

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HİBRİT DOKUMA KUMAŞLARIN PERFORMANS  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ASLIHAN TUGAN**

**DENİZLİ, OCAK - 2021**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**HİBRİT DOKUMA KUMAŞLARIN PERFORMANS  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ASLIHAN TUGAN**

**DENİZLİ, OCAK - 2021**

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
tarafından 2020FEBE047 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**ASLIHAN TUGAN**

## ÖZET

**HİBRİT DOKUMA KUMAŞLARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ASLIHAN TUGAN**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. GÜNGÖR DURUR)**  
**DENİZLİ, OCAK - 2021**

Tekstil esaslı kompozitler hafiflikleri, yüksek dayanımları, yorulma ve korozyon dirençleri ile öne çıkmışlardır. Tekstil esaslı kompozitlerin kullanımı birçok sanayi alanında gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle cam, karbon ve bazalt liflerinden elde edilen dokuma kumaşlar birçok sektörde çalışılmaktadır. Bazalt ile karşılaştırıldığında cam ve karbon hem akademik çalışmalarda hem de üretimde daha uzun süredir kullanılmaktadır. Bazalt ise son yıllarda kompozitlerin lif takviyesinde bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bazalt lifi çok yüksek sıcaklığa dayanabilir ve yüksek performanslı uygulamalarda kullanılabilirliği açısından öne çıkmaktadır. Bazalt lifleri E-cam liflerine göre kimyasal saldırıya, yük etkisine ve yangına karşı daha az zehirli dumanla güçlü bir direnç gösterirler. Ayrıca bazalt liflerinin geri dönüşümü cam liflerinden çok daha etkilidir. Bu çalışmada, 17 mikron incelikte, 1200 tex iplik numaralı bazalt, 3K, 12K karbon ve E tipi 300 tex numaralı cam iplikler bezayağı (plain) örgüsünde dokuma ile kumaş haline getirilmiştir. Ardından, bu kumaş yapılar uygun epoksi reçine ve sertleştirici ile bir araya getirilerek el ile yatırma yöntemiyle kompozit yapılar elde edilmiştir. Elde edilen bu kompozit yapılara çekme testi ve üç nokta eğilme testi uygulanarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; çözümlü yönünde en büyük çekme ve eğilme dayanımına cam ile yapılan hibrit kompozitin, atkı yönünde ise en büyük çekme dayanımına 12K karbon ile yapılan hibrit kompozitin, en büyük eğilme dayanımına ise bazalt ile yapılan kompozitin sahip olduğu görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Hibrit kumaşlar, kompozit, bazalt lifi, karbon lifi, cam lifi

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF HYBRID WOVEN FABRICS**

**MSC THESIS**

**ASLIHAN TUGAN**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**TEXTILE ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. GÜNGÖR DURUR)**

**DENİZLİ, JANUARY 2021**

Textile-based composites stand out with their lightness, high strength, fatigue and corrosion resistance. The use of textile-based composites is increasing day by day in many industrial areas. Especially woven fabrics made of glass, carbon and basalt fibers are studied in many sectors. Glass and carbon have been used in both academic studies and production for many years. Basalt has emerged as an alternative to fiber reinforcement of composites in recent years. Basalt fiber can withstand very high temperatures and stands out for its usability in high performance applications. Basalt fibers show good resistance to chemical attack, load impact and fire with less toxic fumes than E-glass fibers. In addition, the recycling of basalt fibers is much more effective than glass fibers. In this study, 17-micron thick basalt with a yarn number of 1200 tex, 3K and 12K carbon and E type 300 tex numbered glass yarns were made into fabric by weaving in plain weave. Then, these fabric structures were combined with the appropriate epoxy resin and hardener and composite structures were obtained by hand lay-up method. The mechanical properties of these composite structures were compared by applying tensile test and three point bending test. According to the results obtained from the experiments; it has been observed that the hybrid composite made with glass has the highest tensile and bending strength in the warp direction, the hybrid composite made with 12K carbon has the highest tensile strength in the weft direction, and the composite made with basalt has the highest bending strength.

