

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARBON –BAZALT HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
DİZİLİŞ SIRASININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Müh. Ertuğrul Gazi KAYMAZ

TEMMUZ 2016

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME HÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARBON -BAZALT HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE DİZİLİŞ
SIRASININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ertuğrul Gazi KAYMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"METALURJİ VE MALZEME YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 / 06 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 19 / 07 / 2016

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Mustafa ASLAN

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda
Ertuğrul Gazi KAYMAZ Tarafından Hazırlanan**

**KARBON-BAZALT HİBRİT KÖMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE DİZİLİŞ
SIRASININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 06 / 2016 gün ve 1659 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ümit ALVER

Üye : Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ASLAN



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Kompozit malzemeler gelişen teknolojiyle beraber hayatımızda ciddi yer almaya başlamışlardır. Metal, polimer ve seramik malzemelerin yeterli olmadığı durumlarda devreye kompozit malzemeler girmiştir. Akma dayanımı, elastik modülü, kırılma tokluğu, yoğunluk ve yüksek sıcaklıklara dayanma gibi özellikleri yüksek olan kompozit malzemeler bugün otomotiv sanayi, uçak sanayi, uzay sanayi gibi birçok alanda metal polimer ve seramik malzemelerin yerini almıştır.

El yatırma yöntemi kompozit malzeme üretim yöntemlerinin içinde maliyet olarak düşük fakat üretim yöntemi olarak en hızlı ve çok yönlü geniş üretim aralığına sahip üretim yöntemidir. El yatırma yönteminin gelişen teknoloji ile bugün uygulama alanları kısıtlanmış olsa da üretim yöntemleri içerisinde çabuk sonuç alınabilen bir yöntemdir. Hibrit kompozit malzemeler gelişen kompozit malzeme teknolojisi içerisinde üretilen malzemelerden daha iyi sonuçlar elde etmek adına farklı iki kompozit malzemenin biraraya getirilerek yeni bir kompozit malzeme üretilmesidir. Bu çalışmada dokuma tipi karbon elyafların dokuma tipi bazalt elyaflarla el yatırma yöntemiyle üretilmesinde diziliş sırasının kompozitin mekanik özelliklerine etkisi ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Üretilen malzemelerin çekme, eğilme ve darbe deneyi sonucunda verilerinin incelenip karşılaştırılması da bu çalışmada yer almaktadır.

Bu çalışma boyunca bana yol gösteren danışman hocam Yrd.Doç.Dr Sayın Mustafa ASLAN'a bir teşekkürü borç bilirim. Ayrıca bu çalışma boyunca benden desteğini esirgemeyen Arş.Gör.Hüseyin İPEK, Arş.Gör.Sefa Emre SÜNBÜL, Arş.Gör Murat EROĞLU, Arş.Gör Kürşat İCİN, değerli arkadaşlarım Abdurrahim METOĞLU, Deha Emre KANAR, Hasan KARABACAK, Murat KAYA, Ömer ŞAHİN, öğrenci arkadaşlarım Merve AKDOĞAN Ve Gamze AYDIN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca bana her zaman destek olan manevi ablalarım Semre KARAHASANOĞLU ŞEN ve Ayşe BAYRAKTAR'a teşekkürü borç bilirim. Her daim yanımda olup bana maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve tüm sevdiklerime sonsuz teşekkür ederim.

Ertuğrul Gazi KAYMAZ

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Karbon-Bazalt Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Diziliş Sırasının Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd.Doç.Dr.Mustafa ASLAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 19/06/2016

Ertuğrul Gazi KAYMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. El Yatırma Yöntemi.....	5
1.3. Lifler	6
1.3.1. Doğal Lifler.....	6
1.3.2. Yapay Lifler.....	7
1.4. Karbon Lifleri.....	7
1.5. Bazalt Lifleri.....	14
1.6. Grafen.....	18
1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	33
2.1. Materyal.....	33
2.1.1. Elyaflar.....	33
2.1.1.1. Karbon Elyaf.....	33
2.1.1.2. Bazalt Elyaf.....	34
2.1.1.3. Polyester Reçine.....	35

2.1.1.4.	Vinil Ester Reçine	35
2.1.2.	Katkı Maddeleri.....	36
2.2.	Kompozit Numunlerin Üretimi	38
2.2.1.	Elyafların Hazırlanması.....	38
2.2.2.	Reçinenin Hazırlanması	38
2.2.3.	Kompozitlerin Üretimi	38
2.2.3.1.	El Yatırma Yöntemi.....	38
2.3.	Kompozitlerin Üretimi	39
2.3.1.	Polyester Reçine ile Numunelerin Hazırlanması	39
2.3.2.	Vinil Ester Reçineyle Numune Üretimi	40
2.4.	Araştırma Yöntemi.....	43
2.4.1.	Fiziksel Özellikler	43
2.4.1.1.	Birim Hacim Ağırlık(Yoğunluk).....	43
2.4.1.2.	Elyaf Hacim Oranı (V_f)	43
2.4.1.3.	Ağırlık Oranı (W_f).....	44
2.4.2.	Mekanik Özellikler	44
2.4.2.1.	Eğilme Deneyi	44
2.4.2.2.	Eğilme Modülü.....	45
2.4.2.3.	Çekme Deneyi	45
2.4.2.4.	Elastisite Modülü	45
2.4.2.5.	Darbe Deneyi	46
3.	BULGULAR.....	48
3.1.	Fiziksel özellikler.....	48
3.1.1.	Birim Hacim Ağırlık (Yoğunluk)	48
3.1.2.	Elyaf Hacim Oranı	49
3.1.3.	Ağırlık Oranı (W_f).....	50
3.2.	Mekanik Özellikler	51

3.2.1.	Eğilme Mukavemeti.....	51
3.2.2.	Eğilme Modülü.....	52
3.2.3.	Uzama Miktarı.....	53
3.2.4.	Çekme Mukavemeti.....	54
3.2.5.	Elastisite Modülü	55
3.2.6.	Yüzde Uzama.....	56
3.2.7.	Darbe Deneyinde Kırılma Enerjisi.....	57
3.3.	SEM Görüntüleri	58
4.	İRDELEME	62
4.1.	Fiziksel Özellikler	62
4.2.	Mekanik Özellikler	64
4.2.1.	Eğilme Mukavemeti.....	64
4.2.2.	Eğilme Modülü.....	69
4.2.3.	Uzama Miktarı.....	72
4.2.4.	Çekme Mukavemeti.....	75
4.2.5.	Elastisite Modülü	78
4.2.6.	Yüzde Uzama.....	80
4.2.7.	Darbe Deneyinde Kırılma Enerjisi.....	83
5.	SONUÇLAR.....	85
5.1.	Fiziksel Özellikler	85
5.2.	Birim Hacim Ağırlık.....	85
5.3.	Mekanik Özellikler	85
5.3.1.	Eğilme Mukavemeti.....	85
5.3.2.	Eğilme Modülü.....	86
5.3.3.	Uzama Miktarı.....	86
5.3.4.	Çekme Mukavemeti.....	86
5.3.5.	Elastisite Modülü	87

5.3.6. Yüzde Uzama.....	87
5.3.7. Kırılma Enerjisi.....	88
6. ÖNERİLER.....	89
7. KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KARBON –BAZALT HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
DİZİLİŞ SIRASININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ertuğrul Gazi KAYMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr Mustafa ASLAN

2016,91 Sayfa

Bu çalışmada el yatırma yöntemiyle üretilen karbon-bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin üretim sırasındaki diziliş sırasının kompozitin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. El yatırma yönteminde kullanılan reçinelerin değişmesinin kompozite kazandırdığı özellikler ve mukavemet özelliklerine yapmış olduğu etkiler incelenmiştir.

El yatırma yöntemi kullanılarak üretilen bu malzemeler 25x25 cm boyutlarında ve 3 cm kalınlıkta üretilmiştir. Üretim sırasında 40 bar basınç uygulanmış ve tahta kalıplar kullanılmıştır. Yapılan çalışmada reçine farkının etkisi de incelenmiştir.

El yatırma yöntemi kullanılarak toplamda 8 hibrit 8 düz numune üretilmiştir. Reçineler polyester reçine ve vinil ester reçinesi, sertleştiriciler ise MEKP ve kobalt kullanılmıştır.

Numuneler çekme, eğilme ve darbe deneyi olmak üzere 3 farklı deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda diziliş sırasının bu malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: El yatırma, kompozit üretimi, diziliş sırası, mekanik özellikler

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF EFFECT OF STACKING SEQUENCE ON THE MECHANICAL
PROPERTIES OF HYBRID COMPOSITES

Ertuğrul Gazi KAYMAZ

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Ass.Prof. Mustafa ASLAN

2016,91 Pages

In this study effect of the stacking sequence on mechanical properties of carbon-basalt reinforced composites are investigated. Also the effect of changing resin which used in hand lay-up process, on composites strength properties and what we gained to composites properties.

The composites are manufactured by hand lay-up process and dimensions are 25x25 cm and approximately 3-4 cm for thickness. Applied 40 bar pressure and used board molds. In this process effect of resin difference also investigated.

With this process 8 hybrid 8 regular specimen manufactured. Polyester and vinyl ester used as resins, methyl ethylketone peroxide and cobalt used as hardeners.

Tensile, flexural and impact tests applied on specimens. The effect on the mechanical properties of the material in line sequential order of the results obtained was investigated.

Keywords: Hand Lay-Up, Composites Manufacturing, Stacking Sequence, Mechanical Properties

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. El yatırma yönteminin şematik gösterimi	6
Şekil 2. (a) PAN esaslı karbon liflerin eksen yönündeki bir modeli, (b) Grafen düzlem	8
Şekil 3. PAN esaslı karbon lif görünümü.....	8
Şekil 4. Karbon lifin PAN ve ziftten üretim şeması.....	13
Şekil 5. Karbon liflerinin üretim şeması	13
Şekil 6. Bazalt, karbon ve cam liflerinin sıcaklık-çekme dayanımı değişimi	15
Şekil 7. Bazalt elyaf	17
Şekil 8. Grafenin TEM görüntüsü.....	18
Şekil 9. Polyester reçine ile numune üretimi	39
Şekil 10. Vinil ester reçineyle numune üretimi.....	40
Şekil 11. Eğilme deney düzeneği	44
Şekil 12. Çekme deney düzeneği	46
Şekil 13. Darbe deney düzeneği.....	46
Şekil 14. Darbe deneyi şematik gösterimi	47
Şekil 15. 10K10BP Hibrit numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, (a) 50x büyütme, (b) 100 x büyütme	58
Şekil 16. 10K10B%1 Grafen numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, (b) 100x büyütme, (b) 200x büyütme	58
Şekil 17. 14B6K V Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, 50 x büyütme	59
Şekil 18. 10K10BV %1 Grafen numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü	59
Şekil 19. 14B6K P Numunesinin Kırılma Yüzeyi SEM Görüntüsü, 50X Büyütme.....	59
Şekil 20. 20BV Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü	60
Şekil 21. 14K6B P Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, (a) 36 x büyütme, (b) 100x büyütme	60
Şekil 22. 14K6B V Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü,(a) 70 x büyütme, (b) 50 x büyütme	60
Şekil 23. 20KV Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü,(a) 39x büyütme, (b) 75x büyütme ..	61
Şekil 24. Karbon ve bazalt polyester numunelerin yoğunluk değerleri	62
Şekil 25. Polyester hibrit kompozit numuneler, karbon ve bazalt elyaf ile üretilmiş numuneler ve grafen katkılı hibrit numunelerin yoğunluklar değerleri	63
Şekil 26. Vinil ester hibrit kompozit numuneler, karbon ve bazalt elyaf ile üretilmiş numuneler ve grafen katkılı hibrit numunenin yoğunluk değerleri	63
Şekil 27. 10K10BP %1 Grafen numunesinin eğilme mukavemeti grafiği.....	64
Şekil 28. Karbon ve bazalt elyafla üretilen polyester numunelerin eğilme mukavemetleri.....	65

Şekil 29. Farklı reçineyle üretilmiş hibrit numunelerin eğilme mukavemeti değerleri.....	66
Şekil 30. Polyester reçineyle üretilmiş olan hibrit numunelerin, karbon ve bazalt elyaf ile üretilmiş numunelerin ve grafen eklenmiş hibrit numunelerin eğilme mukavemet değerleri	67
Şekil 31. Vinil ester ile üretilmiş numunelerin, karbon, bazalt elyaf ile üretilen ve grafen eklenerek üretilen numunelerin eğilme mukavemet değerleri.....	68
Şekil 32. Vinil Ester ve polyester reçineyle üretilen hibrit numunelerin eğilme modülü değerleri	69
Şekil 33. Polyester numunelerin eğilme modülü değerleri.	70
Şekil 34. Polyester reçineyle hazırlanmış olan numunelerin eğilme modülü değerleri	70
Şekil 35. Vinil ester reçine ile üretilmiş numunelerin eğilme modülü değerleri.....	71
Şekil 36. Polyester ve vinil esterle üretilen hibrit numunelerin uzama miktarları	72
Şekil 37. Polyester reçineyle üretilmiş olan karbon ve bazalt elyaf numunelerinin uzama miktarları.....	73
Şekil 38. Polyester reçineyle hazırlanmış hibrit ve tek elyafli numunelerin uzama miktarları.....	73
Şekil 39. Vinil ester ile üretilen hibrit ve tek elyafli numunelerin uzama miktarları	74
Şekil 40. 15BP vnumunesinin çekme grafiği	75
Şekil 41. Polyester reçineyle üretilmiş olan numunelerin çekme mukavemeti değerleri.....	75
Şekil 42. Polyester reçineyle üretilen tek elyafli numunelerin çekme mukavemeti değerleri	76
Şekil 43. Vinil ester reçineyle üretilen numunelerin çekme mukavemeti değerleri.....	77
Şekil 44. Polyester reçineyle üretilen tek elyafli ve hibrit numuneler	78
Şekil 45. Polyester reçineyle üretilmiş karbon ve bazalt numunelerin elastisite modülü değerler ..	79
Şekil 46. Vinil ester reçineyle üretilen hibrit ve tek elyafli numunelerin elastisite modülü değerleri	79
Şekil 47. Polyester reçineyle üretilen hibrit ve tek elyafli numunelerin yüzde uzama	80
Şekil 48. Polyester reçineyle üretilmiş tek elyafli numunelerin yüzde uzama değerleri.....	81
Şekil 49. Vinil ester reçineyle üretilen tek elyafli ve hibrit numunelerin yüzde uzama değerleri ...	82
Şekil 50. Polyester reçine ile üretilen tek elyafli numunelerin kırılma enerjisi	83
Şekil 51. Polyester reçine ile üretilmiş tek katlı ve hibrit numunelerin kırılma enerjileri	83
Şekil 52. Vinil ester reçineyle üretilen tek elyafli ve hibrit numunelerin kırılma enerjileri.....	84

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. PAN esaslı karbon liflerinin özellikleri	9
Tablo 2. Katran esaslı karbon liflerinin özellikleri.....	10
Tablo 3. Karbon liflerinin karakteristikleri ve uygulama alanları.....	11
Tablo 4. Karbon liflerinin ve grafitwhisker'lerin mekanik özellikleri	12
Tablo 5. Çeşitli hammaddelerden üretilmiş karbon liflerinin özellikleri	12
Tablo 6. Bazalt kayasının kimyasal bileşimi	14
Tablo 7. Bazalt elyafın mekanik özelliklerinin diğer elyaflarla karşılaştırılması	16
Tablo 8. Bazalt elyafın termal özellikleri	17
Tablo 9. Üretilen kompozitlerin elyaf konfigürasyonu	21
Tablo 10. CFRP, BFRP ve katmanlararası kompozitlerin eğilme özellikleri	21
Tablo 11. Karbon elyafın mekanik özellikleri.....	33
Tablo 12. Bazalt elyafın mekanik özellikleri	34
Tablo 13. Polyester reçinenin mekanik özellikleri	35
Tablo 14. Polyester reçinenin sıvı özellikleri	35
Tablo 15. Vinil Ester Reçinenin Sıvı Özellikleri	36
Tablo 16. Vinil ester reçinenin mekanik özellikleri	36
Tablo 17. Üretilen numunelerin katman sayısı ve kullanılan polimer türü.....	41
Tablo 18. Hibrit kompozitlerin diziliş sırası	42
Tablo 19. Numunelerin birim hacim ağırlıkları	48
Tablo 20. Numunelerin Elyaf Hacim Oranı	49
Tablo 21. Numunelerin ağırlık oranları.....	50
Tablo 22. Numunelerin eğilme mukavemetleri.....	51
Tablo 23. Numunelerin eğilme modülleri	52
Tablo 24. Numunelerin uzama miktarları	53
Tablo 25. Numunelerin çekme mukavemeti ve standart sapma değerleri.....	54
Tablo 26. Elastisite Modülü Ve Standart Sapma Değerleri	55
Tablo 27. Numunelerin Yüzde Uzama Değerler ve Standart Sapmaları.....	56
Tablo 28. Numunelerin Kırılma Enerjisi İle Standart Sapmaları	57

SEMBOLLER DİZİNİ

b	Örnek Kalınlığı
cm ³	Santimetreküp
d	Örnek Genişliği
F _{mak}	Maksimum Kuvvet
GPa	Giga Pascal
g	Gram
K	Kelvin derece
L	Çeneler Arası Uzaklık
m	Metre
Mpa	Mega Pascal
mm ²	Milimetrekare
n	Katman Sayısı
N	Newton
t	Numune Kalınlığı
V _f	Elyaf Hacim Oranı
W _f	Elyaf Ağırlık Oranı
ρ	Numune Yoğunluğu
μ	Mikron
Ω	Ohm
°C	Santigrat derece
ρ _L	Havanın Yoğunluğu
ρ ₀	Yardımcı Sıvının Yoğunluğu
σ _e	Eğilme Gerilmesi
Δε	Eğilme Miktarı(seğim)
σ _ç	Çekme Gerilmesi
σ	Gerilme
ε	Birim Uzama

10KP	10 Kat Karbon Polyester Numune
10BP	10 Kat Bazalt Polyester Numune
10KV	10 Kat Karbon Vinil Ester Numune
10BV	10 Kat Bazalt Vinil Ester Numune
10K10BP	10 Kat Karbon 10 Kat Bazalt Hibrit Polyester Numune
10K10BV	10 Kat Karbon 10 Kat Bazalt Hibrit Vinil Ester Numune
14K6BP	14 Kat Karbon 6 Kat Bazalt Polyester Numune
14B6KP	14 Kat Bazalt 6 Kat Karbon Polyester Numune
14K6BV	14 Kat Karbon 6 Kat Bazalt Vinil Ester Numune
14B6KV	14 Kat Bazalt 6 Kat Karbon Vinil Ester Numune

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kompozit malzemeler yeni gelişmekte olan bir alandır ve II. Dünya savaşı sırasında elde bulunan mevcut konvensiyonel malzemeler tek başına teknolojinin geldiği noktayı karşılayamamaya başlamış ve o zamandan bugüne kadar malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişletilerek devam etmiştir. Bu gelişmeler için en önemli güç unsuru olarak malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur. Bu sebepten dolayıdır ki spesifik uygulama alanlarında kullanılması önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu malzemelerin belirli bir kullanım alanı için üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması istendiğinden dolayı belli özel konfigürasyonda değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi yöntemiyle oluşturulan malzemeler olduklarından bu malzemelere çok fazlı malzemeler de denmektedir (Şahin, 2015)

Kompozit malzemeler temel olarak 2 fazdan oluşmaktadır. Genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış az oranda kullanılan tali faz olan takviye elemandan oluşmaktadır. Moleküler ve atomik düzeyde birleştirilen malzemeler ve alaşımlar kompozit malzeme değildir. Bir kompozit malzeme bünyesinde çekirdek denilen takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesini bulundurur. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, kılcal kristaller kullanılabilir. Temel fonksiyonlar gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferini sağlamayı sağlamak için elyaf-matrisi bir arada tutmak takviye elemanlarını dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır (Ünal, 2014)

Kompozit malzemelerin avantajlarından bahsetmek gerekirse (Şahin, 2015)

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Mükemmel aşınma direnci

- Yüksek sıcaklık kapasitesi
- İyi korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Düşük ağırlık
- Çekicilik ve estetik görünüm

Dezavantajları ise;

- Üretim güçlüğü
- Yüksek maliyet
- İşlenmesi güç, maliyet yüksek ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilememesi
- Geri dönüşümünün olmaması
- Kırılma uzamasının az oluşudur.

Mühendislik yapılarında yaygın olarak kullanılan farklı yapısal malzemeler vardır. Bunlar metaller, plastikler ve seramikler olmak üzere 3 grupta toplanır. Bu malzemelerin birbirlerine göre üstün yada zayıf özellikleri bulunmaktadır. Uygulama alanları dikkate alındığında bir malzemede aranan özellikler şunlardır:(Ünal, 2014)

- Akma dayanımı
- Elastiklik modülü
- Kırılma tokluğu
- Yoğunluk
- Yüksek sıcaklıklara dayanma direnci

Metal malzemeler orta ve yüksek yoğunluğa sahip ancak tokluk ve dayanım özellikleri en uygun olan malzemelerdir. Saf halde yumuşak ve dayanımı düşük ancak alaşımlama, soğuk biçimlendirme ve ısıl işleme dayanım ve sertlikleri artırılabilir. Kolay dökülerek veya plastik deformasyonla şekillendirilebilir ve karmaşık montajlarda kaynak, vida ile birleştirmeye elverişlidir.(Ünal, 2014)

Plastik malzemeler, yoğunlukları düşük ve karmaşık şekilli parçalar üretilmesi kolaydır. Birbirleriyle ve diğer malzemelerle birleştirilebilir olması yanında talaş kaldırma işlemlerinin kolay olması özellikleri arasındadır. Termal dayanımı düşük, çevresel etkilere karşı kullanımı tehlikeli ayrıca düşük mekanik özelliklere sahiptirler (Ünal, 2014).

Seramik malzemeler düşük yoğunluklu, çok dayanıklı ve sert olmasına karşın gevrekler, termal ve kimyasal etkilere dayanıklıdır. Ancak yüksek ergime noktaları ve sertlikleri işlenmesini zorlaştırır. Ayrıca elektriksel özellik olarak yalıtkan özellik gösterirler (Ünal, 2014).

3 ana grup yanında teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni malzeme geliştirme arayışı içine girilmiştir. Bu 3 ana grup malzemenin bir araya getirilmesiyle yeni bir malzeme grubu olarak kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır. Özellikle uçak, uzay ve otomotiv sanayisinde daha mukavemetli, elastik ve hafif olmaları nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahip olmuşlardır (Ünal, 2014).

Kompozit malzeme sektöründe en çok tercih edilen malzeme türü elyaf takviyeli kompozit malzemelerdir. Takviye elemanı olarak kullanılacak elyaflar doğal yada sentetik olmak üzere 2 gruptur. Doğal elyaflar direkt olarak doğada bulunan bitkilerden elde edilebildiğinde maliyet olarak düşük fakat aranan mekanik özellikler olarak istenileni verememektedir. Sentetik elyaflar ise genelde laboratuvar ortamında üretilmiş ve fabrikalarda dokuma, kırılmış ve ya sürekli elyaf haline getirildikten sonra üretime katılmıştır. Bu malzemeler ise maliyet olarak yüksektirler ve aynı ölçüde aranan mekanik özellikler açısından yüksek mekanik özellikler sağlamışlardır (Ünal, 2014).

Hibrit kompozitler, bir matris içinde iki ve ya daha fazla farklı türde lif kullanılarak üretilen malzemelerdir. Hibritler tek malzemeli kompozitlere göre daha fazla ve iyi özellik kombinasyonu sunmaktadır. Örneğin cam lifleri ile karbon liflerinin hibrit yapılarak darbe mukavemeti yüksek ve tamamen karbon veya tamamen cam takviyeli kompozitlerden daha düşük maliyetlidir. Temel uygulamaları; hafif kara, su ve hava taşımacılığı yapısal parçaları, spor eşyaları, hafif ve ortopedik elemanlardır (Şahin, 2015).

Kompozit malzeme üretim aşamasında genel olarak reçineler kullanılmaktadır. Bu reçinelerden en yaygın kullanım alanına sahip olanlar epoksi, polyester ve vinil ester reçinelerdir. Reçinenin kullanıma hazır hale gelmesi için katkı malzemesi olarak sertleştiriciler ve reaksiyon hızlandırıcı katalizörler kullanılmaktadır (Onat, 2015).

Üretim yöntemleri kompozit malzeme sektöründe ayrı bir öneme sahiptir. Kullanım matris malzemesine göre üretim yöntemleri de değişim göstermektedir. Metal matrisli kompozit malzeme üretim yöntemleri şöyledir (AKTAŞ, 2012).

I. Sıvı Faz Yöntemleri

- Erimiş Metali Emdirme Veya Presleme
- Erimiş Metale Takviyeyi Karıştırma
- Metal Püskürtme
- İn-situ Kompozitler

II. Katı Faz Yöntemleri

- Toz Metalürjisi
- Sıcak Presleme
- Haddeleme

III. Diğer Yöntemler

- Elektrolitik Yöntem
- Buhar Fazında Çöktürme

Plastik matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ;

- El yatırma yöntemi
- Püskürtme metodu
- Basma ve transfer kalıplama
 - I. Vakum torbası yöntemi
 - II. Otoklav yöntemi
 - III. Basınç torbası yöntemi

- Soğuk presleme
- Helisel sarma yöntemi
- Tabakalı birleştirme
- Enjeksiyon kalıplama
- Profil çekme metodu

Termoplastik reçineli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ;

- Enjeksiyon kalıplama
- Termo şekillendirme

Farklı takviye elemanlarının reçine kullanmak suretiyle bir araya getirilmesiyle üretilen kompozit malzemelere hibrit kompozit malzemeler adı verilir.

Bu çalışmada karbon elyaf ve bazalt elyaf kullanarak polyester ve vinil ester reçinelerle el yatırma yöntemiyle hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Bu kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine elyaflarının diziliş sırasının sabit sıcaklık ve basınç atmosferinde mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Yapılan tüm deneysel çalışmalar KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir.

1.2. El Yatırma Yöntemi

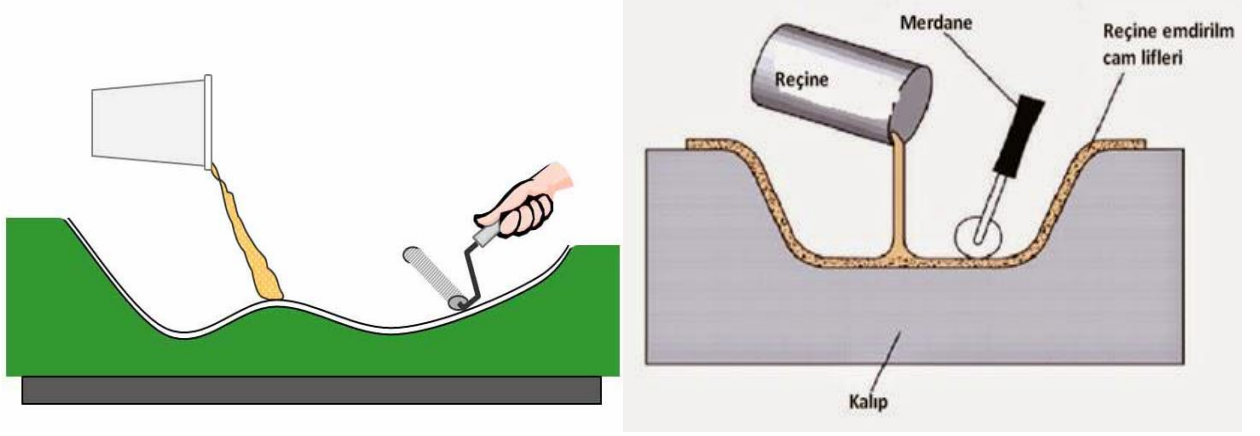
El yatırma yöntemi kompozit üretim yöntemleri arasında en basit olanıdır. Dokuma biçimli elyaf daha önceden hazırlanmış kalıp içerisine yerleştirilerek, matrisi oluşturan reçine fırça yada rulo yardımıyla elyafa kuru yer kalmayacak şekilde yedirilir. İstenilen katman sayısı kullanılabilir ve katman sayısına ulaşılan kadar bu işlem devam eder. Bu yöntemde en uygun reçineler epoksi ve polyester reçinelerdir. Reçinenin yüzeye yapışmaması için kalıp yüzeyine polivinil alkol, madeni yağlar ve vaks gibi kalıp ayırıcılar uygulanır. Elyaf hacim oranı %30a varan kompozitler yapılabilir. Daha fazlası için prepregler kullanılabilir ('URL-1', 2016)

Bu yöntemin avantajları;

- Ucuz maliyetli araçlar
- Çok yönlü üretim aralığı

Dezavantajları;

- Uzun süresi
- Fiber yönlümesine göre hava kabarcıkları kalabilir
- Tutarsızlık, uyumsuzluk



Şekil 1. El yatırma yönteminin şematik gösterimi ('URL-8', 2015)

1.3. Lifler

İnsanların hayatta kalmaları için beslenme dışında gereksinimleri vardır. Bunlardan birisi de korunmak ve örtünmektir. Bu amacı karşılamak için kumaş ve materyallerden faydalanırlar. İşte bu amaç doğrultusunda kullanılan her türlü kumaş ve materyaller elyaf adı verilen hammaddeden yapılmaktadır. Tekstilde daha çok kullanılan bu elyaflar terimi de liflerin bir araya gelerek oluşturdukları malzemedir (Başer, 2002)

Elyafaların kullanım alanlarına göre doğal ya da yapay olanları bulunmaktadır.

