Thermal and Morphological Properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (6), 15593-15603.
- [63] Sujon, Md. A.S., Habib, M.A., Abedin, M.Z. (2020). Experimental Investigation of The Mechanical and Water Absorption Properties On Fiber Stacking Sequence and

Orientation of Jute/Carbon Epoxy Hybrid Composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (5), 10970-10981.

- [64] Ben Ameer, M., Mahi, A. E., Rebiere, J. L., Beyaoui, M., Abdennadher, M., Haddar, M. (2020). Experimental Fatigue Behavior of Carbon/Flax Hybrid Composites Under Tensile Loading. *Journal of Composite Materials*, 55 (5), 581-596.
- [65] Pinto, F., Boccarusso, L., De Fazio, D., Cuomo, S., Durante, M., Meo, M. (2020). Carbon/Hemp Bio-Hybrid Composites: Effects of The Stacking Sequence On Flexural, Damping and Impact Properties. *Composite Structures*, 242, 112148.
- [66] Islam, Md Z., Amiri, A., Ulven, C. A. (2021). Fatigue Behavior Comparison of Inter-Ply and Intra-Ply Hybrid Flax-Carbon Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites. *Journal of Composites Science*, 5(7), 184.
- [67] 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. *Polymer Testing*, 104, 107384.
- [68] Das, S. C., Paul, D., Grammatikos, S. A., Siddiquee, Md. 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. *Composite Structures*, 276, 114525.
- [69] Karaçor, B., Özcanlı, M. (2021). Different Curing Temperature Effects on Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber Reinforced Hybrid Composites. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 5 (4), 358-371.
- [70] Yılmaz, S., Yapıcı, A., Şahin, Ö. S., Coşkun, T. (2021). Investigation of Mechanical Properties of Carbon/ Cotton Fabric Reinforced Hybrid Biocomposites, *Republic Summit 5th International Applied Sciences Congress*, 17-28, Ankara.
- [71] Nayak, S., Jesthi, D.K., Saroj, S., Sadarang, J. (2022). Assessment of Impact and Hardness Property of Natural Fiber and Glass Fiber Hybrid Polymer Composite. *Materials Today: Proceedings*, 49 (2), 497-501.
- [72] Yaman, N., Öktem, T., Seventekin, N. (2007). Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2, 90-95.
- [73] Rahman, R., Zhafer Firdaus Syed Putra, S. (2019). 5- Tensile Properties of Natural and Synthetic Fiber-Reinforced Polymer Composites. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 81-102.
- [74] Liu, H., Yin, Y., Zhou, J., Yang, H., Guo, L., Peng, F., Qi, H. (2022). Fabrication of Durable Fluorescent and Hydrophobic Cotton Fabrics By Multiple Surface Modifications. *Industrial Crops and Products*, 175, 114238.
- [75] İnternet: Epoksi sistemler: Epoksi, HEXION MGS L160 Sistemi. URL: <https://dostkimya.com.tr/tr/urunler/epoksi-sistemler/-epoksi-hexion-mgs-l160-sistemi>, Son Erişim Tarihi:12.01.2022.
- [76] Ouarhim, W., Zari, N., Bouhfid, R., Qaiss, A. (2019). 3- Mechanical Performance of Natural Fibersebased Thermosetting Composites. *Mechanical and Physical Testing of*

Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 43-57.