**KEYWORDS:** Hybrid fabrics, composite, basalt fiber, carbon fiber, glass fiber

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKSTİL TAKVİYELİ KOMPOZİTLER .....	4
2.1 Takviye Edici Lifler.....	6
2.1.1 Takviye Edici Doğal Lifler .....	7
2.1.1.1 Bazalt Lifi.....	7
2.1.1.1.1 Bazalt Lifinin Tarihi .....	8
2.1.1.1.2 Bazalt Lifinin Üretimi.....	9
2.1.1.1.3 Bazalt Lifinin Özellikleri .....	10
2.1.1.1.4 Bazalt Lifinin Uygulamaları.....	14
2.1.1.1.5 Bazalt Lifi Uygulama Alanları .....	15
2.1.1.1.5.1 Endüstriyel İnşaat ve Betonarme .....	15
2.1.1.1.5.2 Elektronik Uygulamalar.....	16
2.1.1.1.5.3 Otomotiv Endüstrisi .....	17
2.1.1.1.5.4 Jeo Kompozitler .....	17
2.1.1.1.5.5 Spor Endüstrisi.....	17
2.1.1.1.5.6 Bazalt Lifli Kompozitler, Dokular ve Prepregler.....	17
2.1.1.1.5.7 Bazalt Fiber Borular, Bazalt Dökümler .....	18
2.1.1.1.5.8 Rüzgâr Değirmeni Bıçakları .....	18
2.1.2 Takviye Edici Kimyasal Lifler.....	18
2.1.2.1 Karbon Lifi.....	19
2.1.2.1.1 Karbon Lifinin Tarihi.....	19
2.1.2.1.2 Karbon Lifinin Üretimi .....	21
2.1.2.1.2.1 PAN ile Karbon Lifi Üretimi .....	22
2.1.2.1.2.2 Selüloz ile Karbon Lifi Üretimi .....	23
2.1.2.1.2.3 Zift ile Karbon Lifi Üretimi .....	23
2.1.2.1.3 Karbon Lifinin Özellikleri.....	23
2.1.2.1.4 Karbon Lifinin Uygulamaları .....	25
2.1.2.1.5 Karbon Lifi Uygulama Alanları .....	26
2.1.2.1.5.1 Hava ve Uzay Endüstrisi .....	26
2.1.2.1.5.2 Spor Malzemeleri .....	27
2.1.2.1.5.3 Rüzgâr Enerjisi.....	27
2.1.2.1.5.4 Otomotiv Sanayisi .....	27
2.1.2.1.5.5 Elektronik.....	28
2.1.2.1.5.6 İnşaat ve Yapı Uygulamaları .....	28
2.1.2.1.5.7 Denizcilik.....	28
2.1.2.2 Cam Lifi .....	28
2.1.2.2.1 Cam Lifinin Tarihi .....	29
2.1.2.2.2 Cam Lifinin Üretimi .....	30