1.3.1. Doğal Lifler

Doğada lif olarak bulunan ve büyük çoğunluk olarak tekstil endüstrisinde kullanılan malzemeler bu grupta yer almaktadırlar. Bu lif türü maliyet olarak düşüktürler bulunması kolaydır fakat aranan mekanik özellikler bakımından ihtiyacı karşılayamamaktadırlar. 3 ana grupta toplanırlar (Başer, 2002).

- Bitkisel lifler
- Hayvansal lifler
- Doğal anorganik lifler

1.3.2. Yapay Lifler

Yapay lifler doğada bulunmayan laboratuvar ortamında fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek elde edilmiş olan liflerdir. Bu lifler doğal liflerin ihtiyaçları karşılayamaması sonucunda ortaya çıkmışlardır. Maliyet olarak yüksek olan sentetik lifler istenen mekanik özellikler açısından ise yüksek değerler sağlamışlardır. Yapay lifler de 3 grupta incelenir (Başer, 2002)

- Rejenere lifler
- Sentetik lifler
- Anorganik elyaf

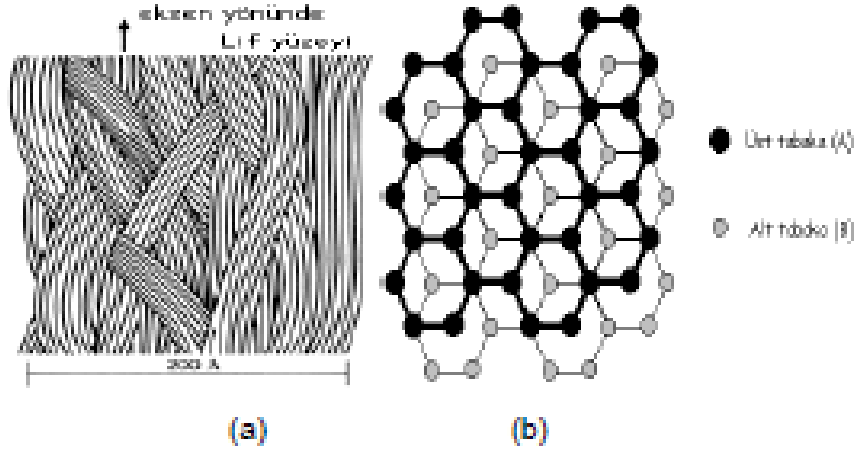
1.4. Karbon Lifleri

Karbon elyaf ileri teknoloji ürünü, ipliksi bir tür plastik maddedir. Karbon fiber yüksek sıcaklıkta ısı işlem uygulandığında karbonlaşan malzemelerdir. Karbon liflerinin üretiminde, organik kökenli hammaddelerin ısıtılması sonucunda karbon dışındaki diğer atomlar uzaklaşmakta ve böylece karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmektedir. Bu filamentlerin kristalizasyonunda sonra yüksek mukavemetli lifler elde edilmektedir ('URL-3', 2006)

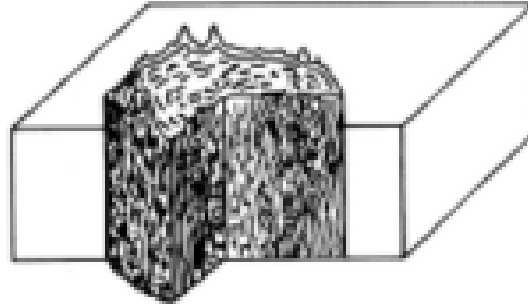
Poliakrilnitril liflerinden, bitkisel esaslı hammaddelerden, katran tortusu ve ziftten, polivinilden klorür veya polivinilden klorür kopolimerinden üretilen karbon liflerinin özelliklerini kullanılan ham maddeye, işlem sıcaklığına ve üretim aşamalarına bağlı olarak değişmektedir. Üretim koşullarına göre farklılık gösteren karbon liflerinin özellikleri ve kullanım alanları birbirinden farklı olmaktadır. Karbon liflerinin yoğunlukları kullanılan hammadde ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 1.6-2.2 g/cm³ arasında değişmektedir. Karbon lif üretiminde kullanılan hammadde yoğunluğu 1.14-1.19 g/cm³ arasında değişmektedir. Elde edilen lif modülündeki artış grafitizasyon sıcaklığının artışı ile artmaktadır ('URL-3', 2006)

Karbon liflerinden yapılmış kompozitler 1020 çelik konstrüksiyonlarda 5 kat daha dayanıklı ve 1/5 ağırlığındadır. Aynı şekilde 6061 alüminyum konstrüksiyonlarda 7 kat daha dayanıklı iken, 2 kat daha sert ve 1.5 kat daha hafiftir. Karbon liflerin yorulma

davranışı bilinen tüm metallerden daha iyidir. Uygun reçine ile kaplandığı zaman elde edilen kompozitin korozyona karşı dayanımı iyi olmaktadır. Katran esaslı karbon liflerin elektrik iletkenliği bakırdan 3 kat daha fazladır. Karbon lifleri kolaylıkla ergime durumuna gelmedikleri için yüksek sıcaklıklar olduğu uçak frenlerinde ve roketlerde kullanılmaktadır ('URL-3', 2006)



Şekil 2.(a) PAN esaslı karbon liflerin eksen yönündeki bir modeli, (b) Grafen düzlem ('URL-3', 2006)



Şekil 3.PAN esaslı karbon lif görünümü ('URL-3', 2006)

Tablo 1.PAN esaslı karbon liflerinin özellikleri ('URL-3', 2006)

Ticari			Uzay endüstrisi		
Özellik	Birim	Standart modül	Standart modül	Orta modül	Yüksek modül
Gerilme modülü	GPa	228	220-241	290-297	345-448
Gerilme dayanımı	MPa	380	3450-4830	3450-6200	3450-5520
Kopma uzaması	%	1,6	1,5-2,2	1,3-2,0	0,7-1,0
Elektriksel öz direnç	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	1650	1650	1450	900
Isıl iletkenliği	$\text{W/m} \cdot \text{K}$	20	20	20	50-80
Eksen yönünde elektriksel uzama katsayısı	$10^{-6} \cdot \text{K}$	-,04	-0,4	-0,55	-0,75
Yoğunluk	g/cm^3	1,8	1,8	1,8	1,9
Karbon içeriği	%	95	95	95	+99
Lif çapı	μm	6-8	6-8	5-6	5-8

Tablo 2.Katran esaslı karbon liflerinin özellikleri ('URL-3', 2006)

Özellik	Birim	Düşük modül	Yüksek modül	Ultra-yüksek modül
Gerilme modülü	GPa	170-241	380-620	690-965
Gerilme dayanımı	MPa	1380-3100	1900-2750	2410
Kopma uzaması	%	0,9	0,5	0,4-0,27
Elektriksel özdirenç	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	1300	900	220-130
Isıl iletkenliği	W/m*K	-----	-----	-----
Eksen yönünde elektriksel uzama katsayısı	$10^{-6} \cdot \text{K}$	-----	-----	-----
Yoğunluk	g/cm^3	1,9	2,0	2,2
Karbon içeriği	%	11	11	10

Tablo 3.Karbon liflerinin karakteristikleri ve uygulama alanları ('URL-3', 2006)

1.Fiziksel Dayanım,Özel Tokluk Ve Düşük Ağırlık	Uzay, Yol Ve Liman Yapımlarında, Spor Malzemelerinde
2 Yüksek Boyut Stabilitesi, Düşük Termal Uzama Katsayısı Ve Düşük Aşınma	Füze, Uçak Frenlerinde , Uzay Antenlerinde Ve Destek Yapılarda, Büyük Teleskoplarda
3. İyi Mukavemet	İşitsel Ekipmanlar, Hi-Fi Ekipmanları İçin Hoparlör, Pikap Kolu, Robot Kolu
4.Elektriksel İletkenlik	Otomobil, Elektronik Ekipmanlar İçin Kaplamalar, Emi Ve Rf Koruyucu Kılıf, Fırçalar
5. X-Ray Geçirgenliği Ve Biyolojik Hareketsizlik	Protez Gibi Tıbbi Uygulamalar, Araştırma Ve X-Ray Cihazları, İmplantlar, Tendonlar
6. Yorulma Direnci, Kendi Kendini Yağlama, Yüksek Sönüm	Tekstil Makineleri
7. Kimyasal Hareketsizlik, Yüksek Korozyon Direnci	Kimyasal Endüstri, Nükleer Alan, Balfler, Yelkenler, Pompa Bileşenleri
8. Elektromanyetik Özellik	Zincir Koparan Büyük Jeneratörler, Radyolojik Ekipmanlar

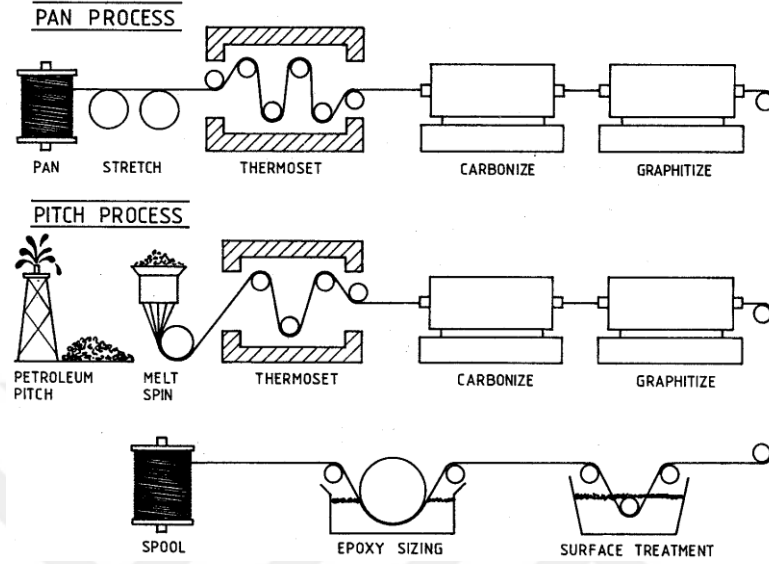
Tablo 4. Karbon liflerinin ve grafitwhisker'lerin mekanik özellikleri ('URL-3', 2006)

Madde	Modül (N/mm ²)	Kopma dayanımı (N/mm ²)	Yoğunluk (g/cm ³)	Spesifik modül (N*m/g)	Spesifik kopma day. (N*m/g)
Standart tip III	200,000	2000	1,7	120,000	1200
Standart tip II	250,000	3000	1,8	140,000	1700
Standart tip I	400,000	2500	1,9	210,000	1300
Grafitwhisker	720,000	20000	2,2	330,000	9100

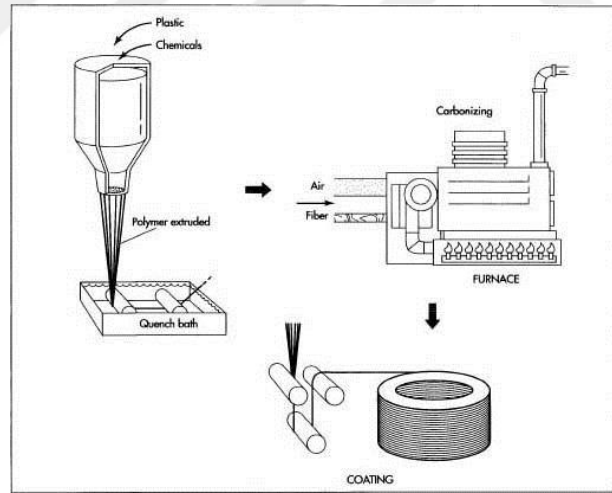
Tablo 5. Çeşitli hammaddelerden üretilmiş karbon liflerinin özellikleri ('URL-3', 2006)

	Tip	Yoğunluk (mg/cm ³)	Germe dayanımı (GPa)	Germe modülü (GPa)	Uzama (%)	Elektriksel özdirenç (μ Ohm*m)
Rayon	50S	1,67	1,9	390	0,5	10
	75S	1,82	2,5	520	0,5	--
Pan	T800	1,80	5,6	290	1,9	13
	M50	1,91	2,4	490	0,4	7,6
İzotropik Katran	T101F	1,65	0,8	33	2,4	150
	T201F	1,57	0,7	33	2,1	50
Mezofaz Katran	P25	1,90	1,4	160	0,9	13
	P120	2,18	2,2	830	0,3	2,2
Tek Kristal Grafite		2,25	-	1000	-	0,4

Karbon lifleri birçok alanda kullanılmaktadır. Karakteristik özelliklerine göre kullanım alanları da değişim göstermektedir. Bu alanlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.



Şekil 4. Karbon lifin PAN ve ziftten üretim şeması ('URL-3', 2006)



Şekil 5. Karbon liflerinin üretim şeması ('URL-3', 2006)

Dünya üzerinde karbon fiber maddesini sadece 8 ülke üretmektedir. Bunlar Japonya, ABD, Almanya, İran İslam Cumhuriyeti, Fransa, İngiltere, Macaristan ve Tayvan'dır ('URL-4', 2011)

Kullanım alanları ise havacılık, uçak sanayii, gemi sanayii, otomotiv sanayi gibi geniş üretim alanına sahip sektörlerdir ('URL-4', 2011).

1.5. Bazalt Lifleri

Volkanik bir kayaç türü olan bazalt, sert, yoğun ve termoplastik bir malzemedir. Yoğunluğu 2,7-2,8 g/cm³ olup Moh's sertliği(*) ise 5-9 arasındadır. Ana bileşenleri SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO ve demir oksitleridir. Kimyasal bileşimi bazaltın kökenine göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bazalt lifleri bazalt maddesinin 1300,1700 ° de eritilerek çok ince parçalar halinde ayrılıp lif formuna getirilmesiyle üretilir. Üretim aşamasında herhangi bir katkı maddesi kullanılmadığından üretim maliyeti düşüktür (Kızıllıkanat, 2014)

Bazalt elyafın en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Betonarme yapılarda yapıyı daha güçlü bir hale getirmek amacıyla kullanılır.

Tablo 6. Bazalt kayasının kimyasal bileşimi (Van de Velde, V.K., Kiekens, P., Van Langenhove, 2003)

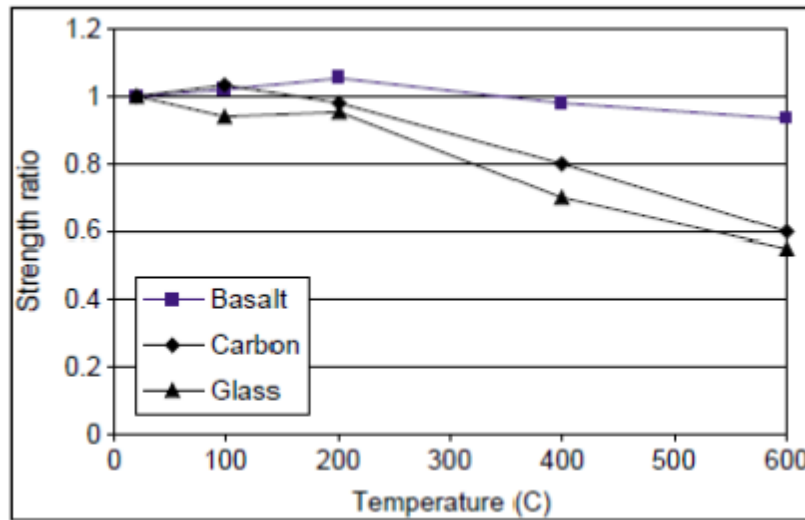
<u>Bazalt Kayasının Kimyasal Bileşimi</u>	<u>%</u>
SiO ₂	52.8
Al ₂ O ₃	17.5
Fe ₂ O ₃	10.3
MgO	4.63
CaO	8.59
Na ₂ O	3.34
K ₂ O	1.46
TiO ₂	1.38
P ₂ O ₅	0.28
MnO	0.16
Cr ₂ O ₃	0.06

Bazalt elyaflar elyaf takviyeli polimer ve yapısal kompozitler sektöründe yeni bir soluk getiren elyaf olmuştur. Kimyasal yapı olarak cam elyafa benzer fakat mukavemet özellikleri olarak daha iyi özelliklere sahiptirler. Asitlere, alkaline ve tuzlu ortamlarda direnci yüksek olduğu için beton, köprü ve kıyı şeridi yapılarında kullanımı çok yüksektir (Kızıllıkanat, 2014)

Bazalt liflerinin çekme dayanımları cam liflerinden, kopma birim uzaması ise karbon liflerden daha yüksektir. Kimyasal etkilere karşı yaklaşık olarak karbon ve cam lifler kadar

iyi direnç göstermektedirler. Bazalt lifinin elastisite modülü 80-90 GPa ve çekme dayanımı ise 3,0-408 GPa arasındadır. Bazalt lifler cam lifleriyle kıyaslandığında, çekme dayanımı cam liflerin çekme dayanımının yaklaşık olarak 2 katı kadar fazladır. Elastisite modülü ise yaklaşık olarak %15-30 kadar daha yüksektir. Korozyon söz konusu olduğunda ise bazalt lifli kompozit malzemeler çelik liflerin kullanıldığı yerlerde kullanılabilirler. Bazalt liflerinin bir diğer ve en önemli özelliklerinden birisi de çelik liflerinden 1/3 oranında daha hafif olmasıdır. Ayrıca bazalt lifinin ısıl genişleme katsayısı betonun ısıl genişleme katsayısına çok yakındır. Bağlı nemin %65 olduğu bir yerde bazalt lifinin nem absorpsiyonu %0,1'in altındadır (Kızıllkanat, 2014)

Bazalt liflerin alkali ve UV direnci ile termal stabilitesinin, karbon ve cam liflerle karşılaştırıldığı deneysel çalışmada; karbon lifler, bazalt ve cam liflere göre alkalilere karşı daha iyi performans sergilemiştir. 4000 saat UV etkisinde kalan karbon liflerde dayanımda herhangi bir kayıp olduğu görülmezken, cam liflerde kayıp bazalt liflerdeki kaybın yaklaşık 2 katı kadar olduğu gözlenmiştir. Bazalt liflerin termal stabilitesi araştırmalar sonucunda 600⁰ C gibi yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığında sadece bazalt lifinde hacim sabitliği korunmuş ve dayanımın %90 oranında koruduğu tespit edilmiştir (Kızıllkanat, 2014)



Şekil 6. Bazalt, karbon ve cam liflerinin sıcaklık-çekme dayanımı değişimi (Kızıllkanat, 2014)

Bazalt lifinin sıcaklığa karşı kararlı olmasının sebebi doğal bazalt kayaçlarının en büyük karakteristik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Diğer liflerde olmayan bu özellik bazı

mineraller eklenerek sağlanmaktadır. Bunlar TiO_2 , ZrO_2 , P_2O_3 elementleridir. Bazalt liflerinde bu elementler doğal olarak bulunduğu için sıcaklık stabilitesi özelliği oldukça yüksektir ve ekstra bir elemente gerek yoktur (Van de Velde, V.K., Kiekens, P., Van Langenhove, 2003)

Wei vd. tarafından yapılmış olan deneylerde korozyon riskinin ciddi oranda yüksek olduğu yerlerde diğer lifler kullanmak yerine bazalt liflerinin kullanılabilmesi, kimyasal etkilere maruz kalınan bir durumda bazalt lif takviyeli kompozit malzemeler kullanılarak servis ömrünün ciddi derecede arttığını belirtmiştir (Chikhradze et al., 2012)

Tüm bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda bazalt lifinin düşük maliyetli imalatıyla birleştiğinde karbon, lifli beton üretimi, çelik ve cam liflerine nazaran daha uygulanabilir olduğu ortaya çıkmaktadır (Chikhradze et al., 2012)

Tablo 7. Bazalt elyafın mekanik özelliklerinin diğer elyaflarla karşılaştırılması (Chikhradze et al., 2012)

Özellikler	Sürekli basalt elyaf	Cam Elyaf(E Glass)	Cam Elyaf(S-Glass)	Karbon Elyaf
Kopma Dayanımı(MPa)	3000-4840	3100-3800	4020-4650	3500-6000
Elastisite modülü(GPa)	79.3-93.1	72.5-75.5	83-86	230-600
Kırılma Uzaması(%)	3.1	4.7	5.3	1.5-2.0
Elyaf Çapı(mikron)	6-21	6-21	6-21	5-15
Doğrusal Yoğunluk(Tekstil)	60-4200	40-4200	40-4200	6-2400
Sıcaklık Aralığı($^{\circ}C$)	(-260)-(+700)	(-50)-(+380)	(-50)-(+300)	(-50)-(+700)

Tablo 8. Bazalt elyafın termal özellikleri (Chikhradze et al., 2012)

Termal Özellikler	Bazalt	E-glass
Mak. İşlem Sıcaklığı	980 ⁰ C	650 ⁰ C
Min. İşlem Sıcaklığı	-260 ⁰ C	-60 ⁰ C
Sürdürülebilir İşlem Sıcaklığı	700 ⁰ C	480 ⁰ C
Isıl Geçirgenlik	0.031-0.038 W/mK	0.034-0.04 W/mK
Ergime Sıcaklığı	1280 ⁰ C	1120 ⁰ C
Isıl Genleşme Katsayısı	8.80 ppm/ ⁰ C	5.4ppm/ ⁰ C

Bazalt elyafının kullanım alanlarından birkaçı; nükleer enerji mühendisliği, sivil yapılanma ve beton katkı maddesi, elektro-teknik uygulamalar ve sıcak gaz filtreleme alanlarıdır. (Chikhradze et al., 2012)



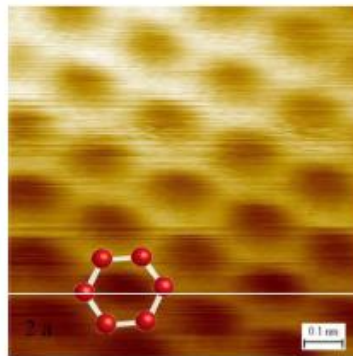
Şekil 7. Bazalt elyaf (Chikhradze et al., 2012)

1.6. Grafen

1930 da, Landau ve Peierls grafenin, 2 boyutlu kristalin yapısı gösterdiğini termodinamik yasalarına bağlayarak açıklamışlardır. 1947 de P.R Wallace tarafından grafitin band yapısı hesaplanmıştır. Linus Pauling 1957 yılında grafenin elektronik yapısı ve özelliklerine yayınladığı makalelerle ışık tutmuştur. 1980'e kadar karbonun sadece 3 temel formu olduğu sanılıyordu. (elmas, grafit, amorf karbon). 2005 te Novoselov ve ekibi grafeni tek tabaka halinde sentezlemeyi başarmış ve beklenenden çok daha değişik elektronik ve fiziksel özelliklere sahip olduğunu ispatlamışlardır (ARSEVEN, 2010)

Grafenin fiziksel özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- Herhangi bir döndürme işlemine gerek olmadan CNT kadar kuvvetli elektronik özelliklere sahip, daha az hacimsel yer kaplar.
- Dalgalı yapı gösterir. 2D düzlemsel bir şekilde durabilmesi için subtrata veya fonksiyonelliğe ihtiyaç duyar.
- C atomunun küçüklüğünden dolayı kullanımı avantajlıdır. Grafen: $250,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, Si: $1360 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ Düzenli kristalin yapı gösterir.
- Kimyasal olarak çok reaktif değildir.
- Yüksek transparanlık: tek bir tabaka beyaz ışığın sadece %2.3 ünü absorplar. Tabaka sayısı değiştikçe rengi değişim gösterir.
- Yüksek yük mobilitesi $15000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, yüksek sıcaklık direnci (-75 ile +200 °C arasında grafenin özelliklerinde bir değişiklik gözlenmiyor.)
- Yüksek termal iletkenlik 5000 W/Mk , yüksek gerilme direncine sahiptir (ARSEVEN, 2010).



Şekil 8. Grafenin TEM görüntüsü (Arseven, 2010)

1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Karbon ve bazalt hibrit kompozitler üstüne yapılan çalışmalarda genellikle bu kompozitlerin eğilme, darbe ve çekme özelliklerine etki eden faktörler incelenmiştir. Ayrıca bu malzemelerin nem absorpsiyonu ve termal özellikleri de bu çalışmalarda araştırılmıştır.

A . Dorigato ve A. Pegoretti'nin yaptığı çalışmada 20 katlı karbon-cam ve bazalt-cam hibrit laminantların eğilme ve darbe davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada 200 g/m^2 2x2 fitili dokuma E-glass, karbon ve bazalt elyaflar kullanılmıştır. El yatırma yöntemiyle üretilen numuneler eğilme testi, Charpy darbe testi (ASTM D6110) testlerine tabi tutulmuştur (Dorigato & Pegoretti, 2013)

Cam ve bazalt eklenmesi malzemenin eğilme elastikiyet değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda görülmektedir ki bazalt elyafı karbon elyafın absorbe ettiği enerjiyi ve süneklik endeksini arttırırken cam elyaf darbe dayanımı ve kırılma başlangıcı spesifik enerjisini arttırmıştır ayrıca çatlak yayılmasını da azaltmıştır (Dorigato & Pegoretti, 2013)

Jae II Lim ve diğerleri yaptıkları çalışmada karbon/bazalt/epoksi kompozitlerinin eğilme ve kırılma özelliklerine istifleme dizisinin etkisini incelemiştir. Bu çalışmada örgü tipi karbon ve bazalt elyafla epoksi bisfenol a diglisidil ether ve kütleme katkı maddesi olarak da poliamidoamin kullanmışlardır. El yatırma yöntemiyle 8 er katlı 2 ayrı numune hazırlamışlardır. Fabriklerin diziliş sırası ise karbon/karbon/bazalt/bazalt ve bazalt/bazalt/karbon/karbon şeklinde olup CSBC(karbon dış katmanlı bazalt çekirdek) ve BSCC(bazalt dış katmanlı karbon çekirdek) olarak adlandırmışlardır. Reçine oranı 2/1 ve kütleme katkısı kullanılarak en son olarak sıcak preste 15 MPa ve 80^0 C da 2 saat küreleşmişlerdir (Ary Subagia et al., 2014)

Eğilme testi ASTM D790 standartlarına uygun olarak 3 noktadan eğilme şeklinde 0,5 min/mm çapraz kafa oranıyla $130 \times 12,7 \times 1,6 \text{ mm}^3$ boyutlarında CSBC ve BSCC numuneleri kullanarak yapmışlardır. Mode 1 tabaka içi kırılma tokluk testi çift dirsekli kütük (DCB) CSBC ve BSCC numuneleri kullanarak ASTM 5528-01 standartına uygun olarak yapılmıştır. DCB için 25×200 4.ve 5. Katmanlar arasına $13 \mu\text{m}$ kalınlığında 20 mmlik kapton film konularak yapay bir çatlak açılmıştır. Çapraz kafa 2 mm/min ayarlanmıştır.