- [77] Deniz, M.E. (2005). Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa, 2005.
- [78] Işık, A. (2008). Kompozit Malzemedен İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yükü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [79] Enşici, A. (2008). Endüstriyel Tasarımda Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 178, 6-15.
- [80] Saba, N., Jawaid, M. and Sultan, M.T.H. (2019). 1- An Overview of Mechanical and Physical Testing of Composite Materials. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 1-12.
- [81] Metin, M. (2008). E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerde Düşük Hızlı Darbe Hasarının Burkulma Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [82] Ouyang, T., Sun, W., Bao, R., Tan, R. (2021). Effects of Matrix Cracks On Delamination of Composite Laminates Subjected To Low-Velocity Impact. *Composite Structures*, 262, 113354.
- [83] Krishnan, P. (2019). 18- Evaluation and Methods of Interfacial Properties In Fiber-Reinforced Composites. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 343-385.
- [84] Sayer, M. (2009). Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- [85] Kara, M. (2012). Düşük Hızlı Darbe Sonrası Yama ile Tamir Edilmiş Filaman Sarım Ctp Boruların İç Basınç Altındaki Hasar Davranışı, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [86] Evcı, C. (2010). Seramik Kompozit Zırh Sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [87] Karaca, D. (2010). Farklı Kalınlık ve Oryantasyon Yüzdelerindeki Tabakalı Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Enerjileri Altında Davranışlarının Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

DİZİN

A

absorbe edilen enerji · 30, 53, 55
alkali işlemi · 7
ananas yaprağı · 13

B

bambu · 3, 7, 19
bazalt · 12
biyokompozit · iv, 1, 2, 14, 34, 38, 40, 55, 56

C

cam elyaf · 10, 11, 13, 14, 15, 18

Ç

çarpma hızı · 43, 46, 48, 52
çekme gerilmesi · x, 27, 33, 34, 38, 55
çekme mukavemeti · 5, 6, 10, 12
çekme testi · iv, 2, 5, 8, 9, 16, 18, 20, 27, 31, 32, 34, 55
çentik darbe (Charpy) testi · iv, 2, 18, 20, 27, 55

D

darbe enerjisi · 17, 56
darbe mukavemeti · 8, 12, 14
delaminasyon · iv, 30, 37, 56
doğal elyaf · 3, 6, 8, 15, 16, 17
Düşük hızlı darbe testi · 30, 40, 56

E

eğilme modülü · 12, 18
elle yatırma yöntemi · iv, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 18, 19, 20,
23, 24, 55

enjeksiyon kalıplama · 15, 23
epoksi · iv, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
18, 20, 22, 23, 62

G

geri dönüştürülmüş karbon lifi · 12, 15
geri sekme · 43, 44, 56
gerilme modülü · 18
gerilme mukavemeti · 8
gerilme ve şekil değiştirme · 33
gevrek · 33, 55
grafen oksit · 8

H

hibrit · iv, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
17, 18, 19, 20, 23, 24, 33, 37, 38, 40, 41, 45, 48, 49,
55, 56
hindistan cevizi lifi · 16

İ

izod darbe · 7

J

jüt · 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19

K

karbon elyaf · xi, 3, 8, 12, 14, 16, 17, 20, 21, 24, 34, 38,
40, 56
kenaf · 4, 13, 15
kenevir · 1, 3, 6, 7, 8, 15, 17
keten lifi · 10, 12
keklar · 1, 3, 9
kürleme · 13

M

mukavemet · 1, 3, 4, 5, 8, 9, 14, 19, 20, 21, 34, 38

P

Pamuk Elyaf · 21, 57, 61

polipropilen · 6, 15

poliüretan · 8

polyester · 3, 4, 5, 6, 7, 18

R

rijit · iv, 33, 40, 41, 48, 49, 52, 55, 56

S

SEM · iv, v, xi, 2, 5, 8, 16, 20, 31, 32, 34, 35, 36, 37,
55, 56

Sentetik elyaf · 8

sisal · 1, 3, 5, 10

soyma kumaşı · xi, 23, 24

sönümlene · 5, 7, 10, 17

spiral hortum · 24

sünek · 33, 38, 40, 45, 52, 55

V

vakum battanisi · xi, 24

Vakum destekli reçine infüzyon · 9, 16

vakum filesi · 24

vakum hortumu · 24

vakum pompası · 24

vakum torbalama yöntemi · iv, 2, 5, 8, 12, 18, 20, 23,
24, 55

vakum torbası · xi, 23, 24

Y

yer değiştirme · x, 45, 46, 49, 53

yorulma · 9, 17, 20



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