2.1.2.2.3	Cam Lifinin Özellikleri .....	30
2.1.2.2.4	Cam Lifinin Uygulamaları .....	31
2.1.2.2.5	Cam Lifinin Uygulama Alanları .....	31
2.1.2.2.5.1	İnşaat ve Yapı Uygulamaları .....	31
2.1.2.2.5.2	Kimya Endüstrisi .....	31
2.1.2.2.5.3	Diğer Kullanım Alanları .....	31
2.2	Matris Malzemeleri .....	32
2.2.1	Termoplastik Matris Malzemeleri .....	32
2.2.2	Termoset Matris Malzemeleri .....	33
2.2.2.1	Epoksi Reçine .....	33
<b>3. YÖNTEM</b>	<b>.....</b>	<b>35</b>
3.1	Takviye Edici Dokuma Kumaş Yapılarda Kullanılan İplikler .....	35
3.2	Takviye Edici Dokuma Kumaş Yapılarının Elde Edilmesi .....	37
3.3	El Yatırma Yöntemi ile Kompozit Yapıların Elde Edilmesi .....	40
3.4	Kompozit Testlerinin Yapılması .....	43
3.4.1	Çekme Testi .....	43
3.4.2	Üç Nokta Eğilme Testi .....	44
3.5	Test Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi .....	43
<b>4. BULGULAR</b>	<b>.....</b>	<b>47</b>
4.1	Çekme Testi Sonuçları .....	48
4.2	Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları .....	64
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>.....</b>	<b>76</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b>	<b>.....</b>	<b>80</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>.....</b>	<b>84</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1:</b> Kompozit malzemenin geleneksel malzemelerle karşılaştırılması.....	6
<b>Şekil 2.2:</b> Bazalt lif üretiminin şematik diyagramı (Wei ve diğ. 2010) (1) Ezilmiş taş deposu (hammadde temini), (2) tartma, dozajlama ve karıştırma istasyonu, (3) Taşıma sistemi, (4) parti şarj istasyonu, (5) İlk eriyik bölgesi, (6) İkincil kontrollü ısı bölgesi (ön ocak), (7) Geçiş izolatörleri, (8) Haşıl aplikatörü, (9) Tel oluşumu, (10) Çaprazlama, (11) Sargı.....	10
<b>Şekil 2.3:</b> Sıcaklık ile mukavemet değişimi .....	13
<b>Şekil 2.4:</b> Karbon lifinin yıllara göre üretim miktarı.....	21
<b>Şekil 2.5:</b> PAN bazlı karbon lifi üretimi.....	22
<b>Şekil 2.6:</b> Boeing 787 Dreamliner'ın burun ve kokpit bölümünün üretimi (Frohs ve Jaeger 2011). .....	27
<b>Şekil 3.1:</b> Bezayağı (plain weave) örgü konstrüksiyon (örgü/tarak/tahar ve atkı planı).....	38
<b>Şekil 3.2:</b> 3k karbon/bazalt (a) - 12k karbon/bazalt (b).....	39
<b>Şekil 3.3:</b> Bazalt/bazalt (a) - cam/bazalt (b).....	39
<b>Şekil 3.4:</b> Sırasıyla 3k karbon/bazalt 12k karbon bazalt bazalt/bazalt cam/bazalt kumaşlar.....	39
<b>Şekil 3.5:</b> Fırça yardımıyla reçinenin emdirilmesi işlemi.....	41
<b>Şekil 3.6:</b> Release filmin kaplanması ve rulo yardımıyla içindeki havanın alınması işlemi .....	42
<b>Şekil 3.7:</b> Kompozit plakaların presleme işlemi .....	42
<b>Şekil 3.8:</b> Çekme dayanımı test cihazı .....	44
<b>Şekil 3.9:</b> Çekme cihazında numunenin kopma anındaki görüntüsü .....	44
<b>Şekil 3.10:</b> 3 Nokta eğilme test cihazı görüntüsü.....	45
<b>Şekil 3.11:</b> 3 nokta eğilme test cihazında numune görüntüsü.....	45
<b>Şekil 4.1:</b> Çekme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvet grafiği .....	50
<b>Şekil 4.2:</b> Çekme testinde atkı yönünde en büyük kuvvet grafiği.....	51
<b>Şekil 4.3:</b> Çekme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği..	51
<b>Şekil 4.4:</b> Çekme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği ....	52
<b>Şekil 4.5:</b> Çekme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği ...	52
<b>Şekil 4.6:</b> Çekme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği.....	53
<b>Şekil 4.7:</b> Çekme testinde çözgü yönünde elastisite modülü grafiği.....	53
<b>Şekil 4.8:</b> Çekme testinde atkı yönünde elastisite modülü grafiği .....	54
<b>Şekil 4.9:</b> 3K Karbonun atkı yönündeki çekme sırasında gerilme-şekil değiştirme ve kuvvet-uzama eğrileri .....	55
<b>Şekil 4.10:</b> 3K Karbonun çözgü yönündeki çekme sırasında gerilme şekil değiştirme ve kuvvet-konum eğrileri .....	55
<b>Şekil 4.11:</b> 12K Karbon atkı yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve yük-konum grafikleri.....	56