Kırılma tokluğunu hesaplamak için uzunluğu, yer değiştirme ve çatlak yükleme

değerleri ölçülmüştür. Dördüncü eğilme ve kırılma testleri sırasıyla güvenilirliği sağlamak için yapılmıştır (Ary Subagia et al., 2014)

Yapılan bu çalışma sonucunda CSBC nin eğilme ve kırılma modülleri yaklaşık olarak %32 ve %245 BSCC kompozitlerinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. CSBC kompozitlerinin kırılma tokluğu BSCC kompozitlerinin kırılma tokluğundan yaklaşık olarak %10 daha küçük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca BSCC ve CSBC kompozitlerinde aynı yük değerinde meydana gelen yerdeğiştirme CSBC kompozitlerinde daha fazlayken BSCC kompozitleri daha fazla yüke dayanmıştır. Bir diğer sonuç ise kritik enerji salınımı BSCC kompozitlerinde CSBC kompozitlerine göre daha fazla olmasıdır. (Ary Subagia et al., 2014)

I.D.G Ary Subagia ve Yongjin Kim'in yaptıkları çalışmada karbon/bazalt/epoksi hibrit kompozitlerin eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada kullandıkları karbon elyaflar 200 (+)(-) 10 gr /m², bazalt elyaflar 200(+)(-) 10 g/m² , karbon elyaf kalınlığı 0.25 mm, bazalt elyaf kalınlığı 0.19 mm dir. Kullanılan epoksi reçine spesifik ağırlığı 25 °C de 1.16 g , çekme dayanımı (MPa) 63.7, basınç mukavemeti(MPa) 88.2, eğilme dayanımı (MPa) 81.3 tür (Ary Subagia & Kim, 2013)

Üretim yöntemi VARTM (Vakum destekli reçine transfer modeli) yöntemidir. Bu yöntemde 250x250 mm karbon ve bazalt örgü fabrikler 300x300mm bir bronz kalıba konularak ve vakum çantalama filmi kullanarak kaplanmıştır. -80 KPa basınçlı bir pompayla 40 dk boyunca reçine kalıba enjekte edilmiştir. Kütleme prosesi olarak 65°C ısıtılmış fırında 2 saat kürlenmiştir. Laminant kalınlığı yaklaşık olarak 2 mm'dir. Her ayarlama 10 kat CBE laminant vardı ve Wf=%62 olarak bulunmuştur (Ary Subagia & Kim, 2013)

Uygulanan eğilme testinde 76.2x12.7x2 mm boyutlarında eğilme numunesi su jeti makinesiyle üretildi. 5 numune her konfigürasyonda test edildi ve ortalama değerler alındı. ASTM D790 standartlarına göre yapıldı. Oda sıcaklığında çapraz kafa mesafesi 3 mm/min universal test cihazıyla testler yapıldı. Tüm numunelerin kırılma yüzeyleri SEM ile analiz edildi (Ary Subagia & Kim, 2013)

Tablo 9. Üretilen kompozitlerin elyaf konfigürasyonu (Ary Subagia & Kim, 2013)

Kompozit	Kodlar	Diziliş sırası	Bazalt içeriği (%)
CFRP	C	C-C-C-C-C-C-C-C-C-C	0
BFRP	B	B-B-B-B-B-B-B-B-B-B	62
CBC-1	A1	C-C-C-C-B-C-C-C-C-C	6.2
CBC-2	A2	C-C-C-C-B-B-C-C-C-C	12.4
CBC-3	A3	C-C-C-B-B-B-C-C-C-C	18.6
CBC-4	A4	C-C-C-B-B-B-B-C-C-C	25
CBC-5	A5	C-C-B-B-B-B-B-C-C-C	31
BCB-1	A6	B-C-C-C-C-C-C-C-C-B	12.4
BCB-2	A7	B-B-C-C-C-C-C-C-B-B	25
CBCBC	A8	C-C-B-B-C-C-B-B-C-C	25

B= bazalt elyaf, C= karbon elyaf

Tablo 10. CFRP, BFRP ve katmanlararası kompozitlerin eğilme özellikleri (Ary Subagia & Kim, 2013)

Laminasyon kodu	Deneysel σ [MPa]	teorik σ [MPa]	Hata [%]	Deneysel E[MPa]	Teorik E[MPa]	Hata [%]
C	860.93	860.93	0	54.17	54.2	0.05
A1	816.28	838.37	2.6	50.11	52.6	4.78
A2	791.70	815.81	2.96	49.79	51.0	2.44
A3	759.66	793.25	4.23	48.05	49.5	2.84
A4	740.20	770.69	3.96	45.44	47.9	5.10
A5	725.57	748.13	3.02	44.68	46.3	3.51
B	428.06	-	-	25.37	-	-

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; eğilme mukavemeti ve modülü elyafların diziliş sırasına göre değişim gösterdiği. Ayrıca karbon elyafların dış tabakada olduğu numunelerde karbon elyafların iç tabakada olduğu numunelere göre daha yüksek eğilme mukavemeti ve modülü olduğu görülmektedir. Bunun yanında bazalt elyafların kullanıldığı numunelerde uzun liflerin çıktığı ve katman ayrılmasının olduğu kırılma yüzeyleri görüldü. Eğilme tepkisinin en dış tabakaların kırılma özellikleri ile kontrol edildiği de bu çalışmada görülmüştür (Ary Subagia & Kim, 2013)

Man Tae kim ve Kyong Yop Rhee karbon-nanotüp(CNT) destekli bazalt/epoksi kompozitler üzerinde yaptıkları çalışmada bu kompozitlerin eğilme davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada kullandıkları bazalt elyaflar ticari örgü tipi 260 g/m², karbon-nanotüpler çok cidarlı katalitik kimyasal buhar birleştirme yöntemiyle

sentezlenmiştir. Silan ara malzemesi olarak aminopropiltrioksilan kullanılmış, asit muamelesi için %60-62 nitrik asit, %95 sülfürik asit, damıtılmış su, %99.5 aseton ve etanol kullanılmıştır. Epoksi reçine olarak da bisfenol A diglisidil etheri ve kütleme aracı olarak poliamid kullanılmıştır. Epoksi ve sertleştiricinin oranı ise 2/1dir (M.T. Kim & Rhee, 2011)

Üretim yöntemi olarak 2 yöntem kullanılmıştır. 8 katlı bazalt lifi okside edilmiş ve silanlanmış çok cidarlı karbon-nanotüp (MWCNT) el yatırma yöntemiyle üretilmiştir. Ayrıca CNT/bazalt/epoksi kompozitleri vakum destekli reçine transfer yöntemi(VARTM) ile fabrikasyon edilmiş ve otoklav yöntemiyle 3 kgf/cm³ basınçta 130⁰C 2 saat kürlenmiştir. Eğilme testi universal test cihazında ASTM D638 standartına göre çapraz kafa hızı 1 mm/dk olarak uygulanmıştır (M.T. Kim & Rhee, 2011)

Bazalt/epoksi kompozitlerinin eğilme özellikleri yüzey modifiyeli epoksi matrisli CNT'lerle artırılabilir. Epoksi ve silan modifiyeli CNT'ler epoksi ve bazalt arasında dağılılabirliği geliştirir ve efektif gerilim transferini sağlar. Bu da silanlı CNT/epoksi/bazalt çok cidarlı kompozitlerinin okside edilmiş CNT/epoksi/bazalt çok cidarlı kompozitlerinden daha iyi eğilme mukavemeti ve eğilme modülü sağlar (M.T. Kim & Rhee, 2011)

J.H.Lee, K.Y.Rhee ve S.J.Park yaptıkları çalışmada karbon nano-tüp destekli bazalt/epoksi kompozitlerin termal ve çekme özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada ticari örgü tipi 260 g/m² bazalt elyaf, buhar çöktürme yöntemiyle üretilmiş çok cidarlı CNTler kullanılmıştır. Silan fonksiyonel aracı olarak 3 aminopropiltretoksilan, asit muamelesi araçları; %60-62 nitrik asit, %95 sülfürik asit, %99.5 damıtılmış su,%99.5 aseton ve %99.5 etanol kullanılmıştır. Kullanılan epoksi digsidil bisfenol eteri ve kütleme aracı da poliamidoamindir (Lee et al., 2010)

Modifiyesiz, asit muamelesinden geçmiş (oksidlenmiş) ve silanlanmış olmak üzere ağırlıkça %1 3 grupta kompozit üretilmiştir. Üretim yöntemleri ise ilk olarak epoksi emdirilmiş CNTler bazalt elyaflarla el yatırma yöntemiyle birleştirilmiştir,vakum çantalama ve VARTM kalıplandıktan sonra otoklavda 3kg/cm² 130⁰C de 2 saat kürlendi. Her bir gruba CNT/bazalt/epoksi kompozitlerinin termal ve mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve dinamik mekanik analiz (DMA) uygulanmıştır (Lee et al., 2010)

Yapılan bu çalışma sonucunda silanlanmış CNT/bazalt/epoksi kompozitlerinin çekme dayanımı ve Young modülü modifiyesiz CNT/bazalt/epoksi kompozitlerine göre %34 ve %60 daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca silanlanmış kompozitler, oksitlenmiş ve modifiyesiz kompozitlere göre daha yüksek saklama modülü ve T_g ye sahiptir. Ayrıca silanlanmış kompozitler oksitlenmiş kompozitlere göre daha yüksek bir saklama modülü ile birlikte daha iyi bir termal kararlılık göstermişlerdir (Lee et al., 2010)

Man Tae-Kim, Kyong-Yop Rhee, Hyeon-Ju kim ve Dong-Hu Jung yaptıkları çalışmada bazalt/CNT/epoksi kompozitlerinin nem absorpsiyonunun eğilme özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada uzunluğu 10-15 nm ve 10-20 μ m saflığı %95, ağırlıkça %1 silanlı olan çok çeperli karbon nanotüpler kullanılmıştır. Silan ayracı olarak %99 saflıkta 3-aminopropiltriethoksilan, %99.5 saflıkta saf su, %99.5 aseton, %99.5 etanol kullanılmıştır. Epoksi 118.2 gr/eq (eq=eşdeğer ağırlık) digsidil bisfenol eteri ve sertleştirici olarak 60 g/eq poliamidin kullanılmıştır. Silanlanmış CNTler ayrılma işlemi için 5 dakika boyunca ağırlıkça %1 etanolle ultrasonik karıştırıcıda karıştırıldı. Bu işlemden sonra silanlanmış CNTler 2/1 oranında hazırlanmış epoksi reçineyle karıştırılarak etanoln uçması için 2 sa 80°C de karıştırıldı. 8 tabaka matris emdirilmiş bazalt fabrik ve bazalt/CNT/epoksi otoklavda 3kg/cm² 130°C de 2 saat kürlendi. Çapraz kafa hızı 1mm/dk olan test cihazında eğilme testleri yapılmıştır (M.-T. Kim et al., 2012)

Bu çalışmada çok çeperli karbon nanotüp (MWCNT) takvileyi bazalt/epoksi kompozitlerin nemli ve nemsiz koşullar altındaki eğilme özellikleri incelenmiştir. Ağırlıkça %1 silanlı MWCNT kullanılarak hazırlanan bazalt/epoksi kompozitler 4 ay boyunca denizde bekletilmiştir. Daha sonra neme maruz bırakılan numuneler değerlendirilip kuru numunelerle karşılaştırılmıştır (M.-T. Kim et al., 2012)

Sonuç olarak nemde bırakılmış olan kompozitlerin eğilme mukavemetlerinde düşüş olduğu, taramalı elektron mikroskopunda yapılan analizlerde neme maruz kalmış numunenin eğilme özelliklerinin düştüğü ve epoksi matrisdeki şişmelerden dolayı katmanlar arası bağlanmanın düştüğü gözlenmiştir (M.-T. Kim et al., 2012)

F.Sarasini, J.Trillo, L.Ferrate, M.Valente, L.Lampani, P.Gaudenzi, S.Cioffi, S.Iannace, L.Sorrentino bu çalışmada karbon/bazalt/epoksi hibrit kompozitlerinin yarıstatik mekanik özellikleri ve düşük hızlı darbe davranışını incelemişlerdir. Elyaf olarak düz örgü bazalt ve karbon elyaf kullanılmıştır. Üretilen numuneler 2 farklı diziliş sırasında

(sandviç ve arakatlı) üretilmiş ve 5, 12,5 ve 25 j olmak üzere 3 enerji kategorisinde test edilmiştir. Farklı konfigürasyondaki karbon/bazalt hibrit laminantların kalıcı direk-darbe özellikleri yarı statik dört noktalı eğilme testiyle karakterize edilmiştir. Reçine transfer kalıplama(RTM) metoduyla 2 farklı numune üretilmiştir. İlk numune 3 kat bazalt dışarıda 7 kat karbon içeride olarak üretilirken diğer numune 7 kat bazalt dışarıda 6 kat karbon içeride olacak şekilde üretilmiştir. 4 noktalı eğilme testi uygulanmıştır. Yapısal karakterizasyon için ise 300 mm genişliğinde kare laminantlar kesilerek 10 kN'luk yükleme hücresi kullanılarak derinliğe yayılma oranı 4/1 olan ve çapraz kafa hızı 1mm/dk olan üniversal test cihazı kullanılmıştır (Sarasini et al., 2014)

Bu çalışma sonucunda bazalt lifler her 2 hibrit malzemede de karbon fiberlerle karşılaştırıldığında zirve enerjisine çıkarken enerji kaybını önlemişlerdir. Bazalt lifinin yüksek sünekliği kompozitin evrensel deformasyonuna izin verir böylelikle bazalt hibrit laminantlar için darbe alanı ve enerji absorpsiyonu artar. Arakatlı hibrit laminantlar en iyi darbe eğilme mukavemeti ve hasar toleransını göstermektedir. Sandviç laminantlar hibrit laminantlarla kıyaslandığında üstün statik özelliklere(eğilme ve tabaka içi kayma mukavemeti) sahip olsa da dabe duyarlılığında daha duyarlıdır (Sarasini et al., 2014)

L.Ferrante, J.Trillo, F.Sarasini, F.Touchard, R.Ecault, M.A.Vidal Urriza, L.Chocinski-Arnault ve D.Meillerin beraber yaptıkları bu çalışmada karbon/epoksi kompozitlerinin lazer şok testine tabi tutulduğundaki darbe toleransına bazalt elyafla hibritleştirilmesinin etkisini incelemişlerdir (Ferrante et al., 2015)

2 farklı dizilişteki katmanlar arası hibrit numuneler farklı lazer şiddetlerinde test edildi ve farklı konfigürasyonların şok sonrası kalıcı özellikleri akustik emisyon izlemeyle ve yarı statik üç noktalı eğilme testiyle karakterize edildi (Ferrante et al., 2015)

Bu çalışmada 160 g/m² karbon prepreg ve 200 g/m² bazalt prepreg kullanılmıştır. Reçine ise prepreg kullanıldığı için sertleştirilmiş epoksi reçinedir.numuneler prepreg yatırma yöntemiyle üretilmiş olup daha sonra otoklav ve onu takip eden 6 bar basınçta 135⁰C ye kadar 2⁰C/dk ısıtma adımlarıyla ısıtılıp ve daha sonra 135⁰C de 90 dk tutulup 4⁰C/dk soğutma adımlarıyla 60⁰C ye soğutulularak kürleme işlemi uygulanmıştır. Üç noktalı eğilme testi uygulanmıştır. Her test 3 numuneye yapılmıştır.(ASTM D790 standartına göre) (Ferrante et al., 2015)

Yapılan deneylerden sonra sonuçlar gösteriyor ki yarı-statik özelliklerde ve darbe toleransında en iyi sonuç gösteren yapı bazalt dış yüzeyli sandviç yapılarıdır. Özellikle karbon laminantlar durumunda en yüksek darbe toleransına sahip ve eğilme mukavemetini %5ten %15e yükselten konfigürasyonun da bu olduğu tespit edilmiştir. Karbon/bazalt örgü elyafı epoksi kompozitlerde tabaka ayrılmasının sebebi lazer şok testinden kaynaklanan hasar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bazaltla hibritleştirme işlemindeki bazalt katmanlarının ani bir yüklemde en yüksek tokluk değerine sahip olduğu da bu çalışmada ortaya çıkmıştır (Ferrante et al., 2015)

Zhang Min, WU Gang, Jiang Yumei, Tian Ye ve Hu Xiangın yapmış olduğu çalışmada Bazalt Elyaf Destekli Plastik(BFRP) plakaların ve çubukların mekanik özelliklerini incelemiştir (Chonghai & Xinwei, 2013)

Sürekli bazalt elyaflar bir çeşit inorganik fiberlerdir. Volkanik patlamalar sonucunda camsı şekilde sertleşip kaya haline gelmiş, yüksek sıcaklıklarda ergitilip daha sonra sürekli şekilde çekilme işlemine tabi tutularak sürekli elyaf formatına getirilmişlerdir. Bazalt elyafların en belirgin karakteristik özellikleri; yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek ergime direnci, yüksek asit ve alkali direnci ve termal kararlılıktır. Özellikle karbon fibere kıyasla yapısal mühendisliklerde ucuz olması nedeniyle kullanımı yaygındır. Endüstride ulusal ekonomi açısından ileri teknoloji ürünü olarak bazalt istenilen gereksinimleri de karşılamaktadır (Chonghai & Xinwei, 2013)

Eğilme deneyinde kullanılan numunelerin boyutları 230 mm uzunluğunda ve 15 mm genişliğindedir. Yükleme hızı 2mm/dak ve yükleme numune kırılana kadar devam eder. Kullanılan numunelerin hesaplanan kalınlığı 0.1 mmdir ve 10 test numunesi kullanılmıştır. Elde edilen maksimum çekme dayanımı 1207.97 MPa minimumu ise 629.4 MPa dır (Chonghai & Xinwei, 2013)

Gelişen teknolojiyle beraber bazalt elyaflarda da önemli geliştirmeler yapılmıştır. Öyle ki malzemenin mukavemet değerlerinde ciddi değişimler meydana gelmiştir. Maksimum çekme dayanımı 2464.9 MPa, minimum değer ise 2163.0 olmuştur (Chonghai & Xinwei, 2013)

Bu çalışma sonucunda bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin sivil mühendislik alanlarında da istenilen mekanik özellikleri sağladığı görülmüştür ve karbon elyafın yerine

bir alternatif olarak ekonomik açıdan da bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Chonghai & Xinwei, 2013)

C.Colombo, L.Vergani ve M.Burman'ın yaptıkları çalışmada bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin statik ve yorulma karakterizyonunu incelemişlerdir. Ayrıca numunelerin yüklemeler sırasındaki ısınmalarını da termal olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada 2 ayrı reçine tipinde malzemenin mekanik testlerde sergilediği perfonmansları da değerlendirmişlerdir (Colombo et al., 2012)

Kullanılan malzemeler Basaltex biaxial bazalt fabrik(BAS BI 600) vinilester reçine ve epoksi reçinedir. Numunlere vakum infüzyon yöntemiyle 30x30 cm² ve 3.5 mm kalınlıkta Vf=%50 olacak şekilde hesaplanılarak üretilmişlerdir. Numuneler sırasıyla statik çekme testi(ASTM D3039), statik basınç testi(ASTM D 3410), statik delaminasyon testi (ASTM D5528-01) ve yorulma testine(ASTM D3479) tabi tutulmuşlardır. Bu testler sırasındaki ısınma olaylarını takip edebilmek için ise kızılötesi termal kamera kullanılmıştır (Colombo et al., 2012)

Uygulanan testler sonucunda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

Bazalt epoksi kompozitleri bazalt vinil ester kompozitlerine göre çekme ve basınç testlerinde daha yüksek mekanik özellikler göstermişlerdir.Yorulma dayanımı olarak BE kompozitlerinin BV kompozitlerine göre daha yüksek dayanım gösterdiğini ve BE numunelerinin 10. numunede BV kompozitlerinin ise 9. numunede dayanım sınırına ulaştığı belirtilmiştir. Her iki matriste de delaminasyon testinden elde edilen deneysel sonuçlarda manuel olarak üretilen her iki numunede tekrarlanan sonuçlar ve düşük dağılmayı kanıtlayan bulgular elde edilmiştir. Tabakalar arası ayrılma BE kompozitlerde daha az görülürken BV kompozitlerde daha fazla görülmüştür (Colombo et al., 2012)

V. Manikandan, J.T.Winowlin Jappes, S.M.Suresh Kumar ve P.Amuthakkannan'ın yapmış oldukları çalışmada yüzey modifikasyonlarının bazalt takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir (Manikandan et al., 2012)

Bu çalışmada kullanılan malzemeler 220 g/m² düz örgü bazalt elyaf, E-glass cam elyafı, doymamış polyester reçine, sertleştirici olarak MEKP(metil eter keton peroksit), reaksiyon hızlandırıcı olarak kobalt-naftenat ayrıca asit muamelesi için H₂SO₄(sülfürik

asit) ve baz muamelesi için ise NaOH(sodyum hidroksit) kullanımıştır (Manikandan et al., 2012)

Numuneler el yatırma yöntemiyle 35x35 cm olarak üretilmiştir. Asit ve baz muamelesi olarak ayrı ayrı 1 N NaOH ve 1 N H₂SO₄ çözeltilerine 24 saat olacak şekilde daldırılmış daha sonra damıtılmış saf su ile yüzeylerinden asit ve baz gidene kadar temizlenmiştir son olarak ise oda sıcaklığında 24 saat kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır (Manikandan et al., 2012)

Uygulanan testler ise çekme testi (ASTM D3039), tabakalar arası kayma testi (ASTM D 2344-84), ve darbe testi (ASTM D256)dır (Manikandan et al., 2012)

Çalışmadan elde edilen sonuçlara bakıldığında ise; bazalt elyaf takviyeli kompozitler cam elyaf takviyeli kompozitlere göre daha yüksek mekanik özellikler göstermişlerdir. Ayrıca asit ve bazla muamele edilen ve doymamış reçineyle üretilen kompozitler arasında da cam ve bazalt elyafta asitle muamele edilen kompozitler bazla muamele edilen kompozitlere göre, bazla muamele edilen kompozitlerde sadece doymamış reçineyle üretilen kompozitlere göre daha yüksek mekanik özellikler göstermişlerdir (Manikandan et al., 2012)

V.Lopresto, C.Leone ve I.De Iorio'nun birlikte yaptıkları çalışmada bazalt elyaf destekli plastiklerin E-Camı destekli plastiklerle mekanik testlerde karşılaştırılması ve sonuçları incelenmiştir (Lopresto et al., 2011)

Bu çalışmada kullanılan malzemeler bazalt elyaf 200 g/m², E-Camı elyaf 290 g/m² ve epoksi reçine ile sertleştiricisi kullanılmıştır. Plastik laminantların üretim yöntemi ise vakum çantalama yöntemidir. Bu çalışmada uygulanan testler ise şöyledir; çekme deneyi (ASTM D3039), eğilme deneyi (ASTM D790-03), Kayma deneyi (ASTM D2344), basınç testi (ASTM D 695) ve son olarak da düşük hızlı darbe testi (EN 6038) dir (Lopresto et al., 2011)

Yapılan testler sonucunda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır;

1. Çekme, eğilme ve basınç testlerinde young modülü bazalt elyafta E-Camına göre daha yüksektir (Lopresto et al., 2011)
2. Elde edilen en yüksek mukavemet değeri çekme deneyinde E-Camında, eğilme ve basınç testlerinde ise bazalt elyafta elde edilmiştir (Lopresto et al., 2011)

3. %50 elyaf hacim oranında çekme, eğilme ve basınç testlerinde bazalt elyafta yüksek değerler elde edilirken, aynı elyaf hacim oranında en yüksek mukavemet değeri çekme testinde cam elyafta, eğilme ve basınç testinde bazalt elyafta görülmüştür (Lopresto et al., 2011)
4. Darbe testinde ise absorbe edilen maksimum darbe enerjisi bazalt elyafta elde edilirken, maksimum darbe mukavemeti cam elyafta elde edilmiştir (Lopresto et al., 2011)

Xin Wang, Zhiao Wang, Zhishen Wu ve Fang Chengin yaptıkları çalışmada bazalt elyaf destekli polimer ve hibrit destekli polimer çubukların kayma direnci elemanı olarak kayma davranışlarını incelemiştir (Wang et al., 2014)

Çalışmada kullanılan malzemeler bazalt elyaf, karbon elyaf; reçineler epoksi reçine, vinil ester reçine hibrit çubuklar (B1/C1,B3/C1) lerdir (Wang et al., 2014)

Uygulanan testler kayma testi ve bu test için kullanılan cihaz 500 kN kapasiteli MTS SANS çekme –basınç test makinesidir. Elyaf takviyeli polimer çubuklar pultrizyon yöntemiyle üretilmiştir (Wang et al., 2014)

Bu çalışma sonucunda bazalt elyaf takviyeli polimerler (BFRP), karbon elyaf takviyeli polimerler (CFRP) ve hibrit çubuklar çelik çubuklar ile benzer kayma direnci ve sabit kayma deformasyon oranları benzerlik göstermiştir. Kayma gerilmesinin kayma deformasyonuna oranı 3 karakteristik aşama göstermiştir; ilk aşamada reçinenin ve elyafın kayma kuvvetine eş zamanlı direnç göstermesi, ikinci aşama reçinenin kaymaya direnç göstermesinin yavaş yavaş durmaya başlaması ve son aşama ise elyaflar sahip oldukları eğimden dolayı kayma direnci göstermeleridir. Elyaf destekli polimer (FPR) çubuklar eğilme direncini içindeki elyafların desteğiyle belirlenir ve matrisin desteği sadece %8dir. Düzgün bir kayma dayanımı çubukların çapıyla kimlik bulurlar ve bunda elyaf hacim oranının etkisi de vardır. Elyaf ve reçineden gelen kayma direnci dikkate alındığında BFRP ve FRP çubukların kayma direnci hakkında tahminde bulunmak daha kolaylaşır ve bu tahminler %99 oranında doğruluk gösterirler (Wang et al., 2014)

R.Selzer ve K.Friedrich yaptıkları bu çalışmada karbon elyaf destekli polimer kompozit malzemelerin nem altında mekanik özellikleri ve parçalanma davranışlarını incelemiştir (Selzer & Friedrich, 1997)

Bu çalışmada termoset ve termoplastik olmak üzere 2 farklı çeşit epoksi kullanılmıştır. Karbon elyaf olarak ise G30-500 ve AS4 karbon elyafları kullanılmıştır.

Ayrıca karşılaştırma yapılması için karbon elyaf destekli polietereketon (PEEK) kullanılmıştır (Selzer & Friedrich, 1997)

Numuneler otoklav yöntemiyle üretilmiştir. Uygulanan testler çekme testi (DIN 29971), basınç testi (DIN 65380), yorulma testi (DIN 50100), darbe sonrası basınç testi (DIN 65561) dir (Selzer & Friedrich, 1997)

Yapılan bu çalışma sonucunda 3 farklı kompozit malzeme incelenmiştir. 2 tane termoset (modifiyesiz ve tokluk modifiyeli termoset), 1 tanesi ise termoplastik matrisle yapılmıştır (PEEK). Karbon/epoksi kompozitlerde kırılma yüzeyinde yapılan incelemede nemin arayüzeyde hatalarının artmasına sebep olduğu görülmüştür. Nem absorpsiyonuyla epoksi matris yumuşamış ve matris-elyaf adhezyonu zayıflamıştır. CF/PEEK kompozitleri ise nemden etkilenmemiş ve en az nem emişine sahip olduğu belirlenmiştir. Numuneler yapılan bu çalışma esnasında 3 farklı sıcaklıkta neme maruz bırakıldı; 23, 70 ve 100°C. Bunun sebebi ise su sıcaklığının mekanik özelliklere etkisinin olmadığını göstermekti. Sıcaklığın etkili olmamasının sebebi ise Tg camı geçiş sıcaklığının maksimum su sıcaklığı olan 100°C nin altına düşmemesidir (Selzer & Friedrich, 1997)

Masashi Wada, Kazuhiko Kawai, Tomoyuki Suzuki, Hirotito Hira ve Satoshi Kitaoka'nın birlikte yaptıkları çalışmada epoksi reçinenin karbon elyafın katmanlar arası yapışmasına süper ısıtma uygulamasının etkisini incelemişlerdir (Wada et al., 2016)

Bu çalışma esnasında herhangi bir yüzey işleminden geçmemiş ve boyutlandırılmamış karbon elyaf kullanılmıştır. Ultrasonik temizleme için aseton, etanol ve saf su kullanılmıştır. Referans numune için ise haşıl maddesiyle kaplanmış karbon fiber kullanılmıştır. Çalışmalar esnasında kullanılacak olan süper ısıtma uygulamasının hazırlanması için indüksiyon ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Doymuş buhar ilk önce buhar kaynatıcıyla şekillendirilmiş daha sonra ise pelet tipi indüksiyon ısıtıcılarla ısıtılmıştır. Isıtma işlemleri sırasında kullanılacak olan indüksiyon ısıtma (IH) tipi süper ısıtma jeneratörü kesin sıcaklık kontrolü ve sürekli ısıtma avantajının yanında, bileşen malzemelerin termal şok direnci ve yüksek sıcaklık buharına karşı korozyon direnci olmalıdır (Wada et al., 2016)

Malzemelere uygulanan testler sırasıyla, çekme testi, tabakalar arası kayma testi ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizidir (Wada et al., 2016)

Yapılan deneyler sonucunda bu araştırmadan elde edilen sonuçlar ise şöyledir;

- Karbon çaplarında alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu(FE-SEM) ile yapılan gözlemlerde süper ısıtma ortamı(SHS) uygulamasında gözle görülür bir değişim olmadığı gözlenmiştir (Wada et al., 2016)
- N₂ ortamında SHS uygulanan karbonun spesifik yüzey alanı, sadece SHS yapılan ortama göre daha az olduğu tespit edilmiştir (Wada et al., 2016)
- 600 °C de SHS yapılan tek bir karbon lifinin çekme dayanımı ilk ölçülen değerden düşük olduğu belirlenmiştir (Wada et al., 2016)
- SHS sırasında N₂ gazının eklenmesiyle çekme dayanımındaki düşüş engellenmiştir.
- Yüzeyler arası kayma dayanımı SHS 600°C de ve üstünde, sabit ve karışık işlenmemiş karbonun yaklaşık 2 katı kadar olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan N₂ atmosferinde uygulanan SHS'de yüzeyler arasında kayma dayanımında artış gözlenmiştir (Wada et al., 2016)
- SHS sonrasında karbon yüzeyinde asitlik oranının arttığı, N₂ gazsız yapılan SHS yüzey pürüzlülüğünü ve yüzeyde hidroksil gruplarını arttırmış bu da malzemede çapa etkisi yapmıştır (Wada et al., 2016)