<b>Şekil 4.12:</b> 12K Karbon çözgü yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve yük-konum eğrileri .....	56
<b>Şekil 4.13:</b> Cam atkı yönündeki çekme sırasında gerilme-şekil değiştirme ve kuvvet-konum eğrileri .....	57
<b>Şekil 4.14:</b> Cam çözgü yönündeki çekme sırasında gerilme-şekil değiştirme ve yük-konum eğrileri .....	57
<b>Şekil 4.15:</b> Bazalt atkı yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve kuvvet-konum grafikleri .....	58
<b>Şekil 4.16:</b> Bazalt çözgü yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve kuvvet-konum grafikleri .....	58
<b>Şekil 4.17:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvet grafiği .....	59
<b>Şekil 4.18:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği .....	60
<b>Şekil 4.19:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde elastisite modülü grafiği .....	61
<b>Şekil 4.20:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki % uzama grafiği .....	62
<b>Şekil 4.21:</b> 3 nokta eğilme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvet grafiği .....	66
<b>Şekil 4.22:</b> 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde en büyük kuvvet grafiği .....	66
<b>Şekil 4.24:</b> 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği .....	67
<b>Şekil 4.25:</b> 3 nokta eğilme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği .....	68
<b>Şekil 4.26:</b> 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği .....	68
<b>Şekil 4.27:</b> 3 nokta eğilme testinde çözgü yönünde elastisite modülü grafiği .....	69
<b>Şekil 4.28:</b> 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde elastisite modülü grafiği .....	69
<b>Şekil 4.29:</b> 3K Karbonun atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi .....	70
<b>Şekil 4.30:</b> 12K Karbonun atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi .....	70
<b>Şekil 4.31:</b> Cam atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi .....	71
<b>Şekil 4.32:</b> Bazaltın atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi .....	72
<b>Şekil 4.33:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvet grafiği .....	72
<b>Şekil 4.34:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği .....	73
<b>Şekil 4.35:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde elastisite modülü grafiği .....	74
<b>Şekil 4.36:</b> Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği .....	75

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Bazalt lifinin kimyasal bileşimi .....	8
<b>Tablo 2.2:</b> Bazalt lifinin diğer liflerle karşılaştırılması.....	12
<b>Tablo 2.3:</b> Bazalt lifinin fiziksel özellikleri.....	14
<b>Tablo 2.4:</b> Farklı karbon liflerinin özelliklerinin karşılaştırılması .....	24
<b>Tablo 2.5:</b> Bazı cam liflerinin yaklaşık kimyasal bileşimleri (ağırlıkça %).....	29
<b>Tablo 2.6:</b> E cam lifinin tipik özellikleri .....	30
<b>Tablo 3.1:</b> 3K ve 12 K karbon ipliğinin özellikleri.....	35
<b>Tablo 4.1:</b> 3k karbon çekme dayanımı sonuçları.....	47
<b>Tablo 4.2:</b> 12k karbon çekme dayanımı sonuçları.....	47
<b>Tablo 4.3:</b> Cam çekme dayanımı sonuçları .....	48
<b>Tablo 4.4:</b> Bazalt çekme dayanımı sonuçları .....	48
<b>Tablo 4.5:</b> Tüm kompozitlerin çekme dayanımı sonuçlarının çözgü yönündeki sonuçları .....	49
<b>Tablo 4.6:</b> Tüm kompozitlerin çekme dayanımı sonuçlarının atkı yönündeki sonuçları .....	50
<b>Tablo 4.7:</b> Gramaj, mukavemet ve özgül mukavemet .....	62
<b>Tablo 4.8:</b> 3k karbon/bazalt üç nokta eğilme dayanımı sonuçları .....	63
<b>Tablo 4.9:</b> 12k karbon/bazalt üç nokta eğilme dayanımı sonuçları .....	63
<b>Tablo 4.10:</b> Cam üç nokta eğilme dayanımı sonuçları.....	64
<b>Tablo 4.11:</b> Bazalt üç nokta eğilme dayanımı sonuçları .....	64
<b>Tablo 4.12:</b> Tüm kompozitlerin 3 nokta eğilme dayanımı sonuçlarının çözgü yönündeki sonuçları .....	65
<b>Tablo 4.13:</b> Tüm kompozitlerin 3 nokta eğilme dayanımı sonuçlarının atkı yönündeki sonuçları .....	65