Quansheng Ma, Yizhuo Gu, Min Li, Shaokaoi Wang ve Zuoguang Zhang çalışmalarında yüksek dayanımlı karbon elyafın yüzey işlemlerinin epoksi reçineli kompozit malzemelerinin arayüz özelliklerine etkisini incelemişlerdir (Ma et al., 2016)

T700 kalite yüksek dayanımlı karbon elyaf ve 5228 epoksi reçine bu çalışmada kullanılan malzemelerdir (Ma et al., 2016)

Bu araştırmada malzemeleri incelemek için taramalı elektron mikroskobu(SEM) ayrıca eğilme testi, tabakalar arası kayma testi (ILSS) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizi yapılmıştır. Yüzey sertliğini incelemek için atomik kuvvet mikroskobu(AFM) kullanılmıştır. Yüzey enerjisini incelemek için dinamik temas açımeter ve gerilim ölçer Wilhelmy yöntemi uygun olarak kullanılmıştır. Elyaf yüzeyinin kimyasal bileşimi XPS yöntemiyle incelenmiştir. Boyutlandırma aracı malzemesini yeniden aktifleştirilmek için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) kullanılmıştır (Ma et al., 2016)

Yapılan testler ve inceleme için kullanılan yöntemler sonunda elde edilen sonuçlar şöyledir;

- Elektroliz ve yeniden boyutlandırma işlemleri yüzey enerjisinin artmasına ve reçine için iyi bir özellik olan ıslanabilirliğe de iyi yönde etkisi olmuştur (Ma et al., 2016)
- Dinamik temas açılma ve AFM testleri uygulanan yüzey işleme metodlarının lifin yüzey sertliğinin artmasına ayrıca ısı işlemi sırasında yeniden boyutlandırma esnasında kimyasal reaksiyonlardan ötürü, 200°C yapılan ısı işleminden sonra elyaf yüzey enerjisinde düşüş yaşanmıştır (Ma et al., 2016)
- XPS analizi elyafın elektroliz ve yeniden boyutlandırma işlemleri sırasında en yüksek aktif karbon içeriğine sahip olduğunu ve 200°C ısı işlemi gören elyafın, yüksek sıcaklıkta epoksi ve NH₂ grupları arasındaki reaksiyonlardan dolayı en düşük aktif karbon içeriğine sahip olduğunu göstermiştir (Ma et al., 2016)
- Elektroliz ve yeniden boyutlandırma işlemlerini görmüş elyaflar bu işlemlerden geçmemiş elyaflara göre daha yüksek ara yüz bağlanma kuvveti göstermektedir. Isıl işlem gören karbonların mekanik özellikleri de düşüktür (Ma et al., 2016)

Halil L.Tekinalp, Vlastimil Kunc, Gregorio M.Velez Garcia, Chad E.Duty, Lonnie J.Love, Amit K.Naskar, Craig A.Blue ve Soydan Özcan birlikte çalıştıkları bu araştırmada katkı maddesi imalatı yolu ile üretilmiş yüksek derecede yönlenmiş karbon elyaf polimer kompozitleri incelemişlerdir (Tekinalp et al., 2014)

Çalışma esnasında kullanılan malzemeler ABS kopolimeri kırılmış AS4 karbon elyafları epoksi reçineyle tekrar 3.2 mm'ye boyutlandırılmıştır (Tekinalp et al., 2014)

Basıncı kalıplama(CM) ve 3 boyutlu baskı yöntemi eriyik yığılma modelleme(FDM) ile kompozitler üretilmiştir. Çekme testi uygulanmış ve kırılma yüzeylerinin incelenmesi için ise taramalı elektron mikroskobu(SEM) kullanılmıştır (Tekinalp et al., 2014)

Yapılan testler ve incelemeler sonucunda ise ortalama elyaf uzunluğu hem CM hemde FDM yönteminde düşmüştür. Bu sırada CM numunelerde porozite/boşluk gözlenmemiştir. Ayrıca 2 yöntemde de eğilme dayanımı ve modülüs artmıştır (Tekinalp et al., 2014)

Yapılan literatür araştırması sonucunda karbon bazalt hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerine diziliş sırasının etkisinin incelenmesi konusunda pek fazla çalışma olmadığı tespit edilmiş ve bu başlık altında;

- 1.Elyaf hacim oranının mekanik özelliklere etkisi
- 2.Matris tipinin mekanik özelliklerine etkisi
- 3.Grafen katkısının mekanik özelliklere etkisi
- 4.Diziliş sırasının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Elyaf

Numune üretiminde kullanılan elyaf; karbon elementinden üretilen elyafın örgü kumaş haline getirilmesiyle ortaya çıkan CSA kompozit firmasından temin edilen karbon elyaf ve doğada kaya halinde bulunan ve o kayadan elde edilen bazaltın lif şeklinde örülmesiyle örgü kumaş haline getirilen Spinteks firmasından temin edilen bazalt elyafıdır. Reçine olarak ise BOYTEK firmasından temin edilen polyester ve vinil ester reçine kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak %6'lık sıvı kobalt ve metil etil keton peroksit kullanılmıştır.

2.1.1.1. Karbon Elyaf

Çalışmada kullanılan karbon elyafın özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir ('URL-7', 2014)

Tablo 11. Karbon elyafın mekanik özellikleri ('URL-7', 2014)

Çekme dayanımı	3800	MPa
Çekme modülü	240	GPa
Gerinim	1.6	%
Yoğunluk	1.78	g/cm ³
Akma	200	g/1000m
Kaplama tipi	1.-1.5	%
Burulum	Burulma yok	

2.1.1.2. Bazalt Elyaf

Bu çalışmada kullanılan bazalt elyafların özellikleri Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. Bazalt elyafların mekanik özellikleri (Chikhradze et al., 2012)

Özellikler	Sürekli basalt elyaf	Termal Özellikler	Bazalt Elyaf
Kopma Dayanımı(MPa)	3000-4840	Mak. İşlem Sıcaklığı	980 ⁰ C
Elastisite modülü(GPa)	79.3-93.1	Min.İşlem Sıcaklığı	-260 ⁰ C
Kırılma Uzaması(%)	3.1	Sürdürülebilirleşim Sıcaklığı	700 ⁰ C
Elyaf Çapı(mikron)	6-21	Isıl Geçirgenlik	0.031-0.038 W/mK
Doğrusal Yoğunluk(Tekstil)	60-4200	Ergime Sıcaklığı	1280 ⁰ C
Sıcaklık Aralığı(⁰ C)	(-260)-(+700)	Isıl Genleşme Katsayısı	8.80 ppm/ ⁰ C

2.1.1.3. Polyester Reçine

Bu çalışma içinde kullanılan matris malzemelerinden bir tanesi polyester reçinedir. Polyester reçinenin özellikleri Tablo 13 ve Tablo 14'de gösterilmiştir (BOYTEK, 2004)

Tablo 13.Polyester reçinenin mekanik özellikleri (BOYTEK, 2004)

		Birim
Çekme mukavemeti	13.671	MPa
Elastisite modülü	418.75	MPa
Çekmedeki yüzde uzama	19.36	%

Tablo 14.Polyester reçinenin sıvı özellikleri (BOYTEK, 2004)

Vizkozite	500-700	Cp
Solid içeriği	65-70	%
Asit değeri	Maks.30	mgKOH/g
Jel zamanı	15-25	Dakika
Pik ekzoterm	140-150	⁰ C

2.1.1.4. Vinil Ester Reçine

Bu çalışmada diğer bir matris malzemesi olarak kullanılan reçine vinil esterdir. Vinil ester reçinenin özellikleri Tablo 15 ve Tablo 16'de gösterilmiştir (BOYTEK, 2005)

Tablo 15.Vinil Ester Reçinenin Sıvı Özellikleri (BOYTEK, 2005)

		Birim
Vizkozite	175-250	Cp
Solid içeriği	50-55	%
Asit değeri	Mak.10	mgKOH/g
Jel zamanı	20-25	Dakika
Pik ekzoterm	145-160	⁰ C

Tablo 16.Vinil ester reçinenin mekanik özellikleri (BOYTEK, 2005)

		Birim
Çekme mukavemeti	80	MPa
Kopma uzaması	5	%
Young Modülü	3200	MPa
Eğilme Mukavemeti	135	MPa
Eğilme Modülü	3700	MPa
Yük Altında Eğilme ve Vicat Sıcaklığı(HDT)	100	⁰ C
Sertlik	38	Barcol 943-1

2.1.2. Katkı Maddeleri

Yaptığımız deneysel çalışmalarda reçineleri sertleştirmek ve bu reaksiyonu hızlandırmak için kullandığımız katkı maddeleri %6 lık kobalt ve metil etil keton peroksit (MEKP) dir.

Kobalt reaksiyon hızlandırıcı olarak, MEKP ise reçinelerin sertleştiricisi olarak kullanılmıştır.

Kobaltın yoğunluğu 0.99 g/cm³tür. Koyu mavi renktedir. Organik solventlerde ve yağlarda çözünür. Yağlı boyalarda kurutucu olarak, polyester katalizör hızlandırıcısı olarak ve kauçuğu metale yapıştırma uygulamalarında kullanmak mümkündür ('URL-5', 2015).

Metil etil keton peroksit (MEKP), reçine sertleştiricisi olarak kullanılmaktadır. %p.p

aktif oksijen içeriği, %35 peroksit içeriği ve %55 ten fazla oranda plastikleştirici içeriğine sahiptir. 100 °C de bozunmalar başlamaktadır. Viskozitesi 19 mPa.s dir ('URL-6', 2013)

Grafen, hibrit numuneler arasında mekanik özelliklere olan etkisini incelemek için kullanılmıştır. Yoğunluğu 2,22 g/cm³ ,saflık derecesi %99, hegzogonal kristal yapıya sahiptir. Ayrıca -75 °C ile +200 °C arasında özelliklerini koruyan, termal özellikleri 4840-5300 WK⁻¹/m dir (ARSEVEN, 2010)



2.2. Kompozit Numunlerin Üretimi

2.2.1. Elyafların Hazırlanması

Üretime başlamadan önce kullanılacak elyaf lar 25x25 ölçülerinde kesildi ve hazırlandı. Daha sonra ağırlıkları tartıldı.

2.2.2. Reçinenin Hazırlanması

Kompozitlerin üretimi sırasında kullanılacak matris malzemesine göre reçine hazırlama işlemi gerçekleştirilmektedir.

Polyester reçine hazırlanışında kullanılacak reçine miktarının %1 oranında %6lık kobalt ve MEKP, önce kobalt sonra MEKP sırasıyla reçineye eklenerek karıştırma işlemi gerçekleştirilir.

Vinil ester reçine hazırlanışında ise kullanılacak reçine miktarının %1.5 i kadar MEKP ve %0.5 i kadar %6 lık kobalt , önce kobalt sonra MEKP sırasıyla reçineye eklenerek ve karıştırma işlemi gerçekleştirilir.

2.2.3. Kompozitlerin Üretimi

Elyaf lar ve reçine hazırlandıktan sonra kompozit malzemeler el yatırma yöntemiyle üretilmiştir.

2.2.3.1. El Yatırma Yöntemi

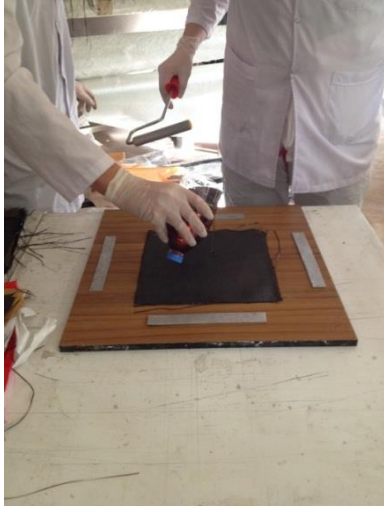
El yatırma yöntemi kompozit üretim sektöründe en hızlı sonuç veren fakat sınırlı sayıda malzeme çeşitliliği sunan bir üretim yöntemidir. Bu yöntemde kalıp yüzeyine hazırlanan numunelerin yapışmaması için önce sıvı kalıp ayırıcı uygulanır. Daha sonra önceden hazırlanmış olan reçine sürülür ve üzerine üretilecek olan kompozitin içinde bulunan elyaf lar kat kat olacak şekilde yerleştirilir. Üzerine tekrardan reçine dökülerek bir rulo fırça yardımıyla reçine elyafa iyice yedirilir. Reçine sürme işlemi tamamlandığında kullanılan kalıbın üst kalıp parçası kompozitin üzerine kapatılarak belirli bir basınç altında

kullanılan reçinenin sertleşme süresine göre bekletilir. İstenilen sürede bekletildikten sonra kalıptan çıkarılan numuneler kullanılan reçinenin kürleşme prosesine işlemlere tabi tutulurlar.

2.3. Kompozitlerin Üretimi

2.3.1. Polyester Reçine ile Numunelerin Hazırlanması

Üretim aşamasında polyester reçine kullanılarak üretilen numuneler için ilk aşamada kalıp yüzeyine Polivaks sıvı kalıp ayırıcı ardından da Polivaks N katı kalıp ayırıcı uygulandı. Reçine miktarının %1 i kadar kobalt ve MEKP ilave edildikten sonra hazırlanan reçine kalıp yüzeyine bir miktar sürüldü. Ardından üretilecek olan numuneye göre 25x25 boyutlarında kesilmiş elyaflar kalıba konularak üzerine reçine döküldü ve rulo fırça yardımıyla reçine iyice numuneye yedirildi. Kalıp kenarlarına kalınlık ayarlamak için kalınlık aparatları konularak üst kalıp kapatıldı ve numune pres altında 1 gün bekletildi. 1 gün sonunda kalıptan çıkan numunelerin istenilen kalınlıkta olup olmadığı kumpas yardımıyla ölçüldü ve not edildi.



Şekil 9. Polyester Reçine İle Numune Üretimi

Ayrıca 10 katmanlı polyester hibrit numunelerde grafen etkisini incelemek için reçineye %1 oranında grafen katılarak 2 ayrı numune üretilmiştir.

2.3.2. Vinil Ester Reçineyle Numune Üretimi

Üretim aşamasında diğer matris malzemesi olan vinil ester reçinesiyle numune üretimi polyester reçinesinde olduğu gibi el yatırma yöntemiyle olmuştur. Kalıp yüzeyine önce Polivaks sıvı kalıp ayırıcı ve ardından da Polivaks N katı kalıp ayırıcı uygulandı. Kullanılacak reçine miktarının %1.5 i kadar kobalt ve MEKP kullanılarak reçine hazırlandıktan sonra kalıba bir miktar reçine dökülür. Kalıp yüzeyine yayılan reçine üzerine kullanılacak olan daha önceden 25x25 kesilmiş elyaflar kalıba konularak reçine rulo fırça yardımıyla elyaflara yedirildi. Ardından üst kalıp kapatılarak numuneler pres altında 2 gün bekletildiler. Kalıptan çıkarılan numuneler kürleme işlemine tabi tutuldu. Kürleme işlemi ise 80 °C de 3 saat , 100 °C de 1 saat etüv fırınında bekletilmesidir.



Şekil 10. Vinil Ester Reçineyle Numune Üretimi

Ayrıca 10 katmanlı vinil ester hibrit numunelerde grafen etkisini incelemek için reçineye %1 oranında grafen katılarak 2 ayrı numune üretilmiştir.

Tablo 17. Üretilen numunelerin katman sayısı ve kullanılan polimer türü

Numune Numunenin Adı	Kullanılan Katkı Maddesi Oranı	Elyaf Türü	Elyaf Katmanı	Polimer Türü	Hacim Oranı (Vf) %	Ağırlık Oranı (Wf) %	Kalınlık (mm)
10K	%1	Karbon	10	Polyester	62	37	1.5
15K	%1	Karbon	15	Polyester	68	39	1.6
20K	%1	Karbon	20	Polyester	62	44	2
10B	%1	Bazalt	10	Polyester	42	42	1.5
15B	%1	Bazalt	15	Polyester	57	48	1.7
20B	%1	Bazalt	20	Polyester	42	54	2
20K	%1.5	Karbon	20	Vinil ester	55	43	2
20B	%1.5	Bazalt	20	Vinil ester	46	44	2
10K10B	%1	Karbon ,Bazalt	10-10	Polyester	53	47	2.1
10K10B %1 GRAFEN	%1	Karbon , Bazalt	10-10	Polyester	37	45	2.4
14K6B	%1	Karbon , Bazalt	14-6	Polyester	50	51	3.5
14B6K	%1	Bazalt, Karbon	14-6	Polyester	60	48	3.4
10K10B	%1.5	Karbon , Bazalt	10-10	Vinil ester	48	48	2.3
10K10B %1 GRAFEN	%1.5	Karbon , Bazalt	10-10	Vinil ester	43	41	2.5
14K6B	%1.5	Karbon , Bazalt	14-6	Vinil ester	41	52	3.6
14B6K	%1.5	Bazalt, Karbon	14-6	Vinil ester	42	45	4.2

Tablo 18. Hibrit kompozitlerin diziliş sırası

HİBRİT KOMPOZİTLERİN DİZİLİŞ SIRASI	
10K10B	K-B-K-B-K-B-K-B-K-B-B-K-B-K-B-K-B-K
14K6B	K-K-B-K-K-B-K-K-B-K-K-B-K-K-B-K-K-B-K-K
14B6K	B-B-K-B-B-K-B-B-K-B-B-K-B-B-K-B-B-K-B-B

2.4. Araştırma Yöntemi

Numunelerin özelliklerini belirlemede uygulanan yöntemler aşağıda verilmiştir.

2.4.1. Fiziksel Özellikler

2.4.1.1. Birim Hacim Ağırlık(Yoğunluk)

Bu çalışmada üretilen numunelerin yoğunlukları Archimedes yöntemi ile ölçülmüştür.

Archimedes yöntemi ile yoğunluk tayini için 2x2 cm boyutlarında kesilen numuneler öncelikle 60°C de 24 saat etüvde numune içindeki nem tamamen kurutuluncaya kadar bekletildi. Ardından fırından alınan numuneler içinde silika jel olan desikatör içerisinde 15-20 dk bekletildikten sonra kuru ağırlıkları tartıldı. Numunelerin su içindeki ağırlıkları ölçülmeden önce tekrarda nem almasını engellemek amacıyla sıvı parafinle kaplandı. Kaplanan numuneler kurutulduktan sonra sudaki ağırlığı ölçüldü. Daha sonra aşağıdaki eşitlikten numunelerin yoğunluk hesabı yapılmıştır.

Archimedes yönteminde ise yoğunluk hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$P:A/B(\rho_0- \rho_L)+ \rho_L$$

ρ : Numunenin yoğunluğu A : Numunenin havadaki ağırlığı

B : Yardımcı sıvının ağırlığı ρ_0 : Yardımcı sıvının yoğunluğu

ρ_L : Havanın yoğunluğu (0.0012g/cm³)

2.4.1.2. Elyaf Hacim Oranı (V_f)

Numunelerin elyaf hacim oranı tüm kompozitin hacmine elyaf hacim oranı olarak nitelendirilir. Aşağıdaki eşitlikte elyaf hacim oranının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$V_f = A.n/p.t \quad V_f = \text{Elyaf hacim oranı} \quad n = \text{Katman Sayısı}$$

ρ = Elyafın yoğunluğu t = Kalınlık (mm) A = Numunenin metrekaresindeki gramajı (g/m²)

2.4.1.3. Ağırlık Oranı (W_f)

Numunelerin yani kompozit ağırlığının elyaf ağırlığına oranı ağırlık oranı olarak ifade edilmektedir. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$W_f = M_f / M_c$$

2.4.2. Mekanik Özellikler

2.4.2.1. Eğilme Deneyi

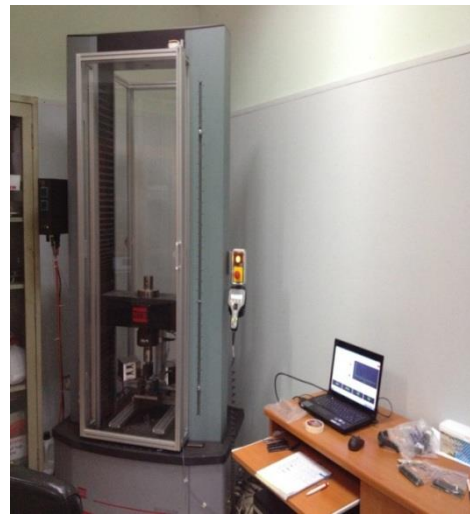
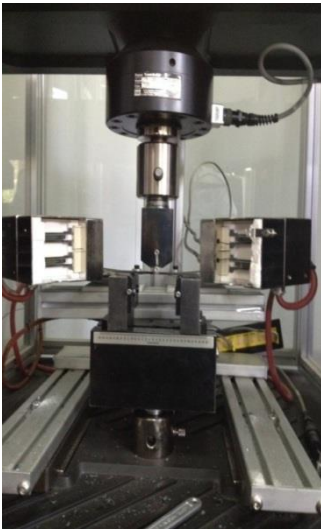
Eğilme deneyi ASTM D 2344M-00 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir . Bu amaçla örnekler 120x15 boyutlarında hazırlanmıştır. Sıcaklığı oda sıcaklığında olan numuneler MTS Criterion üniversal test cihazında 3 noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Deney 2mm/dk hızla yapılmıştır. Çeneler arası uzaklık 75 cm olarak ayarlanmıştır.

$$\Sigma_e = F_{\text{mak}} * L / 2 * b * d^2 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{mak}} = \text{Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)} \quad L = \text{Çeneler arası uzaklık (mm)}$$

$$b = \text{Örnek kalınlığı (mm)}$$

$$d = \text{örnek genişliği (mm)}$$



Şekil 11. Eğilme Deney Düzenegi

2.4.2.2. Eğilme Modülü

Eğilme modülünün hesaplanmasında eğilme deneyi için hazırlanmış olan numuneler kullanılmıştır. Bu amaçla ASTM D 3044M-00 standardı esas alınmıştır. Numunenlerin eğilme mukavemeti deneyi yapılırken MTS Criterion universal test cihazının sehim ölçümü yardımıyla eğilme miktarı belirlenmiş ve çizilen kuvvet-derformasyon eğrisinin elastikiyet sınırı içerisinde kalan alandan yararlanılarak eğilme modülü

$$E = F \times L^3 / 4 \times \Delta e \times b \times d^3 \text{ N/mm}^2$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

F= deformasyonu sağlayan kuvvet (N) L= Çeneler arası mesafe (mm)

b=örnek genişliği (mm) d=örnek kalınlığı (mm)

Δe = Eğilme Miktarı (sehim) (mm).dir.,

2.4.2.3. Çekme Deneyi

Çekme mukavemeti ASTM D 3039M-14 standartına göre gerçekleştirilmiştir. Bunun için numuneler 250x15 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler MTS Criterion universal çekme cihazında plastik kalıplama ve ekstrüzyon çekme (ekstensometre&çaprazkafa) yöntemiyle çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme mukavemeti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\Sigma_c = F_{\text{mak}} / A \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

F_{mak} = kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

A= numune kesit alanıdır (mm²).

2.4.2.4. Elastisite Modülü

Elastisite modülünün hesaplanmasında ASTM D 3039M-14 standartına göre hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$E = \sigma/\epsilon$$

E = Elastisite modülü

σ = Normal Gerilme ϵ = Birim Uzama



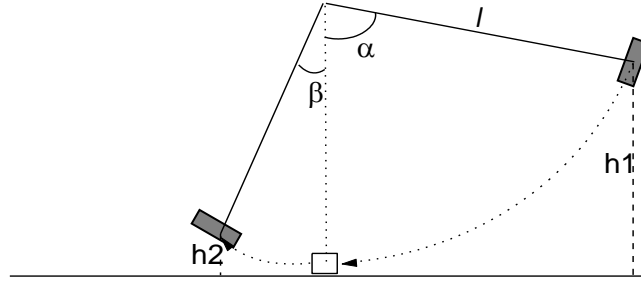
Şekil 12.Çekme Deney Düzeneği

2.4.2.5. Darbe Deneyi

Darbe deneyi ASTM D2344M-00 standartına göre yapılmıştır. Numuneler standartta belirlenen ölçülerde 63x10 mm hazırlanmıştır . Hazırlanan numuneler CEAST 9050 sarkaç darbe testi cihazında darbe testine tabi tutulmuştur.



Şekil 13.Darbe Deney Düzeneği



Şekil 14.Darbe Deneyi Şematik Gösterimi

Kırılma enerjisi hesabı aşağıdaki eşitlikten yapılmıştır.

$K.E = Gxh_1 - Gxh_2$ olarak ifade edilir. Buna göre kırılma enerjisi

$K.E = G(h_1 - h_2) = G.l (\cos\beta - \cos\alpha)$ olarak hesaplanır.

3. BULGULAR

3.1. Fiziksel özellikler

3.1.1. Birim Hacim Ağırlık (Yoğunluk)

Numunelerin birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin ortalama ve standart sapmalar Tablo 19’de gösterilmiştir.

Tablo 19. Numunelerin birim hacim ağırlıkları

Gruplar	Yoğunluk (gr/cm ³)	Standart sapma
10KP	1,4	0,008
15KP	1,4	0,056
20KP	1,5	0,046
10BP	1,8	0,156
15BP	1,8	0,109
20BP	1,7	0,052
20KV	1,4	0,012
20BV	1,7	0,021
10K10BP	1,6	0,032
10K10BV	1,5	0,087
10K10BP% 1gr	1,5	0,040
10K10BV% 1gr	1,5	0,019
14B6KP	1,6	0,037
14B6KV	1,6	0,036
14K6BP	1,6	0,017
14K6BV	1,6	0,014

3.1.2. Elyaf Hacim Oranı

Numunelerin elyaf hacim oranları Tablo 20’de gösterilmiştir.

Tablo 20.Numunelerin Elyaf Hacim Oranı

Gruplar	Hacim Oranı (V_f) %
10KP	62
15KP	68
20KP	62
10BP	42
15BP	57
20BP	42
20KV	41
20BV	42
10K10BP	53
10K10BV	37
10K10BP% 1gr	50
10K10BV% 1gr	60
14B6KP	55
14B6KV	46
14K6BP	48
14K6BV	43

3.1.3. Ağırlık Oranı (W_f)

Numunelerin ağırlık oranları Tablo 21’da gösterilmiştir.

Tablo 21.Numunelerin ağırlık oranları

Gruplar	Ağırlık Oranı (W_f)%
10KP	37
15KP	39
20KP	44
10BP	42
15BP	48
20BP	54
20KV	52
20BV	45
10K10BP	47
10K10BV	45
10K10BP% 1gr	51
10K10BV% 1gr	48
14B6KP	43
14B6KV	44
14K6BP	48
14K6BV	41

3.2. Mekanik Özellikler

3.2.1. Eğilme Mukavemeti

Numunelerin ASTM D 3044M-00 standartına göre hesaplanan eğilme mukavemetine ilişkin ortalama değerleri ve standart sapmaları Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 22.Numunelerin eğilme mukavemetleri

Gruplar	Eğilme mukavemeti (MPa)	Standart Sapma
10KP	103,56	10,43
15KP	144,73	14,60
20KP	232,69	13,96
10BP	168,45	36,07
15BP	184,02	10,34
20BP	244,41	26,82
20KV	619,72	48,16
20BV	370,76	15,89
10K10BP	201,95	36,07
10K10BV	206,81	42,68
10K10BP% 1gr	250,60	33,09
10K10BV% 1gr	151,89	16,31
14B6KP	200,37	6,40
14B6KV	305,85	85,08
14K6BP	129,02	6,40

3.2.2. Eğilme Modülü

Numunelerin ASTM D 3044M-00 standartına göre hesaplanan eğilme modüllerine ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 23’da gösterilmiştir.

Tablo 23. Numunelerin eğilme modülleri

Gruplar	Eğilme modülü (MPa)	Standart Sapma
10KP	32621,7	546,56
15KP	35023,5	9057,30
20KP	27179,5	5970,53
10BP	17891,4	1854,05
15BP	4478	1356,10
20BP	16687,1	3336,92
20KV	51844,4	5802,07
20BV	20394,1	1937,38
10K10BP	30593,3	1524,19
10K10BV	16868	7685,70
10K10BP%1gr	34953,5	1760,14
10K10BV%1gr	17803,7	3308,34
14B6KP	25045,3	930,44
14B6KV	17379	12325,50
14K6BP	35147,2	2593,85

3.2.3. Uzama Miktarı

Numunelerin ASTM D 3044M-00 standartına göre yapılan eğilme deneyinden elde edilen uzama miktarları Tablo 24’de gösterilmiştir.

Tablo 24.Numunelerin uzama miktarları

Gruplar	Uzama miktarı(mm)
10KP	2,97
15KP	2,51
20KP	1,7
10BP	8,3
15BP	5,9
20BP	4,1
20KV	3,1
20BV	5,6
10K10BP	2,5
10K10BV	4,3
10K10BP% 1gr	3,6
10K10BV% 1gr	7,3
14B6KP	3,3
14B6KV	4,8
14K6BP	2,1

3.2.4. Çekme Mukavemeti

Numunelerin ASTM D 3039 M-14'e göre yapılan çekme deneyi sonuçları ve standart sapmaları Tablo 25'de gösterilmiştir.

Tablo 25. Numunelerin Çekme Mukavemeti Ve Standart Sapma Değerleri

Gruplar	Çekme mukavemeti (MPa)	Standart Sapma
SAF POLYESTER	13,67	3,23
10KP	364,36	147,94
15KP	385,85	101,58
20KP	516,17	30,11
10BP	299,17	51,09
15BP	270,46	14,56
20BP	303,69	107,57
20KV	286,39	11,25
20BV	320,45	10,04
10K10BP	298,78	77,08
10K10BV	329,49	46,46
10K10BP% 1gr	301,51	19,00
10K10BV% 1gr	270,46	14,56
14B6KP	329,90	18,81
14B6KV	308,86	32,64
14K6BP	373,92	33,16
14K6BV	348,07	49,26

3.2.5. Elastisite Modülü

Numunelerin ASTM D 3039 M-14'e göre yapılan çekme deneyinden elde edilen elastisite modülleri ve standart sapmaları Tablo 26'de gösterilmiştir.

Tablo 26.Elastisite Modülü Ve Standart Sapma Değerleri

Gruplar	Elastisite modülü (MPa)	Standart sapma
SAF POLYESTER	0,41	0,103
10KP	53642,2	7358,43
15KP	50380,8	5703,34
20KP	54229,1	4758,81
10BP	23443,6	3268,22
15BP	21836,4	4973,37
20BP	23551,1	7060,83
20KV	65453,7	12849,27
20BV	22408,6	6309,56
10K10BP	34205,3	4769,79
10K10BV	32488,4	12525,89
10K10BP% 1gr	50083,7	7323,77
10K10BV% 1gr	42692,2	3641,31
14B6KP	36194,2	5478,81
14B6KV	30987,5	9538,02
14K6BP	50735	7415,77
14K6BV	46752,2	6277,95

3.2.6. Yüzde Uzama

Numunelerin ASTM D 3039 M-14'e göre yapılan çekme deneyinden elde edilen yüzde uzama sonuçları Tablo 27'de gösterilmiştir.

Tablo 27. Numunelerin Yüzde Uzama Değerler ve Standart Sapmaları

Gruplar	Yüzde uzama(%)	Standart sapma
10KP	1.3	0.3
15KP	0.7	0.3
20KP	0.5	0.2
10BP	2.1	0.2
15BP	1.0	0.1
20BP	0.5	0.2
20KV	0.5	0.1
20BV	2	0.05
10K10BP	1	0.2
10K10BV	1.0	0.3
10K10BP% 1gr	0.7	0.05
10K10BV% 1gr	1.0	-
14B6KP	1.1	0.1
14B6KV	1.0	0.1
14K6BP	1.1	0.1
14K6BV	-	-

3.2.7. Darbe Deneyinde Kırılma Enerjisi

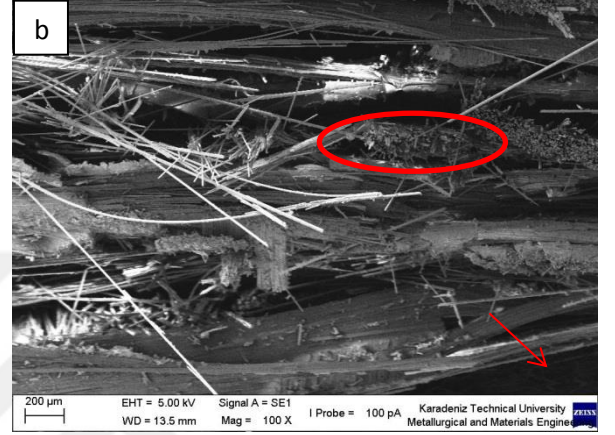
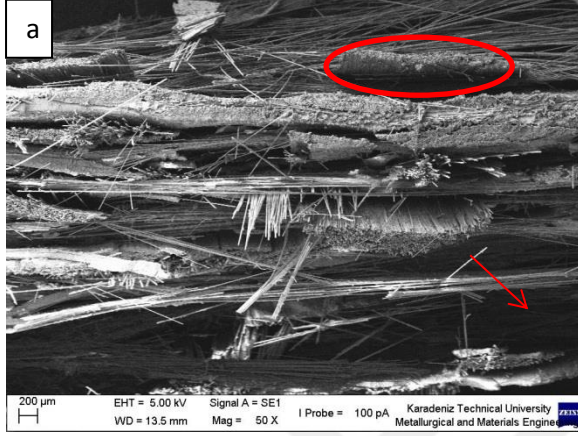
Numunelerin ASTM D2344M-00 standartına göre yapılan darbe deneyinden elde edilen kırılma enerjisi ve standart sapmaları Tablo 28’de gösterilmiştir.

Tablo 28.Numunelerin Kırılma Enerjisi İle Standart Sapmaları

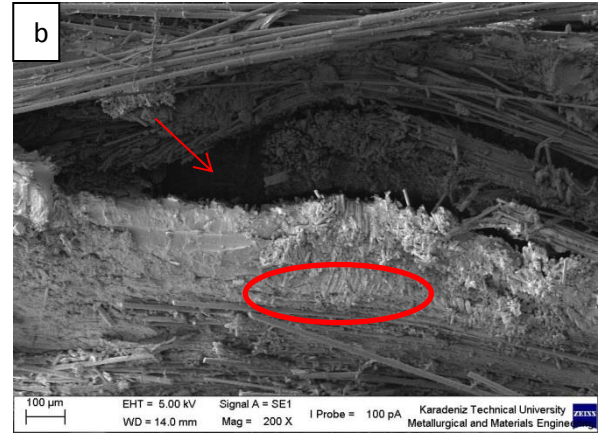
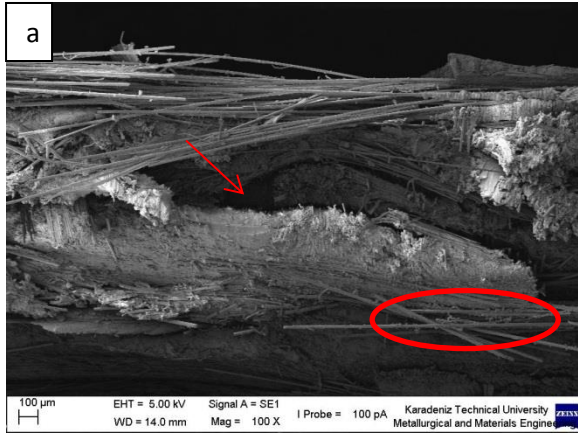
Gruplar	Kırılma Enerjisi (J)	Kırılma Enerjisi Standart Sapma
10KP	1,76	0,51
10BP	2,19	0,13
20KP	5,53	3,24
15KP	4,24	0,38
15BP	5,44	0,76
20BP	10,98	0,47
20KV	9,96	1,75
20BV	12,44	2,98
10K10BP	7,74	0,72
10K10BV	5,41	1,04
10K10BP% 1gr	13,32	4,28
10K10BV% 1gr	12,08	2,89
14B6KP	7,29	0,23
14B6KV	12,50	4,02
14K6BP	6,58	0,13
14K6BV	12,16	2,19

3.3. SEM Görüntüleri

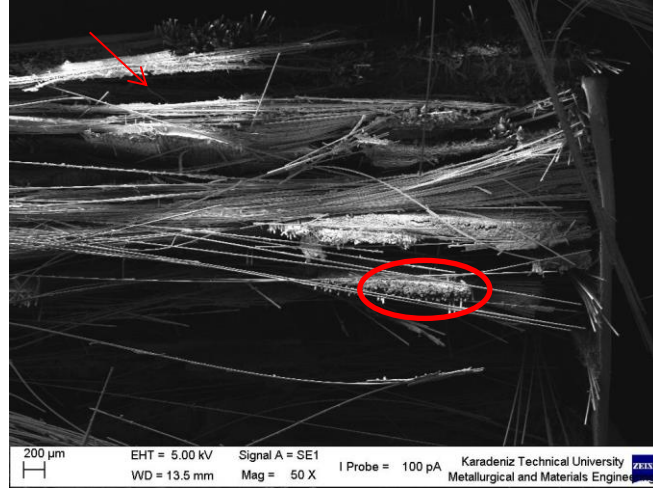
Bu bölümde darbe deneyine tabi tutulmuş numunelerin, kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobunda (SEM) çekilmiş görüntüleri incelenmiştir.



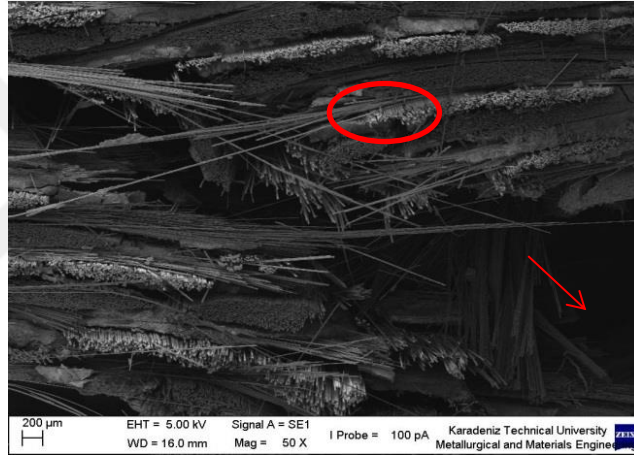
Şekil 15. 10K10BP Hibrit numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, (a) 50x büyütme, (b) 100 x büyütme (Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini göstermektedir.)



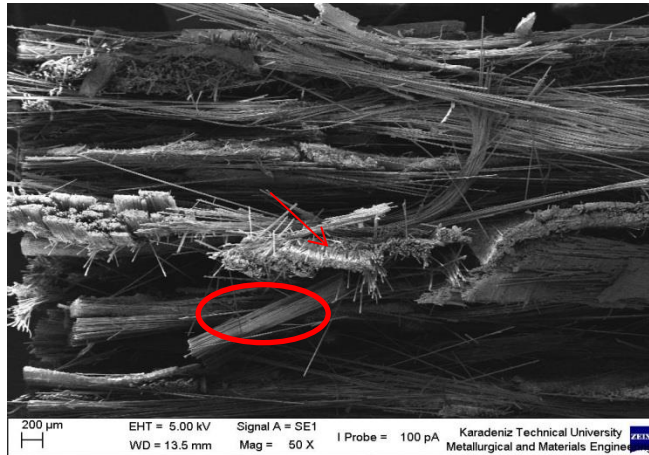
Şekil 16. 10K10B%1 Grafen numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, (a) 100x büyütme, (b) 200x büyütme (Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini göstermektedir.)



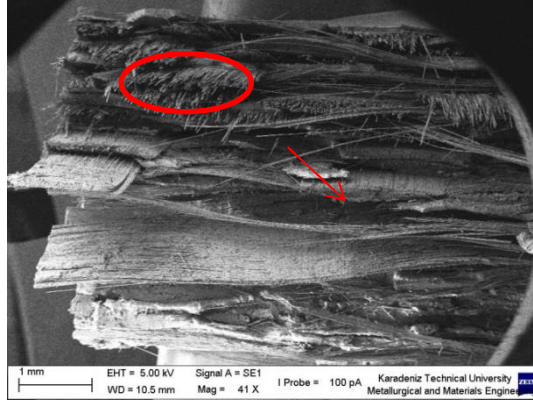
Şekil 17.14B6K P Numunesinin Kırılma Yüzeyi SEM Görüntüsü, 50X Büyütme



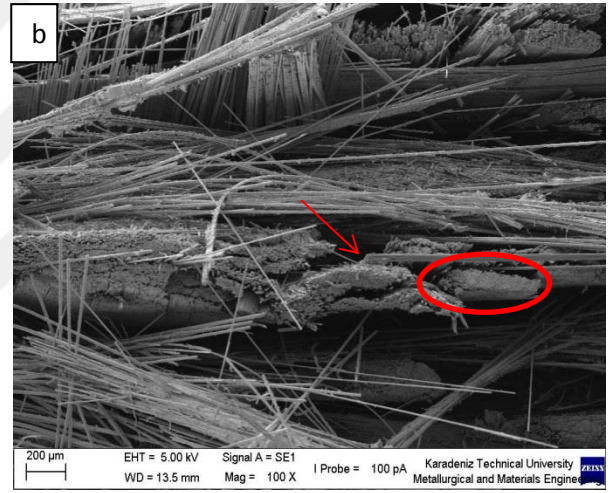
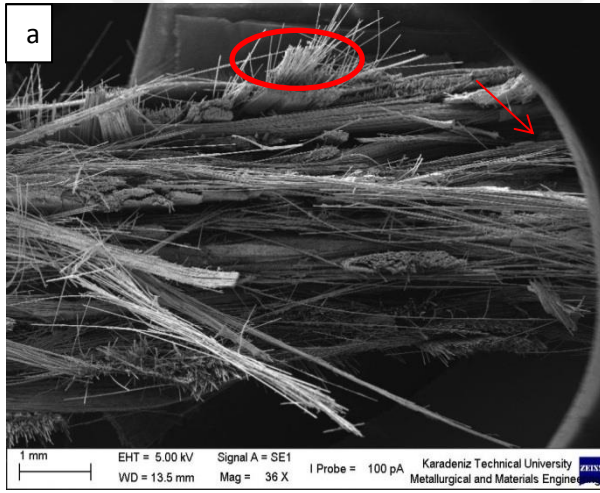
Şekil 18. 14B6K V Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, 50 x büyütme (Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini göstermektedir.)



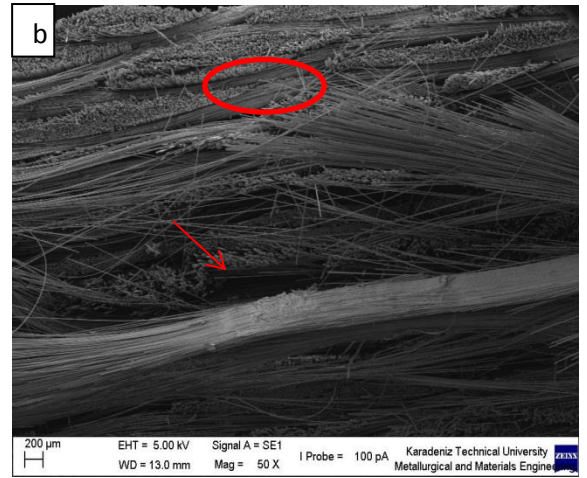
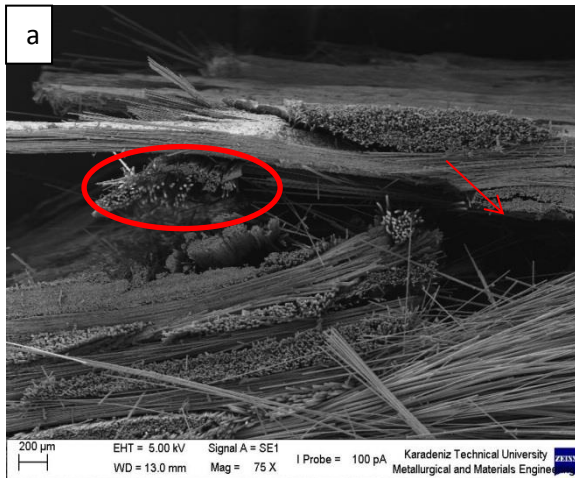
Şekil 19.10K10BV %1 Grafen numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü (Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini göstermektedir.)



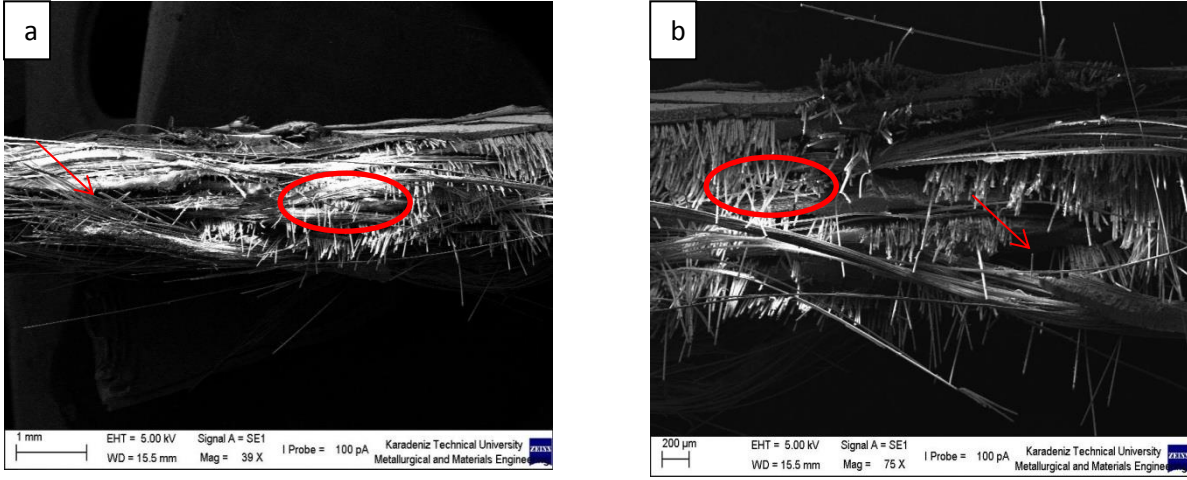
Şekil 21. 14K6B P Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü, (a) 36 x büyütme, (b) 100x büyütme (Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini göstermektedir.)



Şekil 22.20BV Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü (Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini göstermektedir.)



Şekil 20. 14K6B V Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü,(a) 70 x büyütme, (b) 50 x büyütme (Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini



Şekil 23. 20KV Numunesinin kırılma yüzeyi sem görüntüsü,(a) 39x büyütme, (b) 75x büyütme
(Kırmızı ok ile gösterilen porozitedir. Kırmızı daire ise elyaf demetini göstermektedir.)

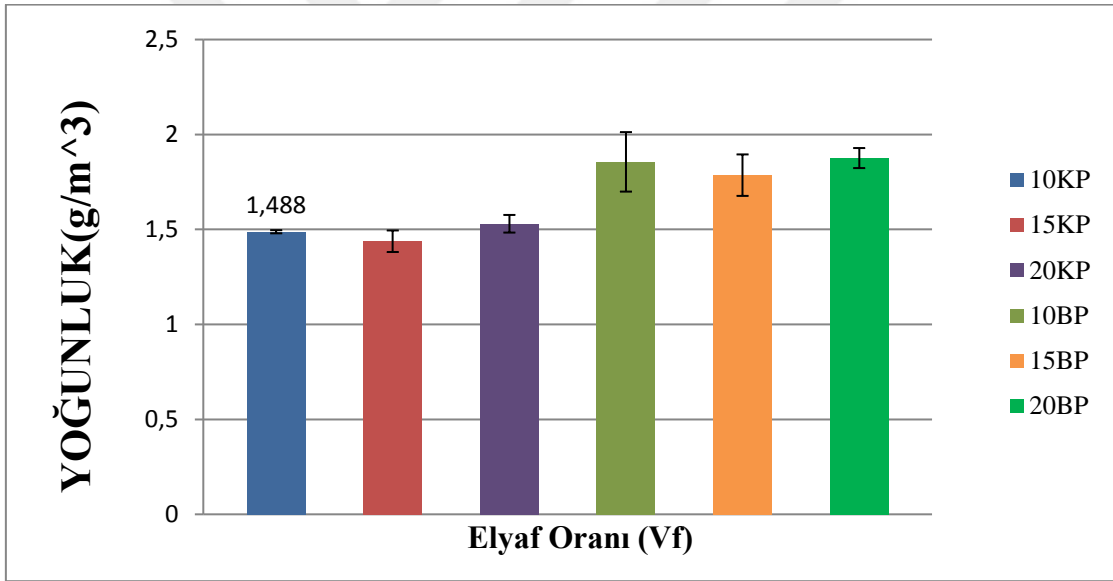


4. İRDELEME

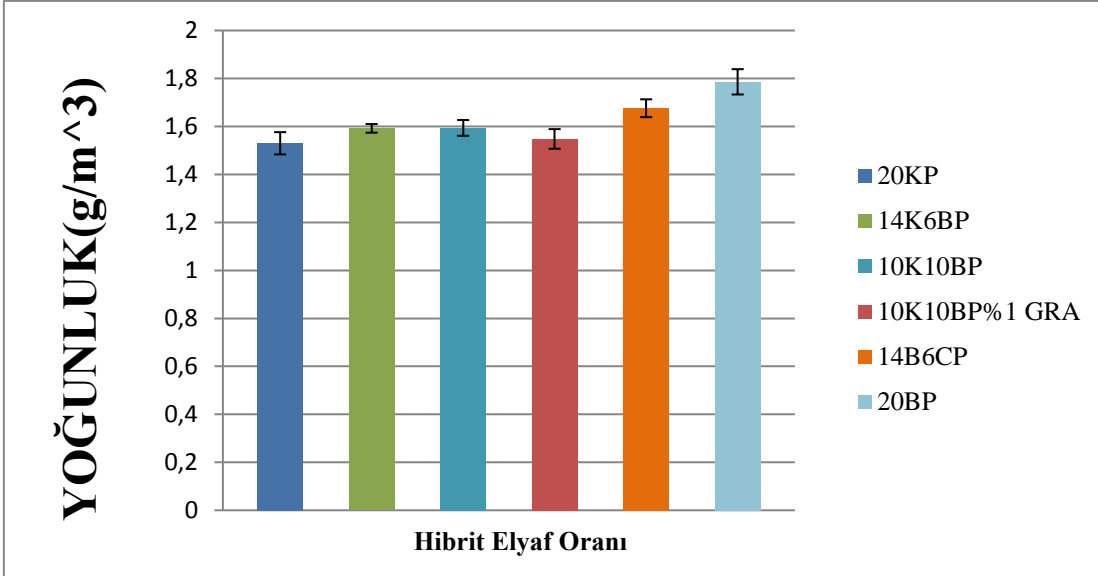
Bu bölümde 2 farklı matris malzemesi (polyester ve vinil ester) ile üretilmiş olan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine diziliş sırasının etkisi grafikler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca %1 grafen eklenmiş numunelerin eklenmemiş olan numunelerle karşılaştırılması da grafiklerle açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1. Fiziksel Özellikler

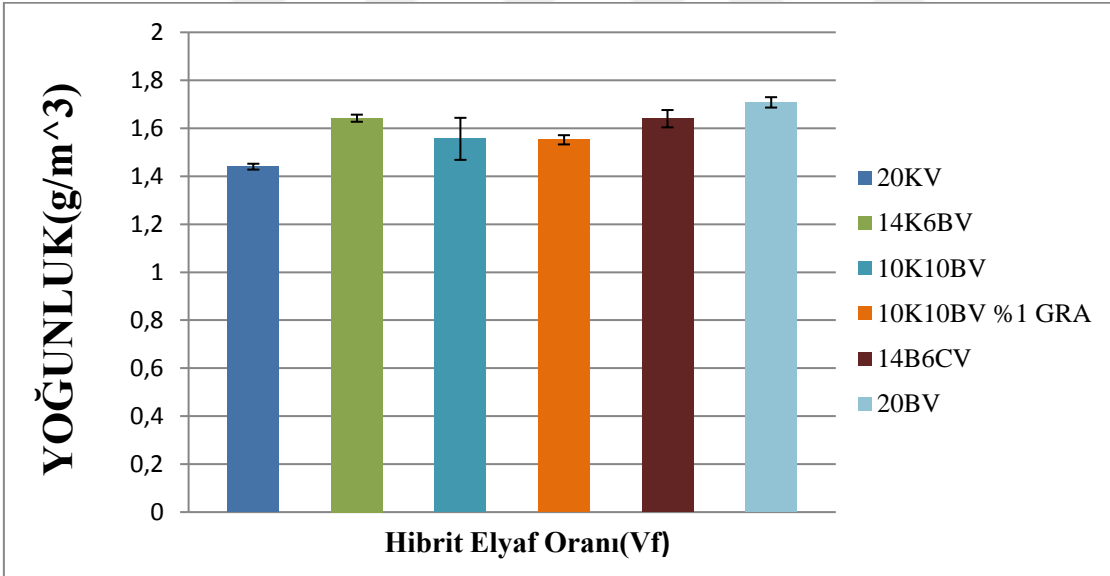
Üretilen numunelerin yoğunluk değerleri Şekil 24-26 'de gösterilmiştir.



Şekil 24. Karbon ve bazalt polyester numunelerin yoğunluk değerleri



Şekil 25. Polyester hibrit kompozit numuneler, karbon ve bazalt elyaf ile üretilmiş numuneler ve grafen katkılı hibrit numunelerin yoğunluklar değerleri



Şekil 26. Vinil ester hibrit kompozit numuneler, karbon ve bazalt elyaf ile üretilmiş numuneler ve grafen katkılı hibrit numunenin yoğunluk değerleri

Yapılan yoğunluk hesaplamaları sonucunda elde edilen grafiklere göre; bazalt elyaf ile üretilen numunelerin, karbon elyaf ile üretilen numunelere göre daha yüksek yoğunluk değerlerine sahip olmasının sebebi; bazalt elyafın karbon elyafa göre daha yüksek

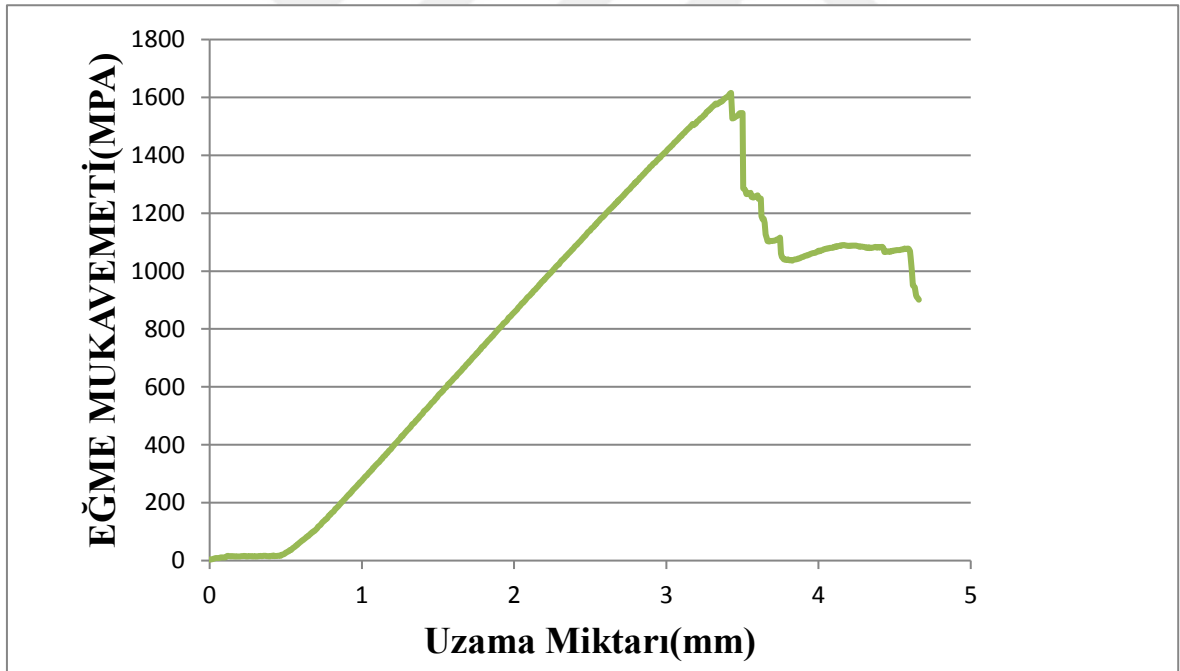
yoğunluk değerine sahip olmasıdır.

Ayrıca hibrit numunelerde bazalt elyafın katman sayısının fazla olduğu numunelerin, karbon elyafın katman sayısının yüksek olduğu numunelere göre yüksek yoğunluk değerine sahip olmasının sebebi de yine bazalt elyafın karbon elyafa göre daha yüksek yoğunluk değerine sahip olmasıdır. Grafen eklenen numunelerde ise farklılık gözlenmemiştir bunun sebebi ise eklenen grafenin miktarının her iki numunede de %1 oranında olmasıdır.