## SEMBOL LİSTESİ

<b>g / cc</b>	:	Yoğunluk Birimi (g/cm <sup>3</sup> )
<b>GPa</b>	:	Gigapaskal
<b>MPa</b>	:	Megapaskal
<b>°C</b>	:	Santigrat Derece
<b>µm</b>	:	Mikrometre
<b>µ</b>	:	Mikron
<b>N/m<sup>3</sup></b>	:	Özgül ağırlık
<b>MHz</b>	:	Megahertz
<b>W/mK</b>	:	İletkenlik katsayısı
<b>g/m<sup>2</sup></b>	:	1 m <sup>2</sup> kumaşın ağırlığı
<b>Tex</b>	:	İplik numaralandırma sistemi
<b>cl</b>	:	Santilitre
<b>g</b>	:	Gram
<b>m<sup>3</sup></b>	:	Metreküp (hacim birimi)
<b>mK</b>	:	Metre kelvin derecesi
<b>W</b>	:	Watt (Güç birimi)
<b>m<sup>2</sup></b>	:	Metrekare (alan birimi)
<b>K</b>	:	Karbon ipliğindeki lif sayısı, bin adet
<b>kN</b>	:	Kilonewton (kuvvet birimi)
<b>N</b>	:	Newton (kuvvet birimi)
<b>mm</b>	:	Milimetre (uzunluk birimi)
<b>eq/kg</b>	:	Epoksi/kilogram
<b>10<sup>-4</sup>Ω cm</b>	:	Elektriksel direnç

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin en başından itibaren her aşamasında bilgisini, tecrübesini, yardım ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, kişiliği ve akademik çalışma hayatı ile her zaman örnek olan, bu süreçte beni anlayışla yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. GÜNGÖR DURUR'a, projemi destekleyen Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne, ipliklerin tedarik edilmesi ve kumaşların dokunmasını sağlayan Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye, denemeler ve test numuneleri için gerekli plakaların basılmasını sağlayan İzoreel Kompozit İzole Malzemeler San. Ve Tic. Ltd. Şti.'ye testlerin zamanında yapılmasını sağlayan Butekom Test Merkezi'ne, yüksek lisans eğitimim boyunca emeği geçen, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren Pamukkale Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki öğretim üyelerine, konu hakkındaki bilgisi ve deneyimi ile bana yardımcı olan Tekstil Mühendisi Serdar Başev'e, hayatımın her döneminde yanımda olan ve her konuda destek olan, sevgisini benden esirgemeyen Annem Tülay Tugan'a, Babam Nusret Tugan'a ve kardeşime, bu süreçte yanımda olan ve çalışmama katkısı bulunan sevgili arkadaşlarıma,