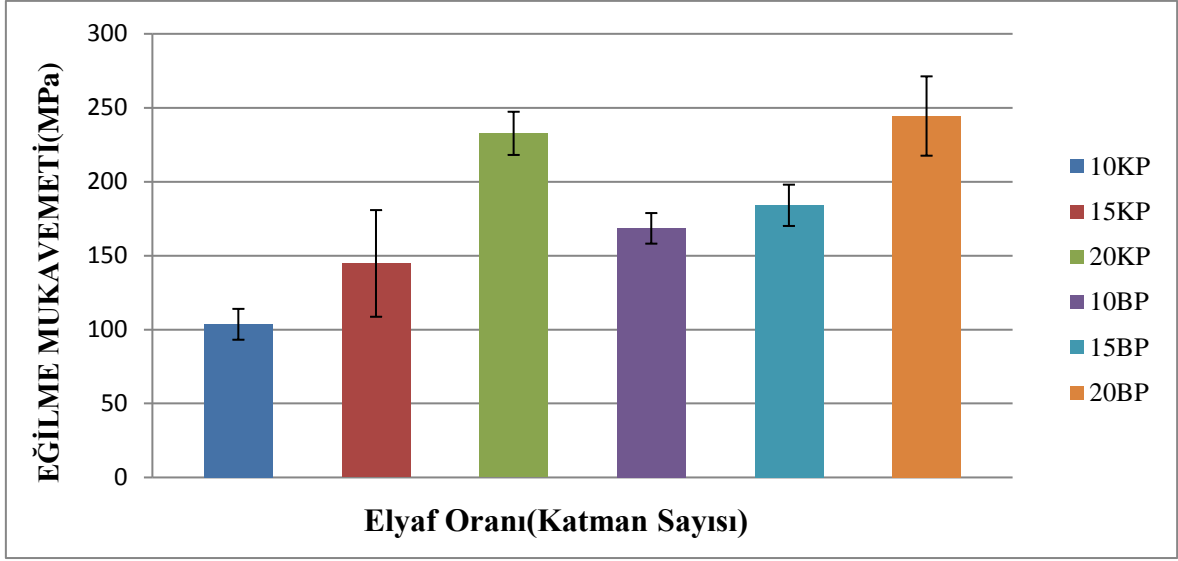
4.2. Mekanik Özellikler

4.2.1. Eğilme Mukavemeti

Üretilen numunelerin eğilme mukavemeti değerleri Şekil 27-31’de gösterilmiştir.

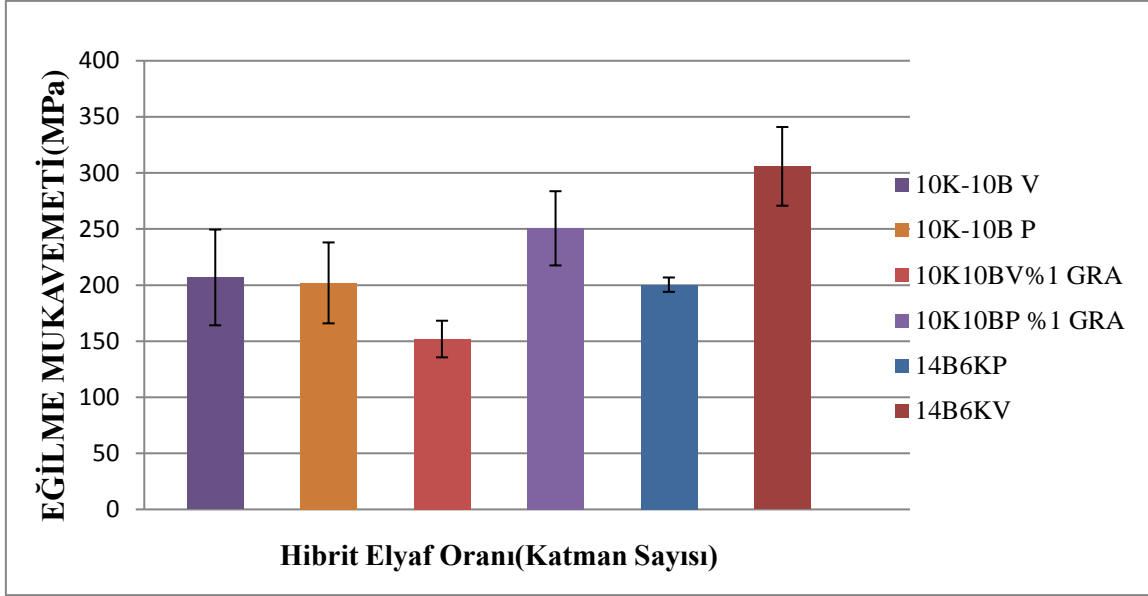


Şekil 27. 10K10BP %1 Grafen numunesinin eğilme mukavemeti grafiği



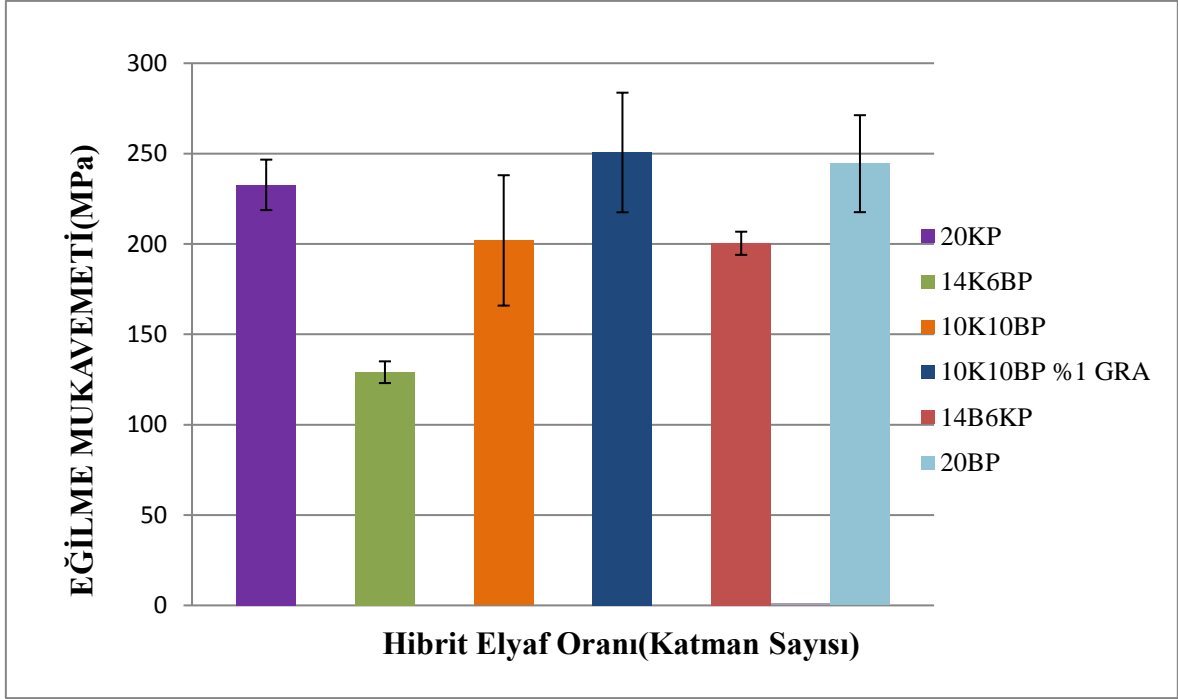
Şekil 28. Karbon ve bazalt elyafla üretilen polyester numunelerin eğilme mukavemetleri

Karbon polyester numunelerin, bazalt polyester numunelere göre daha düşük eğilme mukavemeti göstermesinin en büyük nedeni bazalt elyafların karbon elyaftan daha yüksek süneklik değerlerine sahip olmasıdır. Bazalt elyaf daha sünek bir malzeme olması sebebiyle eğilmeye karşı gösterdiği direnç daha fazladır ve yaptığımız deneylerde bu olayı desteklemektedir. Ayrıca Zhang Min, WU Gang, Jiang Yumei, Tian Ye ve Hu Xiangın yapmış olduğu çalışmada bazalt elyafla yapılan numunelerin eğilme mukavemetinin karbon elyafa alternatif olabileceğini ve yüksek olduğunu belirtmişlerdir. (Chonghai & Xinwei, 2013)



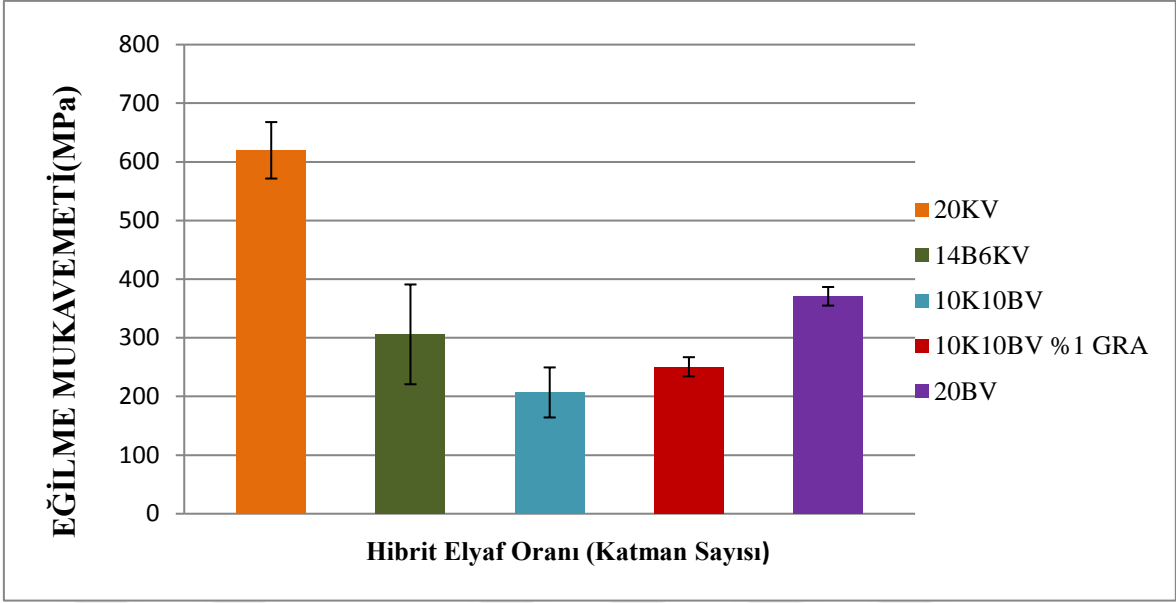
Şekil 29. Farklı reçineyle üretilmiş hibrit numunelerin eğilme mukavemeti değerleri

Hibrit numunelerde vinil ester numunelerin eğilme mukavemetinin polyester numunelerden yüksek olmasının sebebi kullanılan vinil ester reçinenin polyester reçineden daha yüksek mukavemete sahip olması ve ayrıca bazalt elyaf katman sayısının fazla olduğu numunelerin yüksek mukavemete sahip olmasının sebebi de bazalt elyafın karbon elyaftan daha yüksek sünekliğe sahip olmasıdır. Ayrıca diziliş sırasına göre üretilen numunelerde diziliş sırasının bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 30. Polyester reçineyle üretilmiş olan hibrit numunelerin, karbon ve bazalt elyaf ile üretilmiş numunelerin ve grafen eklenmiş hibrit numunelerin eğilme mukavemet değerleri

Polyester reçineyle üretilmiş olan hibrit numunelerde, diziliş sırasına göre üretilen numunelerde eğilme mukavemetinin fazla olması ve bazalt elyafın sünekliğinin karbon elyaftan daha yüksek olmasıdır. Jae Il Lim, Kyong Yop Rhee,, Hyun Ju Kim and Dong ve Ho Jung diziliş sırası üzerinde yaptıkları çalışmada da bazalt elyafı içerisinde fazla bulunduran kompozitlerin eğme mukavemetinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca grafen eklenen numunede eklenmeyen ve aynı katman sayısına sahip numuneye göre yüksek mukavemet göstermesinin sebebi grafenin yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasıdır bu da numunenin mukavemet değerlerine yansımıştır.

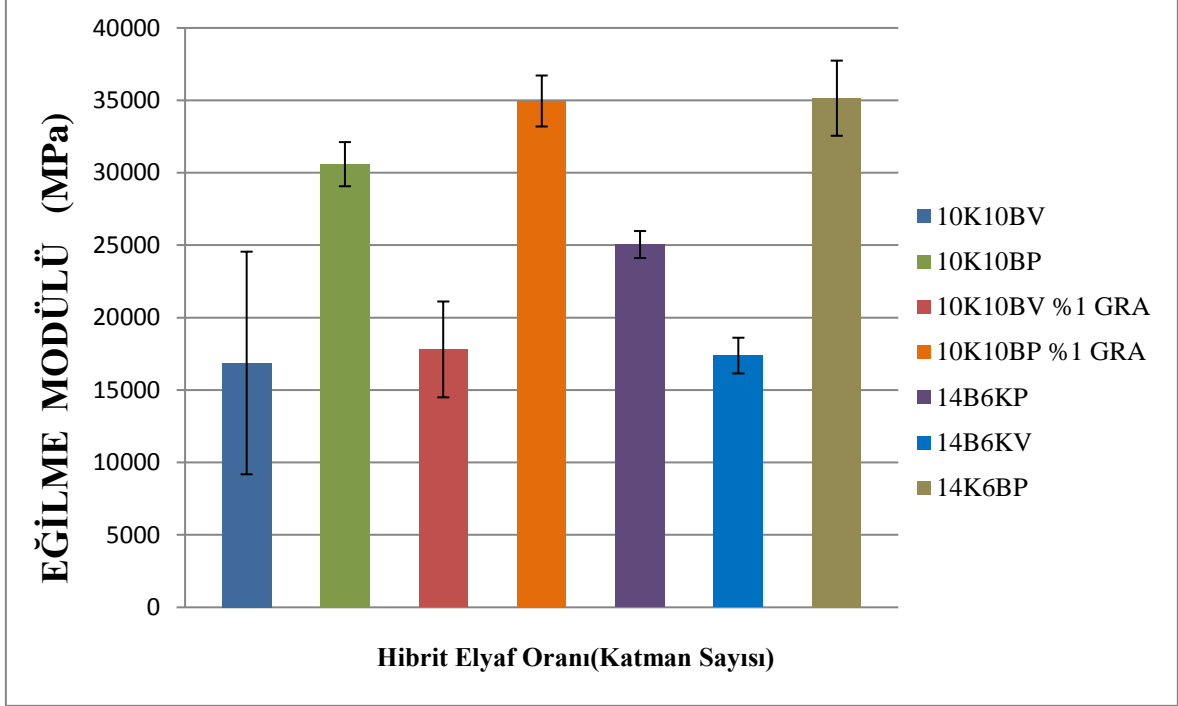


Şekil 31. Vinil ester ile üretilmiş numunelerin, karbon, bazalt elyafı ile üretilen ve grafen eklenerek üretilen numunelerin eğilme mukavemet değerleri

Vinil ester reçine ile üretilen hibrit numunelerde karbon elyafı ile üretilen numunelerin bazalt elyaf ile üretilen numunelerden yüksek eğilme mukavemeti göstermesinin sebebi karbon elyafın vinil ester numuneyle matris-elyaf uyumunun daha iyi olmasıdır. Ayrıca grafen eklenerek üretilen numunede eklenmemiş olan numuneden daha yüksek eğilme mukavemeti göstermesinin sebebi eklenen grafenin yüksek eğilme mukavemetine sahip olmasıdır.

4.2.2. Eğilme Modülü

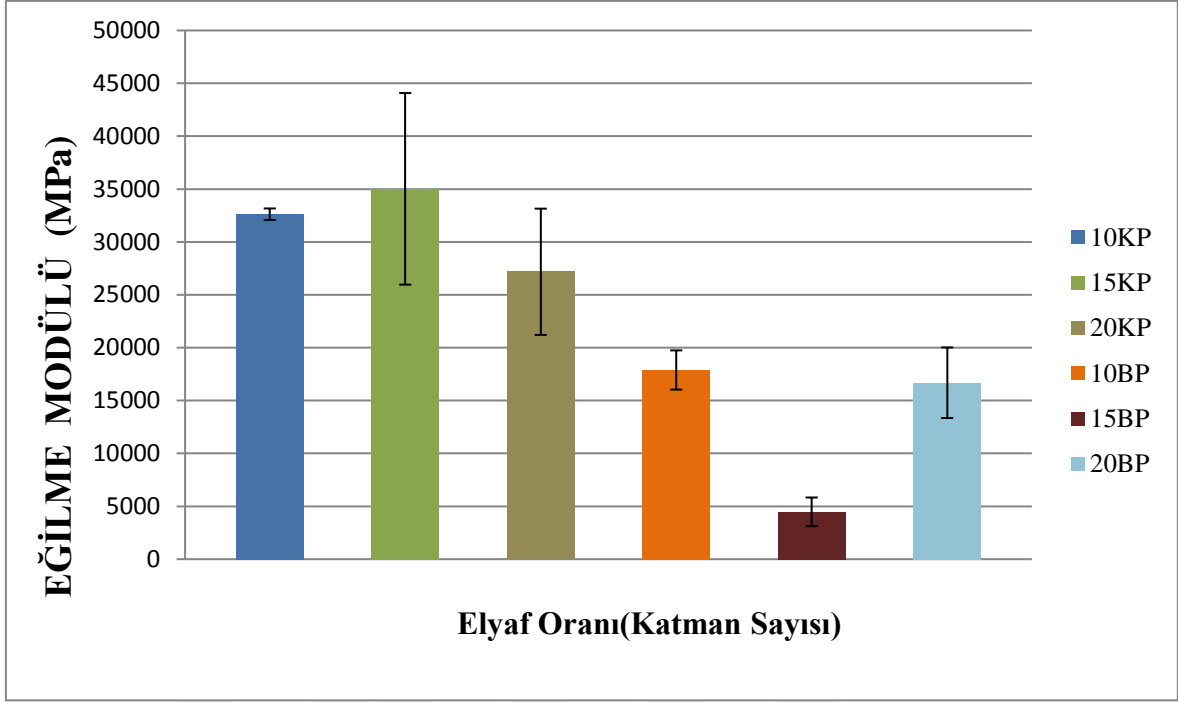
Üretilen numunelerin eğilme modülü değerleri Şekil 32-35’da gösterilmiştir.



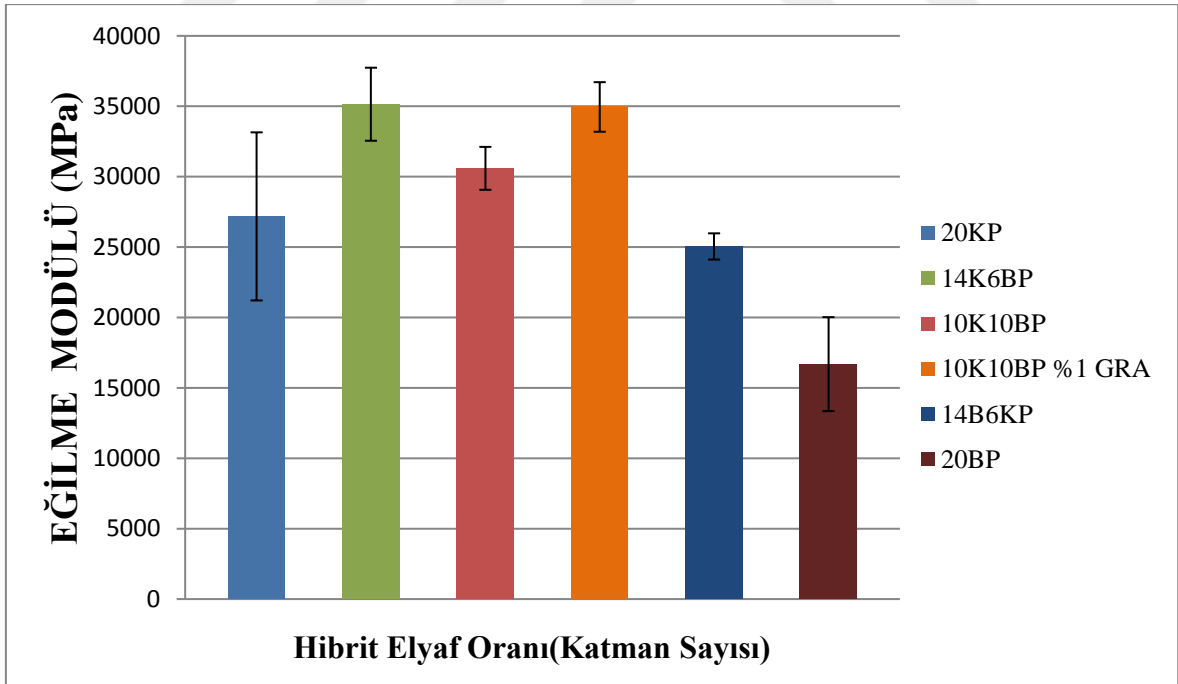
Şekil 32. Vinil Ester ve polyester reçineyle üretilen hibrit numunelerin eğilme modülü değerleri

Eğilme modülü değerlerinde mukavemet değerlerine göre tam ters bir etki görülmektedir. Bunun sebebi olarak ise polyester reçinenin eğilme modülü değerlerinin vinil estere göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

I. D. G. Ary Subagia and Yonjig Kim karbon bazalt hibritler üzerinde yaptıkları çalışmada karbon elyafın fazla olduğu numunelerin eğilme elastikiyet modülünün daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. (Ary Subagia & Kim, 2013)

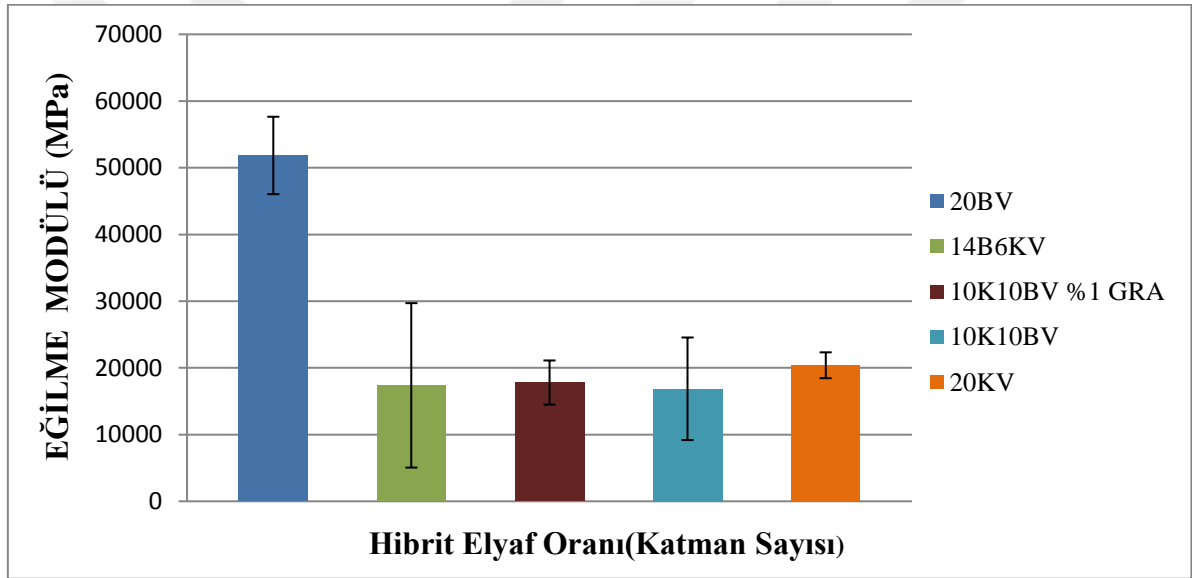


Şekil 33. Polyester numunelerin eğilme modülü değerleri.



Şekil 34. Polyester reçineyle hazırlanmış olan numunelerin eğilme modülü değerleri

Polyester reçineyle üretilen numunelerde eğilme modüllerinin değişimi şekildeki gibidir. Bunun sebebi ise eğilme deneyinden elde edilen eğride, eğilme modülün grafiğin altında kalan alan bize eğilme modülünü vermekte ve mukavemet değeri en yüksek olan numunede bu alan en küçük değere karşılık gelmektedir. Bazalt elyafı yapılan numunelerin eğilme mukavemetinin karbon elyafıdan yüksek olmasından dolayı eğilme modülü karbon numunelerden düşük olmuştur. Diziliş sırasına göre üretilen numunelerde karbon elyafın fazla olduğu numunelerin eğilme modülünün daha yüksek olmasının sebebi karbon elyafın sünekliliğinin bazalt elyafıdan düşük olmasıdır. Grafen katılan numunenin diğer numunelerden yüksek modül göstermesi ise grafen daha yüksek elastikiyet modülüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

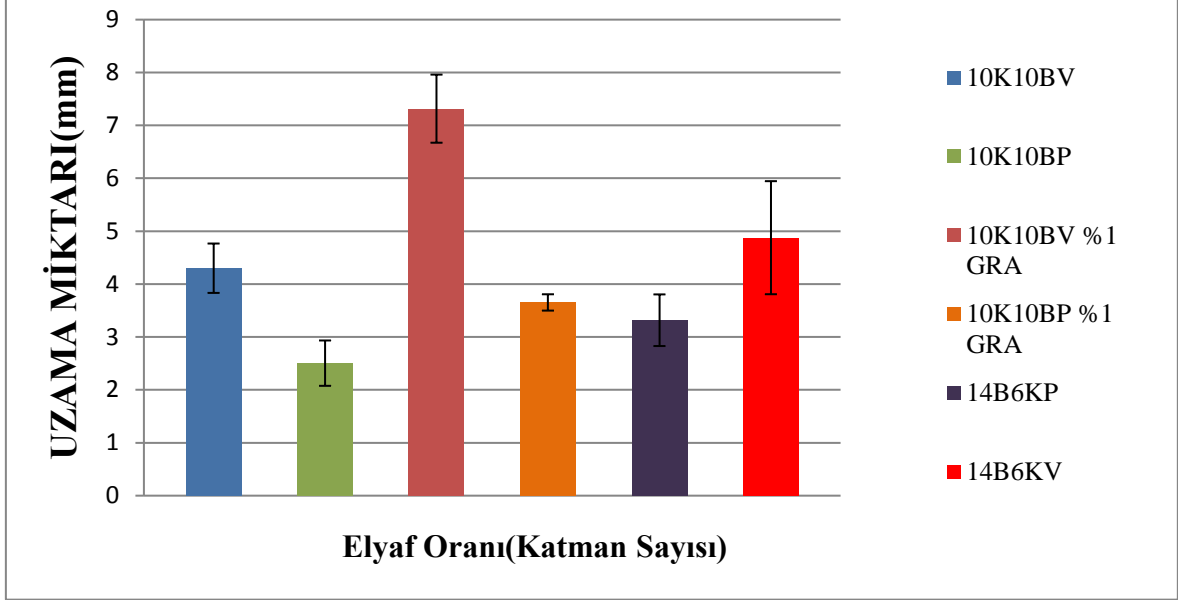


Şekil 35. Vinil ester reçine ile üretilmiş numunelerin eğilme modülü değerleri

Vinil ester reçine ile üretilmiş numunelerin eğilme modülü yukarıda gösterilmiştir. Vinil ester reçinenin sünekliliği düşük olduğundan, bazalt elyafı kullanılarak yapılan numunelerin eğilme modülü yüksek, karbon elyafı yapılan numunelerin eğilme modülü düşüktür.

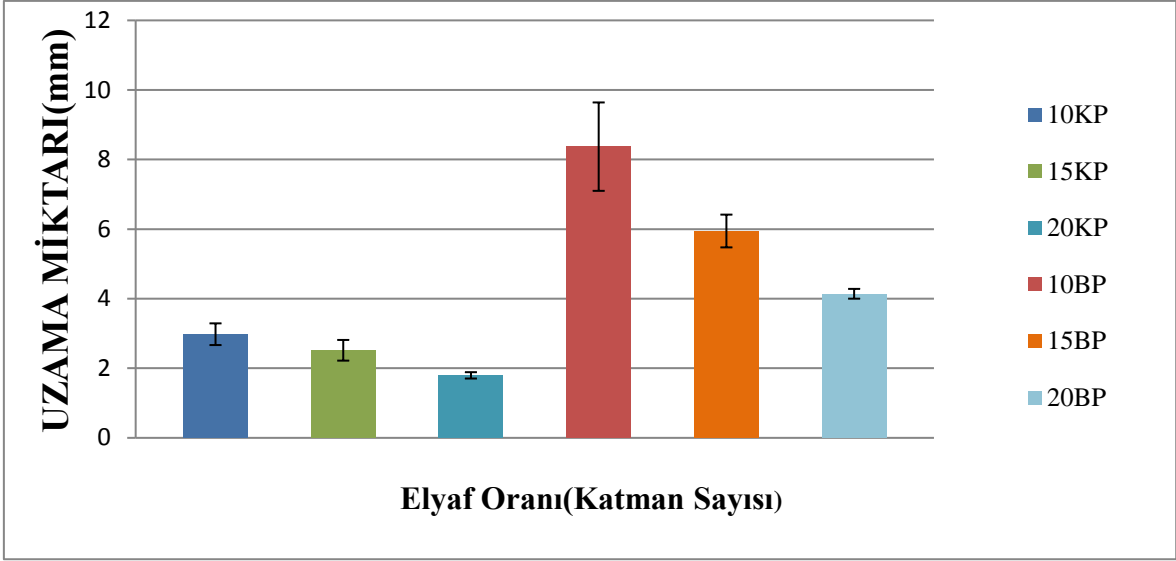
4.2.3. Uzama Miktarı

Numunelerin uzama miktarları Şekil 36-39'da gösterilmiştir.

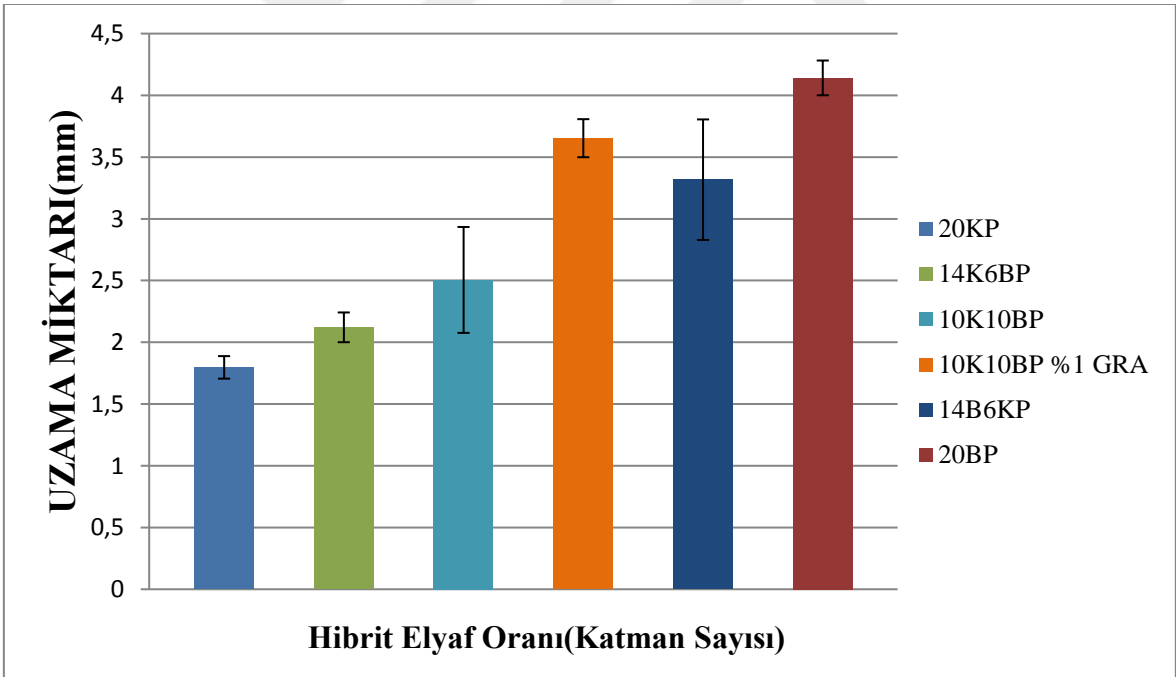


Şekil 36. Polyester ve vinil esterle üretilen hibrit numunelerin uzama miktarları

Vinil ester ile üretilmiş olan hibrit numunelerde uzama miktarı polyester reçineden daha fazladır bunun sebebi numunenin reçinenin etkisiyle daha yüksek mukavemete sahip olmasıdır. Diziliş sırasına göre üretilen numunelerde vinil ester reçine ile üretilen numunelerde uzama miktarının yüksek olması bazalt elyafla vinil ester reçinenin matris elyaf uyumunun daha iyi olmasıdır. Bu nedenden dolayı kuvvete dayanma süresi fazla ve yüzde uzaması daha yüksektir. Grafen eklenmiş olan numunenin grafen eklenmemiş numuneye oranla daha yüksek uzamaya sahip olma sebebi de grafen eklenmesinin numunenin mukavemetini arttırmasıdır.



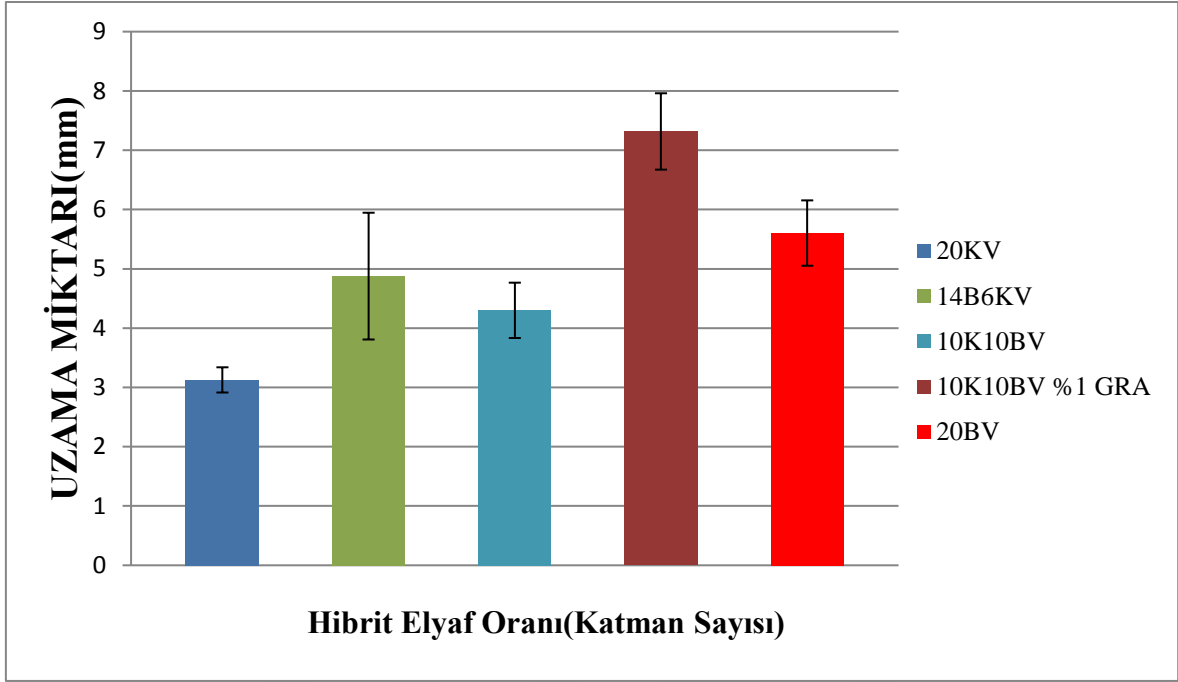
Şekil 37. Polyester reçineyle üretilmiş olan karbon ve bazalt elyaf numunelerinin uzama miktarları



Şekil 38. Polyester reçineyle hazırlanmış hibrit ve tek elyafli numunelerin uzama miktarları

Eğilme modülünde olduğu gibi uzama miktarında da mukavemeti yüksek olan numune yüke daha uzun süre dayanmakta ve uzama miktarı bu nedenden dolayı daha

yüksek çıkmaktadır. Diziliş sırasının dikkate alındığı numunelerde ise bazalt elyafın fazla olduğu numunelerde uzama miktarı daha fazla olduğu gözlenmiştir.

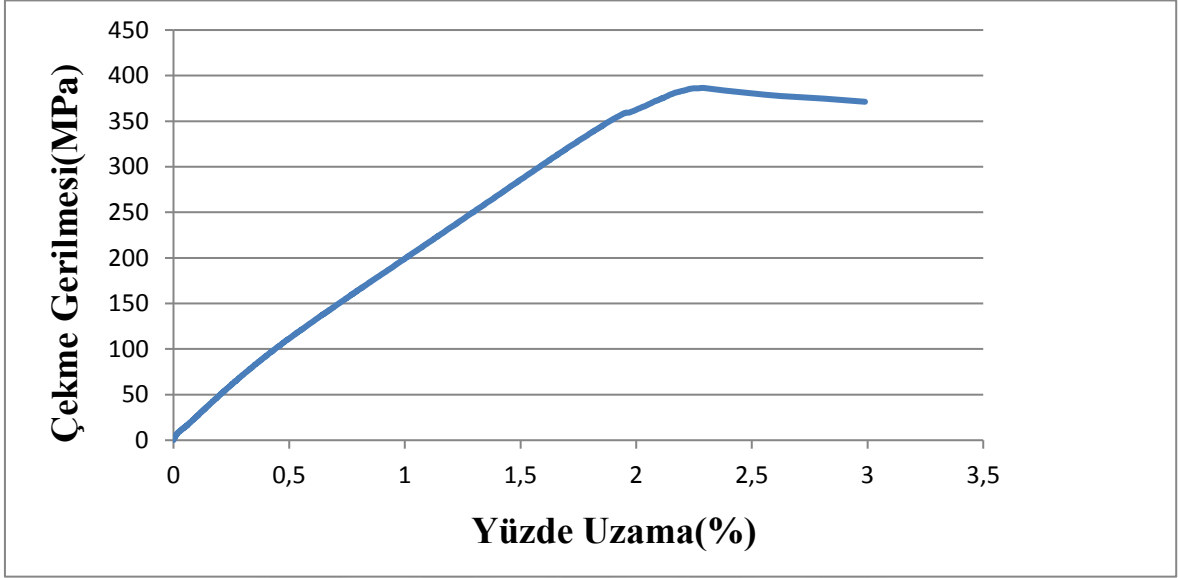


Şekil 39. Vinil ester ile üretilen hibrit ve tek elyafli numunelerin uzama miktarları

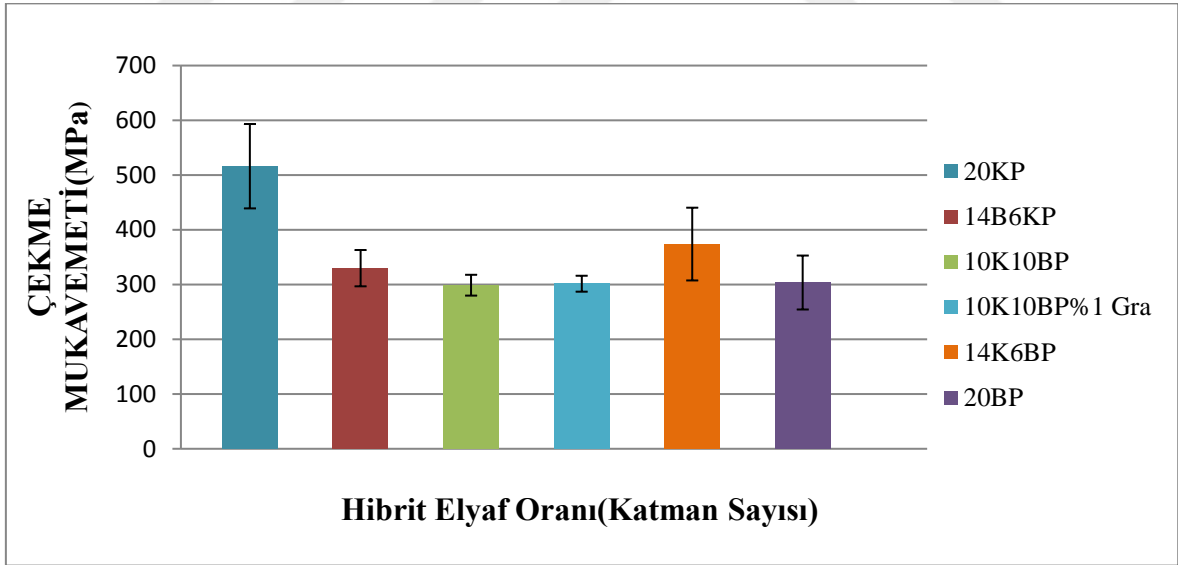
Vinil ester reçineyle üretilen numunelerde grafen eklenmiş numunede en yüksek uzama miktarı görülmüştür. Buna sebep olarak ise grafenin yüksek süneklik ve eğilme mukavemeti sebep olmaktadır. Bazalt elyafın ağırlıkta olduğu numuneler bazalt elyafın sünek olması ve mukavemetinin yüksek olmasından dolayı daha fazla uzamaya sahiptir.

4.2.4. Çekme Mukavemeti

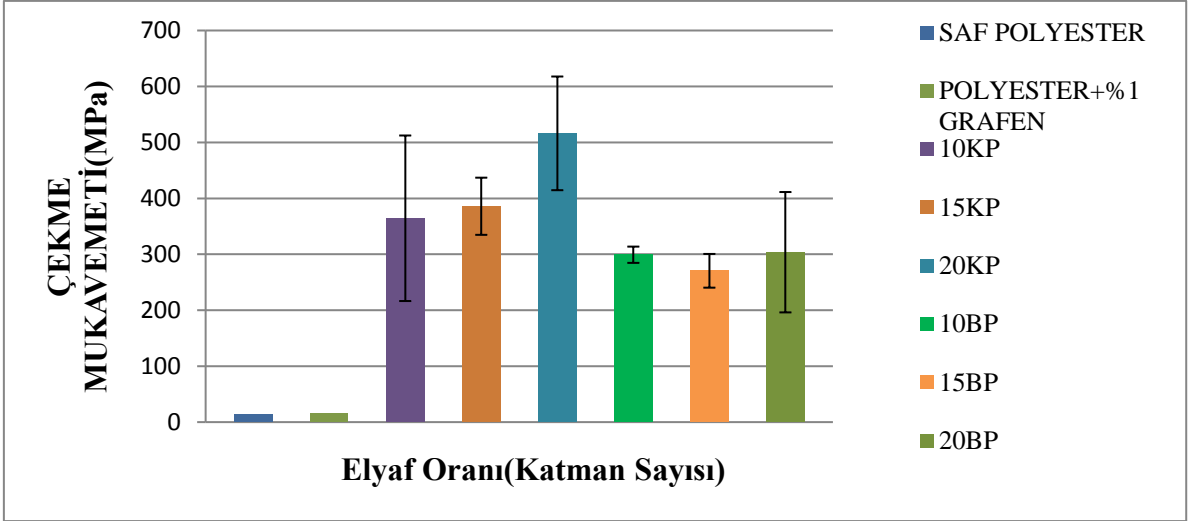
Üretilen numunelere ait çekme mukavemeti grafikleri Şekil 40-43'te gösterilmiştir.



Şekil 40. 15BP vnumunesinin çekme grafiği

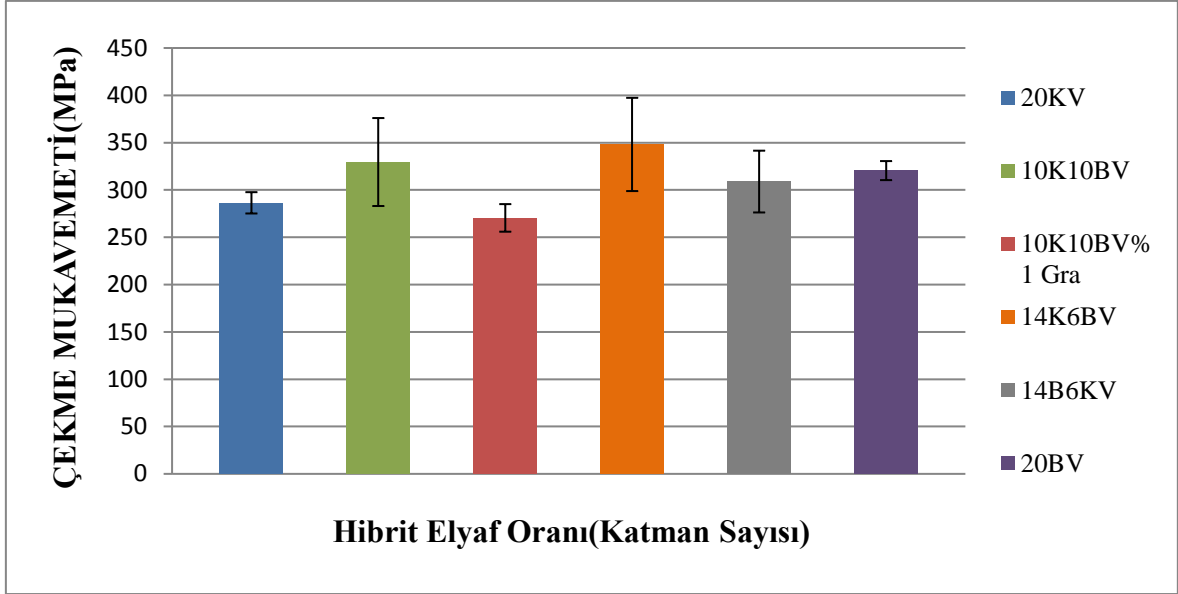


Şekil 41. Polyester reçineyle üretilmiş olan numunelerin çekme mukavemeti değerleri



Şekil 42. Polyester Reçineyle Üretilen Tek Elyafı Numunelerin Çekme Mukavemeti Değerleri

Şekil 42’de karbon elyafın katman olarak fazla olduğu numunelerde çekme mukavemetinin fazla olduğunu görmekteyiz. Şekil 43’de de tek elyafı numunelerde karbon elyafın katman sayısının fazla olduğu numunelerin çekme mukavemetinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Böylelikle 2 grafikten elde edilen sonuca göre karbon elyaf kullanılan numunelerin çekme mukavemeti daha yüksektir. Ayrıca Şekil 42’de diziliş sırası göz önünde bulundurularak üretilen numunelerde karbon elyaf katman sayısının fazla olduğu numunelerde mukavemet daha yüksektir bunun sebebi ise karbon elyafın bazalt elyafa oranla daha yüksek çekme mukavemetine sahip olmasıdır.

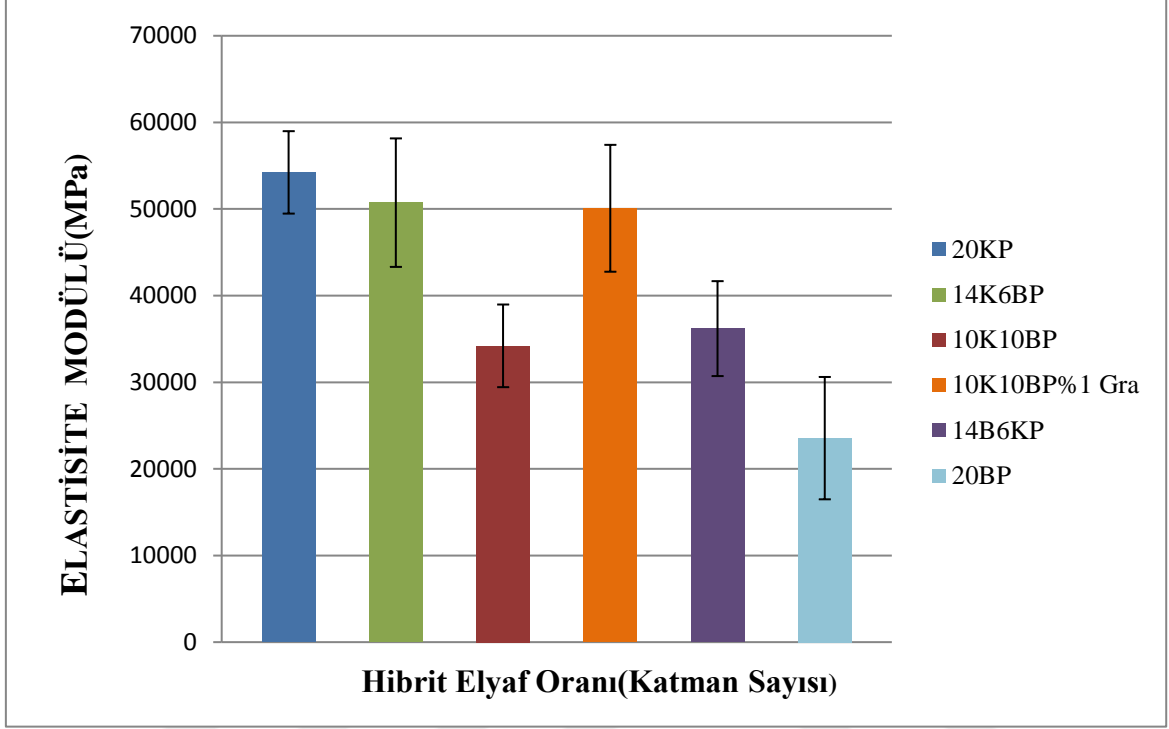


Şekil 43. Vinil ester reçineyle üretilen numunelerin çekme mukavemeti değerleri

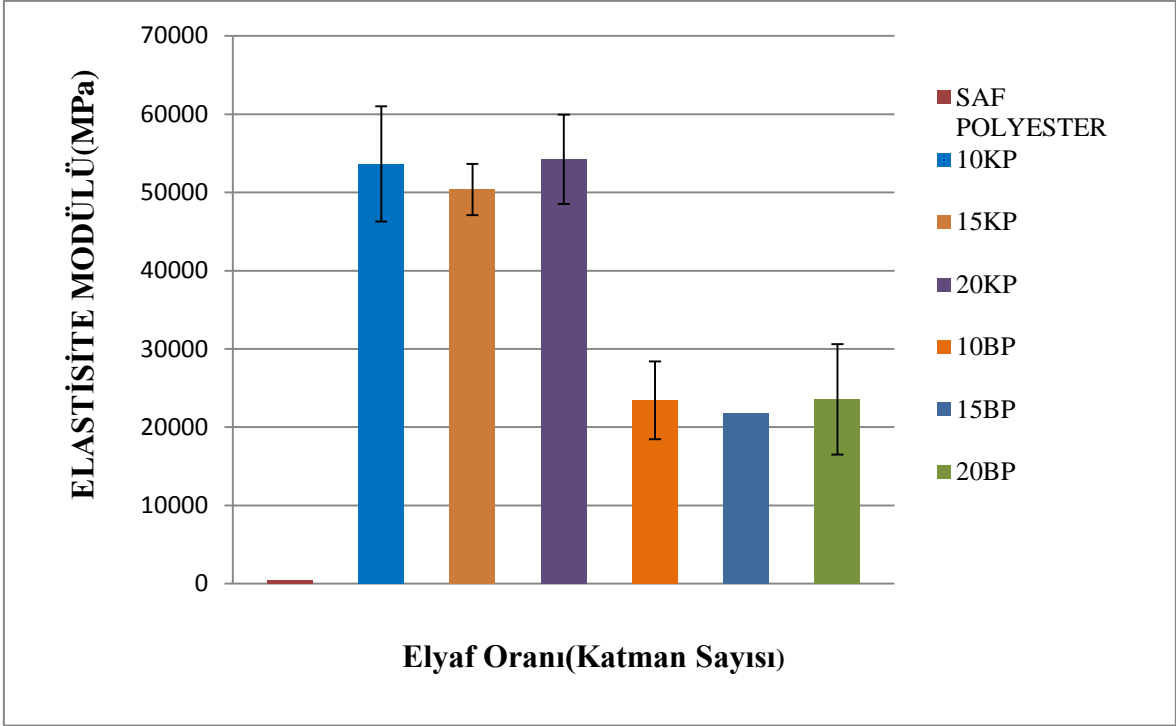
Vinil ester reçineyle üretilen tek elyafli numunelerde bazalt elyafın mukavemet değerinin daha yüksek olduğunu görüyoruz. Bunun sebebi bazalt elyafların vinil ester reçine ile oluşturdukları elyaf-matris bağının sağlam olması ve vinil ester reçinenin mukavemetiyle bazalt elyafın mukavemeti , karbon elyaf ve vinil ester mukavemetinden daha yüksek çıkmıştır.

4.2.5. Elastisite Modülü

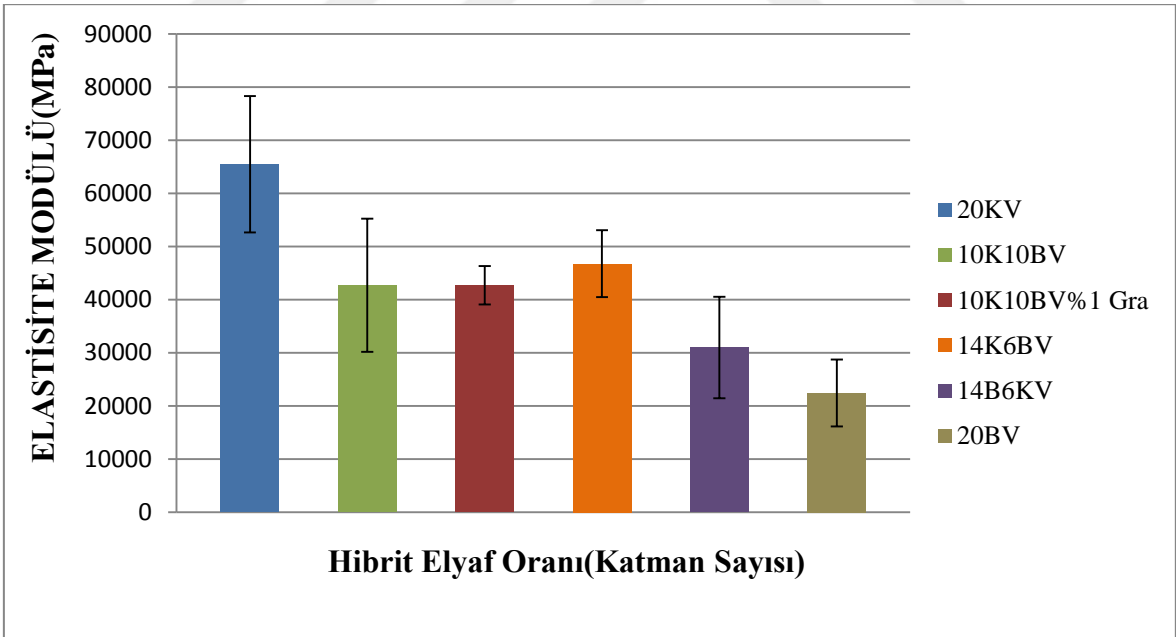
Üretilen numunelere ait elastisite modülü değerleri Şekil 44-46'de gösterilmiştir.



Şekil 44. Polyester reçineyle üretilen tek elyaflı ve hibrit numuneler



Şekil 45. Polyester reçineyle üretilmiş karbon ve bazalt numunelerin elastisite modülü değerler

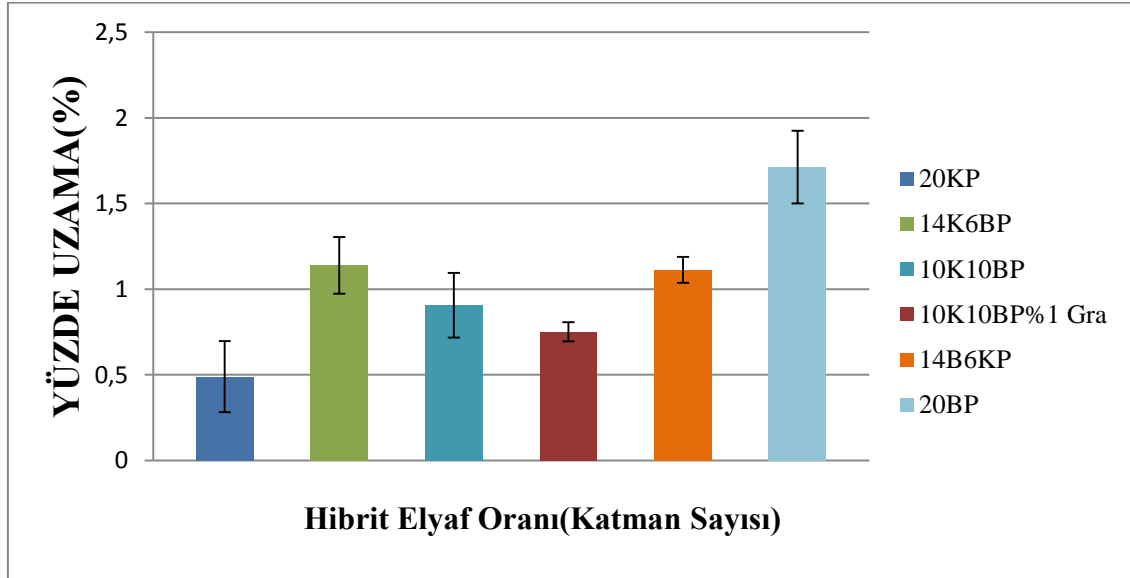


Şekil 46. Vinil ester reçineyle üretilen hibrit ve tek elyafli numunelerin elastisite modülü değerleri

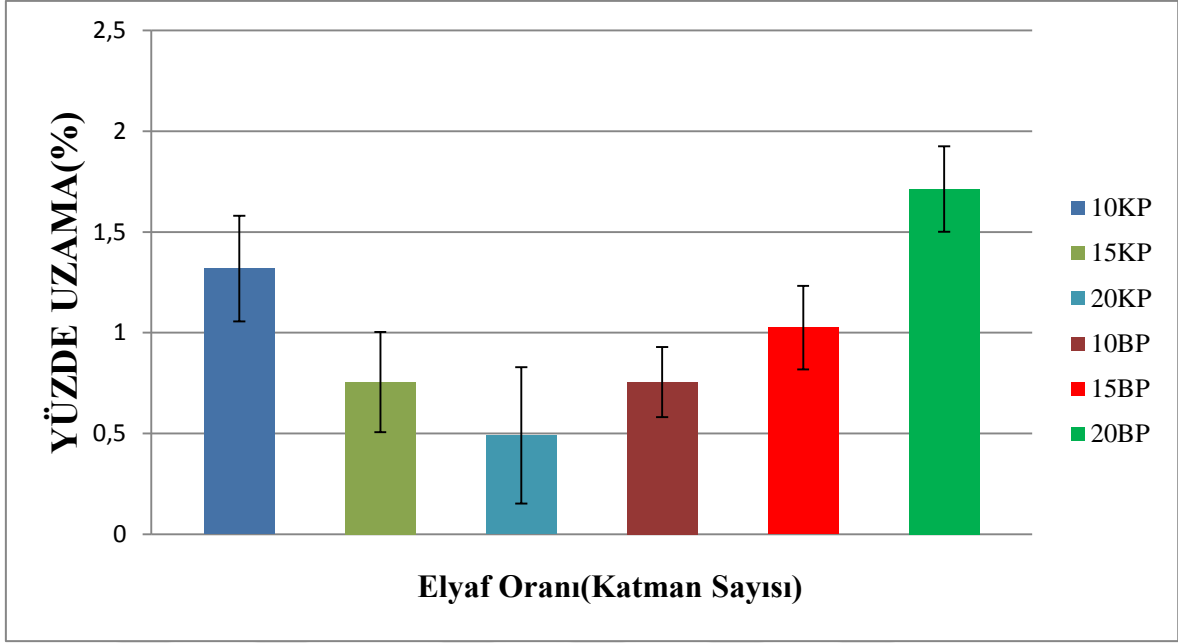
Şekil 46 da görüldüğü gibi karbon elyafın katman olarak fazla olduğu numunelerde elastisite modülü yüksektir. Sebebi elastisite modülünün mukavemetle doğru orantılı olarak artması ve karbon elyafın mukamevetinin bazalt elyaftan daha yüksek olmasıdır. Ayrıca diziliş sırasına göre üretilen hibrit numunelerde de karbon elyafın katman olarak fazla olduğu numunelerin elastisite modülü yüksektir. Şekil 47’de yine karbon numunelerin bazalt numunelere göre yüksek elastisite modülüne sahip olduğu belirtilmiştir. Buna sebep olarak da yine karbon elyafın mukavemetinin bazalt elyaftan yüksek olmasıdır. Grafen eklenmiş numunenin elastisite modülü eklenmemiş numuneden yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi ise grafenin mukavemetinin yüksek olmasıdır. Şekil 48’da vinil ester reçineyle üretilmiş numunelerde de karbon elyafın fazla olduğu numunelerin elastisitesi daha yüksektir. Nedeni ise karbon elyafın bazalt elyafa göre daha yüksek mukavemete sahip olmasıdır. Grafen eklenmiş numunenin elastisitesi eklenmemiş olan numuneye göre daha yüksektir bunun sebebi grafenin yüksek mukavemet ve elastisiteye sahip olmasıdır.