Teşekkür ederim

# 1. GİRİŞ

1940'lı yıllardan itibaren kompozit malzemeler otomotivden havacılığa çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmıştır (Hoa 2009). Amaç ise alüminyum ve çelik alaşımları gibi klasik malzemelerin yerine ağırlığı daha az olan ve daha mukavemetli, sertlik değeri, aşınma dayanımı, kırılma tokluğu yüksek malzemelerin geliştirilmesiydi (Kayrak 1999). Tekstil esaslı kompozitler yüksek dayanım sağlaması, hafif olmaları, modül değerleri, korozyon ve yüksek yorulma direncinin yüksek olmasının yanı sıra karmaşık geometrik parçaların yapımını kolaylaştırdığı için mühendislikte çok fazla yapısal parçanın üretiminde kullanılmasına imkân vermiştir (Hoa 2009). Lif takviyeleri modern kompozit yapıların en temel mukavemet elemanlarıdır. Uçak yapılarında kullanılan kompozit malzemelerde lif oranı %70 değerlerine kadar ulaşmaktadır (Hoskin ve Baker 1986).

Bu kompozitlerin üstün mekanik özellikler göstermesi liflerin ince çaplı üretilmeleri ile büyük kütsel yapılara oranla yapısal hata olasılıklarını en aza indirmeleri sayesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca aşağıdaki özelliklere bağlı olarak da lifler yüksek performans gösterirler (Bunsell 1982).

- Küçük çapta üretilmeleri ve mikro yapısal özelliklerinin yüksek performansa elverişli olması.
- Matris malzeme tarafından liflere iletilen yük miktarının boy/çap oranı arttıkça artması.
- Elastik modül değerinin yüksek olması.

Tek bir kompozit yapıda istenilen bütün özelliklerin toplanması zordur. İstenilen amaç doğrultusunda birbirlerinin eksik yönlerini gidermek için, bir yapıda birden fazla lif türünün birlikte kullanılması ile elde edilen yapılara hibrit kompozit yapılar denir. Günümüzde çok farklı lif türlerinin takviye elemanı olarak kullanılabilmesi ile hibrit kompozit yapılar ilgi çekici bir konum almışlardır (Aydın ve diğ. 2018).

Teknolojide kullanılan ilk lif tipi cam lifleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan karbon, bor, silisyum, karbür ve aramid lifleri ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan lif tipleridir (Hoskin ve Baker 1986). Bazalt ise kompozitlerin lif takviyesinde bir rakip olarak görülmektedir. Örneğin, Dorigato ve Pegoretti karbon, bazalt, cam liflerini kullanarak bazalt-karbon ve cam-karbon interply hibrit kompozit malzemeler üretmişler ve bu yapıların mekanik özelliklerini incelemiş, darbe testlerini yapmışlardır. Bazalt ile yapılan hibrit yapıların cam ile yapılanlara göre daha dayanıklı ve esnek olduğunu ifade etmişlerdir (Dorigato ve Pegoretti 2014). Bu çalışmada da çözgüsü bazalt olarak sabit tutulan atkısında 3K karbon, 12K karbon, cam ve bazalt kullanılan dokuma kumaşlar birbirleri ile karşılaştırılacaktır.

Özellikle dokuma kumaşlar alanında bazalt liflerinden elde edilen ipliklerin kullanılması çok az karşılan bir durumdur ancak kullanım alanı olarak birçok sektörde denenmektedir. Bu proje kapsamında bu eksikliğin giderilmesi, bazaltın hali hazırda oldukça yaygın olarak kullanılan karbon ve cam ile dokunması sonucu oluşan hibrit kumaş yapıların ve yine bazalt iplikleriyle birlikte dokunması sonucu ortaya çıkan kumaş yapının mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada çözgü olarak bazalt ipliği kullanılacak, atkı olarak 3K karbon, 12K karbon, cam ve bazalt liflerinden elde edilen iplikler kullanılacaktır. Elde edilen kumaş yapıların tek başına mekanik testlere tabi tutulması kumaş yüzeyinde dağılmalara sebep olduğu ve test cihazı çenelerinden kaydığı için test sonuçları açısından güvenilir değildir. Bu nedenle kumaş yapılarının her birinin tek katı uygun epoksi reçine ve sertleştirici ile bir araya getirilip dört farklı kompozit yapı elde edilecektir. Bu kompozit yapıların çekme testi ve üç nokta eğilme testi ile mekanik özellikleri karşılaştırılacaktır.