4.2.6. Yüzde Uzama

Üretilen numunelerin yüzde uzama değerleri Şekil 47-49’de gösterilmiştir.



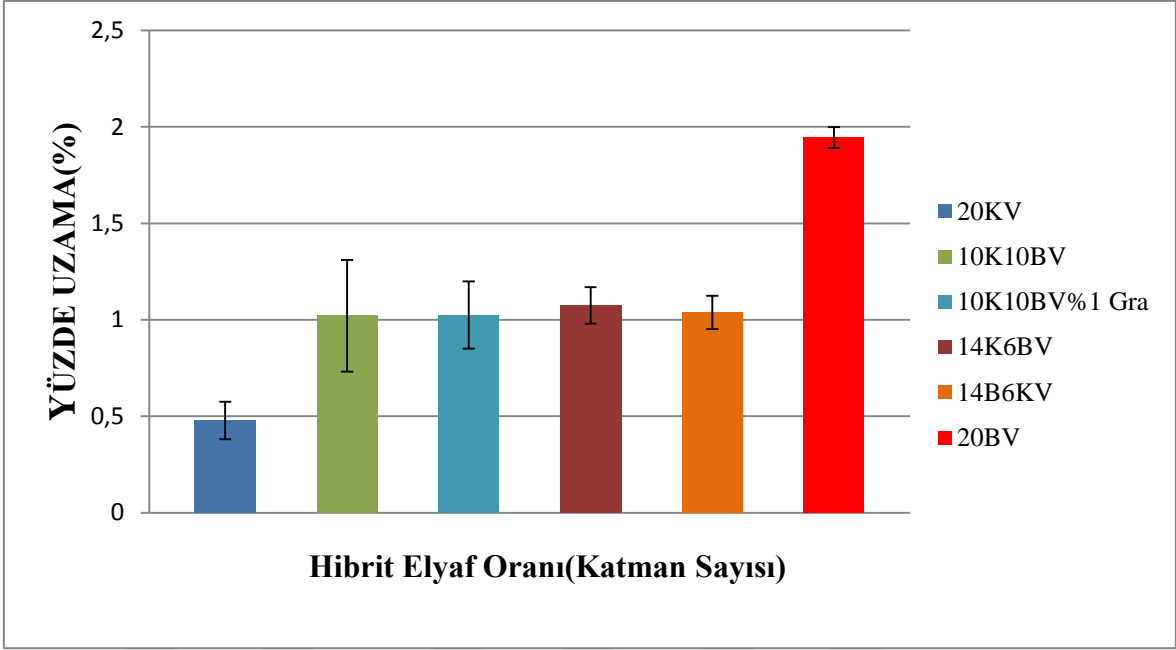
Şekil 47. Polyester reçineyle üretilen hibrit ve tek elyafı numunelerin yüzde uzama değerleri



Şekil 48. Polyester reçineyle üretilmiş tek elyafli numunelerin yüzde uzama değerleri

Polyester reçineyle üretilmiş tek elyafli numunelerde elyafların yüzde uzama değerleri mukavemet değerleriyle ters orantılı olarak değişmektedir ve karbon elyafların mukavemet değeri bazalt elyaftan yüksek olduğu için yüzde uzaması daha düşüktür.

Grafen katkısı numunenin yüzde uzaması düşürmüştür. Bunun sebebi grafenin numunenin mukavemetini arttırmasıdır.

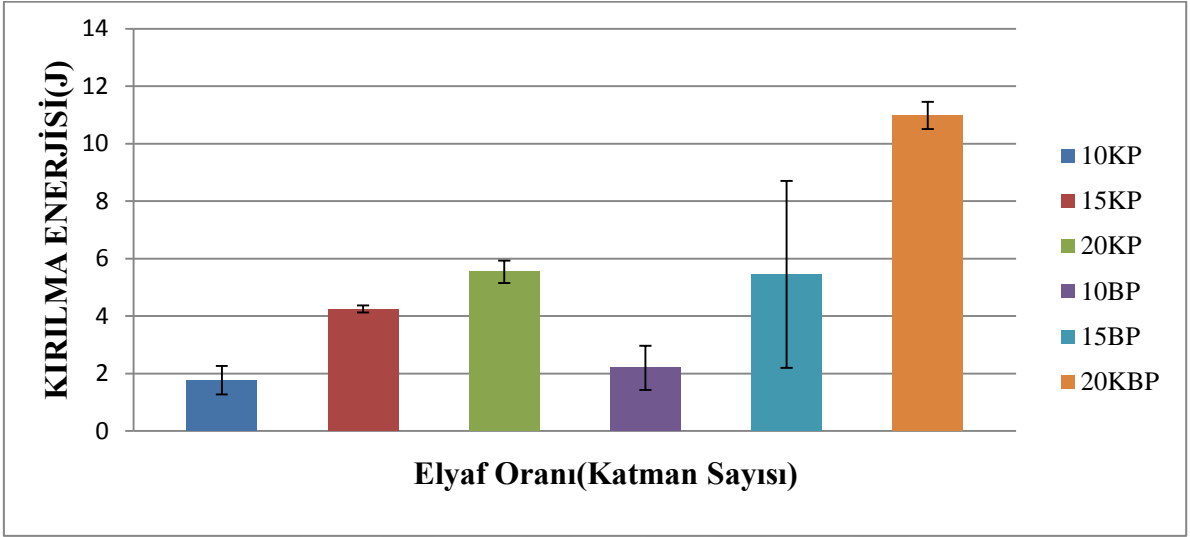


Şekil 49. Vinil ester reçineyle üretilen tek elyafli ve hibrit numunelerin yüzde uzama değerleri

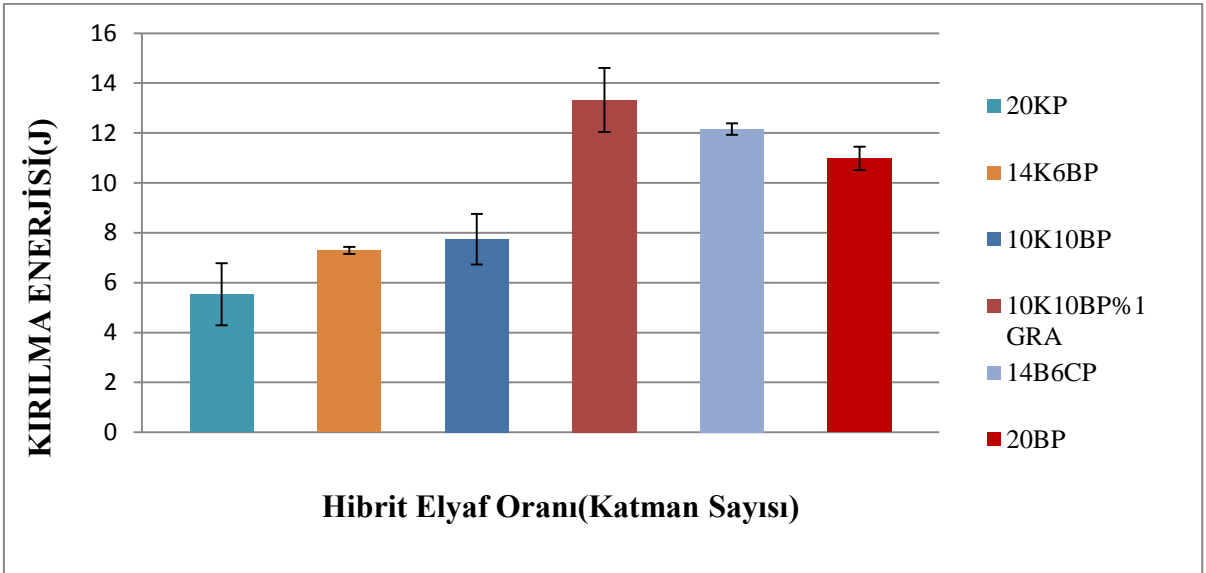
Vinil ester reçineyle üretilen numunelerde tek elyafli numunelerde yüzde uzama bazalt elyafı yüksektir. Bazalt elyafın sünekliğinin yüksek olması ve çekme mukavemetinin düşük olması buna sebep olarak belirlenmiştir. Diziliş sırasına göre üretilen numunelerde ise karbon elyafın fazla olduğu numune ile bazalt elyafın çok olduğu numune değerleri birbirine yakın çıkma sebebi vinil esterin mukavemetinin düşük olmasıdır. Grafen eklenen numunenin eklenmeyen numuneyle yakın değer çıkmasının sebebi vinil ester reçinedir.

4.2.7. Darbe Deneyinde Kırılma Enerjisi

Darbe deneyi sonucunda elde edilen kırılma enerjisi değerleri Şekil 50-52'de gösterilmiştir.



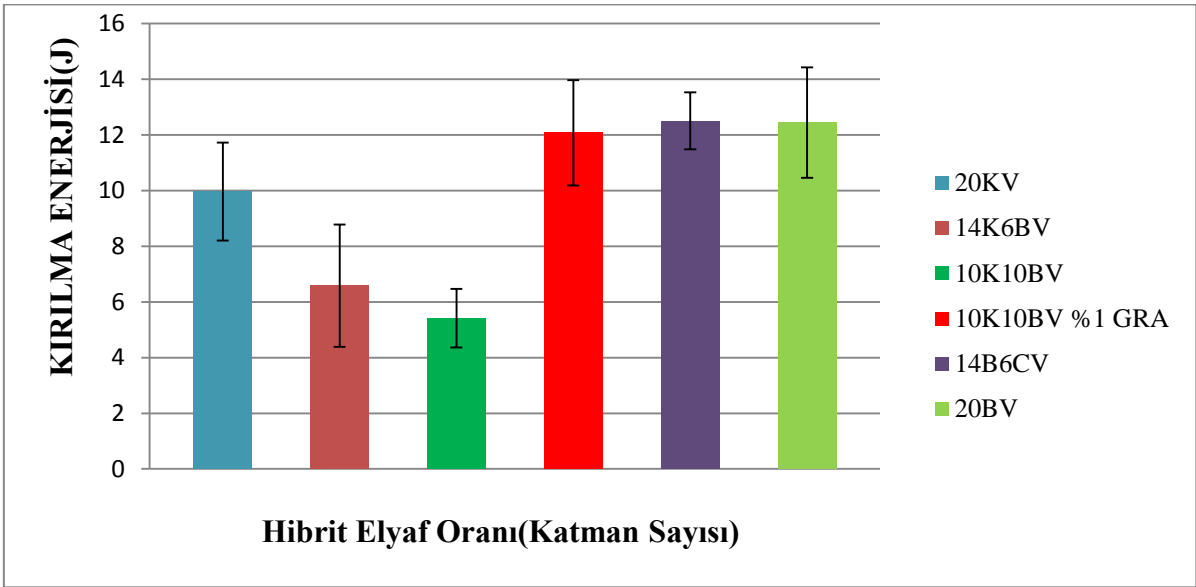
Şekil 50. Polyester reçine ile üretilen tek elyaflı numunelerin kırılma enerjisi



Şekil 51. Polyester reçine ile üretilmiş tek katlı ve hibrit numunelerin kırılma enerjileri

Polyester ile üretilmiş numunelerin içerisinde kırılma enerjisi en yüksek olan grup bazalt elyafın olduğu gruplardır. Sebebi ise bazalt elyafın sünekliğinin yüksek olmasıdır. Sünekliği yüksek olan numunelerin kırılma enerjisinin yüksektir. Ayrıca diziliş sırasının etkisinde de bazalt elyafın çok olduğu numunelerin kırılma enerjileri yüksektir.

A . Dorigato ve A. Pegoretti'nin yaptığı çalışmada bazalt elyafın olduğu numunelerin kırılma enerjisinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.(Dorigato & Pegoretti, 2013)



Şekil 52. Vinil ester reçineyle üretilen tek elyaflı ve hibrit numunelerin kırılma enerjileri

Vinil ester reçine ile üretilen numunelerde, sünekliği fazla olan elyaf bazaltın fazla olduğu grupların kırılma enerjisi yüksektir. Diziliş sırasında farklılık gösterilen numunelerde de bazalt elyafın fazla olduğu grupların kırılma enerjisi yüksektir. F.Sarasini ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bazalt elyafın olduğu numunelerin daha fazla kırılma enerjisine sahip olduğunu belirtmişlerdir.(Sarasini et al., 2014)

5. SONUÇLAR

5.1. Fiziksel Özellikler

5.2. Birim Hacim Ağırlık

1. Yapılan çalışmalar sonucunda elyaf türünün numunelerin özelliklerini etkilediği gözlenmiştir. Buna göre karbon elyaf ile üretilen numunelerin yoğunluğu bazalt elyaf ile üretilen numunelerin yoğunluğundan daha düşük sonuç vermiştir.
2. Diziliş sırasının değişmesi numunelerin yoğunluğuna etki etmiştir. Diziliş sırasına göre içerisindeki bazalt elyaf oranı artan numunelerin yoğunlukları daha yüksek çıkmıştır.
3. En yüksek yoğunluk değeri polyester reçineyle üretilen 20 kat bazalt elyaf numunesinde elde edilmiştir.
4. Yoğunluk değerlerinde 20 katmanlı kompozitlerde %20 artış göstermiştir.

5.3. Mekanik Özellikler

5.3.1. Eğilme Mukavemeti

1. Yapılan çalışmalar sonucunda eğilme mukavemetini kullanılan elyaf türünün yanı sıra kullanılan reçine türünün de etkilediği gözlenmiştir.
2. En yüksek eğilme mukavemeti vinil ester reçineyle üretilen 20 katlı bazalt numunesi vermiştir. Sebebi reçinenin mukavemetinin numune mukavemetine etki etmesidir. Artış oranı %83'tür.
3. Ayrıca diziliş sırasının değişimi ve kullanılan elyaf miktarının değişimi numunenin eğilme mukavemetine olumlu katkı sağlamıştır.
4. Grafen katkısı polyester reçinede daha olumlu sonuç vermiş ve numunenin eğilme mukavemetini arttırmıştır

5.3.2. Eğilme Modülü

1. Yapılan çalışmalar sonucunda numunenin eğilme modülüne kullanılan elyaf türünün eğilme modülünü etkilediği gözlemlenmiştir. Karbon elyaf ile üretilen numunelerin, bazalt elyaf ile üretilen numunelerden daha yüksek eğilme modülüne sahip olduğu gözlenmiştir.
2. En yüksek eğilme modülü polyester reçine ile hibrit numunelerde 14 karbon 6 bazalt elyaf ile üretilen numunede elde edilmiştir. Değerdeki artış oranı %52'dir
3. Diziliş sırasının numunenin eğilme modülünü de arttırdığı gözlemlenmiştir.
4. Grafen katkısı polyester reçine ile üretilen hibrit kompozitler numunenin eğilme modülünü arttırdığı tespit edilmiştir.

5.3.3. Uzama Miktarı

1. Yapılan çalışmalar sonucunda, numunenin uzama miktarına kullanılan elyaf türü ve katman sayısının etkili olduğu tespit edilmiştir. Bazalt elyaf ile üretilen numunelerin karbon elyaf ile üretilen numunelere göre daha yüksek uzama miktarına sahip olduğu belirlenmiştir.
2. En yüksek uzama miktarı polyester reçineyle üretilen 10 katlı bazalt numunede elde edilmiştir. Artış oranı % 37.5'tir.
3. Diziliş sırasının etkisi incelendiğinde bazalt elyafı tabaka olarak daha fazla olduğu numunelerde uzama miktarı daha yüksektir ve diziliş sırasının numunelerin uzama miktarına olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir.
4. Grafen katkısı vinil ester reçine ile polyester reçine arasında kıyaslandığında, vinil ester reçinede daha olumlu sonuç vermiş uzama miktarını arttırmıştır.

5.3.4. Çekme Mukavemeti

1. Yapılan çalışmalar sonucunda numunenin çekme mukavemetine kullanılan elyafın ve katman sayısının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Karbon elyaf katkılı numuneler bazalt elyaf katkılı numunelere göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler.

2. Polyester reçine ile üretilen 20 kat karbon elyaf numunesi en yüksek çekme mukavemetine sahip numunedir. Artış oranı %47.6'dır.
3. Diziliş sırasına göre incelendiğinde, diziliş sırasında karbon elyafların daha ön planda olduğu numunelerde çekme mukavemeti daha yüksek çıkmıştır.
4. Grafen katkısı 10 katlı hibrit numunelerde polyester reçinede daha yüksek sonuçlar vermiş ve numunenin mukavemetini yükseltmiştir.

5.3.5. Elastisite Modülü

1. Yapılan çalışmalar sonucunda numunenin elastisite modülünde elyaf türünün etkili olduğu gözlenmiştir. Karbon elyafla üretilen numunelerin bazalt elyafla üretilen numunelere göre daha yüksek elastisite modülü gösterdiği tespit edilmiştir.
2. En yüksek elastisite modülüne sahip olan numune vinil ester reçineyle üretilen 20 katmanlı karbon elyaf numunesidir. Değerdeki artış oranı %67.6'dır.
3. Diziliş sırasına göre incelendiğinde, diziliş sırasında karbon elyafların daha fazla olduğu numunenin elastisite modülüne sahip olduğu tespit edilmiştir.
4. Grafen katkısı incelendiğinde, polyester reçineyle üretilen numunenin elastisite modülüne sahip olduğu belirlenmiştir.

5.3.6. Yüzde Uzama

1. Yapılan çalışmalar sonunda, numunenin yüzde uzamasına elyaf türünün ve katman sayısının ayrıca kullanılan reçinenin etkili olduğu gözlenmiştir. Bazalt elyafla üretilen numunelerin yüzde uzaması daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
2. En yüksek yüzde uzama değeri 20 katmanlı polyester reçineyle üretilmiş olan bazalt elyafta tespit edilmiştir. Bu değerde meydana gelen artış %70'dir.
3. Diziliş sırasının etkisi incelendiğinde, diziliş sırasında bazalt elyafların daha fazla olduğu numunenin yüzde uzamasının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
4. Grafen katkısının etkisi incelendiğinde vinil ester reçinesiyle üretilen numunenin yüzde uzama değerlerinde bir fark yaratmadığı tespit edilmiştir.

5.3.7. Kırılma Enerjisi

1. Yapılan çalışmalar sonucunda numunenin kırılma enerjisine kullanılan elyafın, katman sayısının ve kullanılan reçenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Bazalt elyafla üretilen numunelerin daha yüksek kırılma enerjisine sahip olduğu tespit edilmiştir.
2. En yüksek kırılma enerjisi polyester reçineyle üretilmiş olan 20 katlı bazalt numunede elde edilmiştir.
3. Diziliş sırasının etkisi incelendiğinde, diziliş olarak bazalt elyafların daha fazla bir arada olduğu numunenin kırılma enerjisinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu değerde artış miktarı ise %84'tür.
4. Grafen katkısı incelendiğinde, grafen katkısının polyester ve vinil ester reçineyle üretilen numunelerde bir değişikliğe yol açmadığı gözlemlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Karbon elyafın hibrit üretimine alternatif bulmak amacıyla yapılan bu çalışma sonucunda, bazalt elyafın karbon elyafa mekanik özellikler ve maliyet açısından fayda sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin hibrit kombinasyonunda diziliş sırasının etkisi incelenmiş ve değişik mekanik özelliklerde diziliş sırasının değişmesinin malzemenin özelliklerine etkisinin olduğu tespit edilmiş. Bunun yanında toz grafen eklemenin malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttırdığı da tespit edilmiştir.

Numune üretiminde dikkat edilmesi gereken en büyük husus reçine karıştırma ve yedirme esnasında meydana gelebilecek porozitelere engel olmaktır. Bu maksatla maliyet açısından yüksek olan ama porozitelere engel olmak açısından vakum torbalama tekniği kullanılabilir.

Karbon elyafı bundan önce yapılan cam elyaf kompozitleri yerine bazalt yapılmasının en büyük katkısı, bazalt elyafın ekonomik olması ve cam elyaftan daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasıdır. Ayrıca bazalt elyafın sünek olması, çalışma sıcaklık aralığının cam elyaftan ve karbon elyaftan daha yüksek olması üretilen kompozitlerin daha yüksek ısılarda çalışma imkanı ve yanmama özelliğine sahip olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle yanma ve termal özellikleri hakkında daha kapsamlı araştırmalar yapılmalıdır.

Bugün ülkemizde bazalt elyaf üretimi yapılmamakta olup yurtdışından ithal edilmektedir. Bu alanda çalışmalara hız verip önce ülkemizde elyaf üretimini arttırmalı daha sonra hibrit kompozit alanında gelişmeleri takip edip uygulanmalıdır. Ülkemizde geniş bir sektör olan inşaat sektöründe bazalt elyaf kullanımının yaygınlaşması hem ısı yalıtımı hemde sağlamlık açısından yapıya birçok özellik kazandıracaktır.

7. KAYNAKLAR

URL-2. <http://www.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/KompozitMalzemeler/Ders3/3>.
10.05.2016

URL-9.http://www.polymer.hacettepe.edu.tr/webim/msen/undergraduate/NNT602/Graphene_ve_karakterizasyonu. 12.05.2016

Ary Subagia, I.D.G. ve Kim, Y. 2013. A study on flexural properties of carbon-basalt/epoxy hybrid composites, In Journal of Mechanical Science and Technology.

Ary Subagia, I.D.G., Kim, Y., Tijing, L.D., Kim, C.S. ve Shon, H.K., 2014, Effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers, Composites Part B: Engineering, 58,2 ,251–258.

Başer, İ. 2002 *elyaflar.pdf*, 2.baskı. İstanbul: Marmara Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaa Birimi.

BOYTEK, 2004. Bre 400.

BOYTEK, 2005. Bve 782.

Chikhradze, N.M., Japaridze, L.A. ve Abashidze, G.S., 2012. Chapter 9 Properties of Basalt Plastics and of Composites Reinforced by Hybrid Fibers in Operating Conditions, Composites and Their Applications Tablo 2. 221–246.

Chonghai, D. ve Xinwei, M.A., 2013. Experimental Research on Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Reactive Powder Concrete, Icamem 2013 Singapore 2-5.

Colombo, C., Vergani, L. ve Burman, M., 2012, Static and fatigue characterisation of new basalt fibre reinforced composites, Composite Structures, 94,3, 1165–1174.

Dorigato, a. & Pegoretti, a., 2013, Flexural and impact behaviour of carbon/basalt fibers hybrid laminates, Journal of Composite Materials, 48,9, 1121–1130.

Ferrante, L., Tirill, J., Sarasini, F., Touchard, F., Ecault, R., Vidal Urriza, M.A. Mellier, D., 2015, Behaviour of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites subjected to laser shock wave testing: Preliminary results, Composites Part B: Engineering 78, 162–173.

Kim, M.T. ve Rhee, K.Y., 2011, Flexural behavior of carbon nanotube-modified epoxy / basalt composites 12,3, 177–179.

- Kim, M.-T., Rhee, K.-Y., Kim, H.-J. ve Jung, D.-H., (2012), Effect of Moisture Absorption on the Flexural Properties of Basalt/CNT/Epoxy Composites, Carbon letters, 13,3,187–189.
- Kızılkant, A., 2014, Basalt Fibers And Mechanical Properties Of Basalt Fiber, Basalt Fibers And Mechanical Properties Of Basalt Fiber.
- Lee, J.H., Rhee, K.Y. ve Park, S.J., 2010, The tensile and thermal properties of modified CNT-reinforced basalt/epoxy composites, Materials Science and Engineering A 527,26, 6838–6843.
- Lopresto, V., Leone, C. ve De Iorio, I., 2011, Mechanical characterisation of basalt fibre reinforced plastic, Composites Part B: Engineering 42,4, 717–723.
- Ma, Q., Gu, Y., Li, M., Wang, S. ve Zhang, Z., 2016, Applied Surface Science Effects of surface treating methods of high-strength carbon fibers on interfacial properties of epoxy resin matrix composite, Applied Surface Science 379, 199–205.
- Manikandan, V., Winowlin Jappes, J.T., Suresh Kumar, S.M. & Amuthakkannan, P., 2012, Investigation of the effect of surface modifications on the mechanical properties of basalt fibre reinforced polymer composites, Composites Part B: Engineering 43,2,812–818.
- Onat, A., 2015, Kompozit malzemeler ders notu.
- Sarasini, F., Tirill, J., Ferrante, L., Valente, M., Valente, T., Lampani, L., Sorrentino, L., 2014, Drop-weight impact behaviour of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites, Composites Part B: Engineering 59,204–220.
- Selzer, R. & Friedrich, K., 1997, Mechanical properties and failure behaviour of carbon fibre-reinforced polymer composites under the influence of moisture, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 28,6: 595–604.
- Şahin, Y., 2015, *Kompozit Malzemelere Giriş*, 2.baskı. Seçkin Yayıncılık.
- Tekinalp, H.L., Kunc, V., Velez-Garcia, G.M., Duty, C.E., Love, L.J., Naskar, A.K., ... Ozcan, S., 2014, Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing, Composites Science and Technology 105,144–150. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech>.
- URL-5, <http://www.daglarkimya.com/files/product/28472116KOBALTOKTOAT6> 18.05.2016
- URL-6 , <http://www.kologlugroup.com/pdf/Peroksitler-Hizlandiricilar/TDS-Poltem-K-60>, 20.05.2016
- URL-7 http://dowaksausa.com/pdfs/A-38-3K-DS_D012_R0, 27.05.2016

URL-8 , [ttp://www.akincimakina.com.tr/?attachment_id=4691](http://www.akincimakina.com.tr/?attachment_id=4691), 27.05.2016

URL-1, Retrieved from <http://www.zinisan.com.tr/html/kompozit>, 27.05.2016

URL-3, <http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/KARBON-F%C4%B0BER-%C3%87EL%C4%B0KTEN-5-KAT-HAF%C4%B0F-10-KAT-G%C3%9C%C3%87L%C3%9C>, 29.05.2016

URL-4 <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/karbon-fiber-nedir/16486#ad-image-0>, 29.05.2016

Ünal, O., 2014, Kompozit malzemeler 0–10.

Van de Velde, V.K., Kiekens, P., Van Langenhove, L., 2003, Basalt fibres as reinforcement for composites,Proceedings of 10th international conference on composites/nano engineering 5–6.

Wada, M., Kawai, K., Suzuki, T., Hira, H. ve Kitaoka, S., 2016, Composites : Part A Effect of superheated steam treatment of carbon fiber on interfacial adhesion to epoxy resin,Composites part A 85,156–162.

Wang, X., Wang, Z., Wu, Z. & Cheng, F., 2014, Shear behavior of basalt fiber reinforced polymer (FRP) and hybrid FRP rods as shear resistance members,Construction and Building Materials 73, 781–789.

ÖZGEÇMİŞ

Ertuğrul Gazi KAYMAZ 1988 yılında İstanbul'un Fatih ilçesinde doğdu. 2006 yılında Manisa Süper Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden "Metalurji ve Malzeme Mühendisi" unvanı ile mezun oldu. 2013 yılının 2.döneminde K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitime başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.