Bu doğrultuda projenin hedefleri;

- Çekme testi ile kompozit malzemelerin elastisite modülü, çekme dayanımı, çekme uzaması değerlerini ve gerilme-% uzama eğrilerini elde etmektir.
- Üç nokta eğilme testi ile kompozit malzemelerin eğilme dayanımları, eğilme elastisite modülü değerlerini ve gerilme-% şekil değişimi eğrilerini elde etmektir.

Projenin hedeflerine ulaşması durumunda, bazaltın hibritleşmesiyle ortaya çıkan sonuçlar akademik ve endüstriyel anlamda bilime ve sektöre büyük ölçüde ışık tutacaktır. 3K karbon/bazalt, 12K karbon/bazalt, cam/bazalt, bazalt/bazalt kombinasyonlarından en dayanıklı, esnek ve kullanım alanına en uygun olan kompozit ortaya çıkacaktır. Bazalt lifinin, cam ve karbon lifinin etkin bir rakibi olarak kompozitlerin güçlendirilmesinde uygunluğu test edilecektir.



## 2. TEKSTİL TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

Doğada da var olan kompozit malzemeler mühendislik malzemeleri arasında 1940'lı yıllardan itibaren önemli bir yer edinmişlerdir. Doğada bulunan kompozit malzemelere; ahşap, diş, hindistan cevizi yaprağı, kemik örnek olarak verilebilir. Örneğin; ahşap lifli bir kompozittir, lignin matrisinde selüloz lifleri vardır. Selüloz lifleri yüksek çekme dayanımına sahiptirler ve esnektirler fakat rijitlikleri kötüdür. Lignin matrisi ile bir araya geldiklerinde rijitlikleri de artar. Doğal bir başka kompozit olan kemik ise apatit adı verilen mineral matrisine gömülmüş kısa ve yumuşak kolajen liflerinden oluşmaktadır (Chawla 1987). Bu doğal malzemelerden ilham alınarak iki veya daha fazla malzemenin birleşimi ile düşük ağırlıklı ancak dayanıklı, kırılma tokluğu, sertlik değeri yüksek kompozit malzemeler geliştirilmiştir.

Kompozit malzemelerin en önemli avantajları iyi dizayn edilmiş olmaları, içerdikleri bileşenlerine göre en iyi kaliteyi sergileyebilmeleri ve hiçbir bileşenin sahip olmadığı özelliklere sahip olabilmeleridir. Bazı özellikler kompozit malzeme oluşturarak geliştirilebilir. Bunlar;

- Dayanıklılık
- Sertlik
- Korozyon direnci
- Aşınma direnci
- Çekicilik
- Ağırlık
- Yorulma ömrü
- Sıcaklığa bağlı davranış
- Isı yalıtımı
- Termal iletkenlik
- Ses yalıtımı

Bu özelliklerinin her birinin aynı anda elde edilmesi elbette ki mümkün değildir. Kompozit malzemenin kullanılacağı yere göre ihtiyaçlar belirlenir ve tasarlanır (Jones 1998).

Kompozit malzemeler; otomotiv, inşaat, havacılık, savunma sanayi, elektronik gibi birçok sektörde kullanılmaktadırlar. Yıllık üretimleri Dünya’da 10 milyon tonun üzerindedir ve son yıllarda yıllık %5-10 oranında büyüme göstermektedir. Kompozit malzemelerin en büyük avantajlarından biri de yapılarını hizmet koşullarına göre uyarlamak için önemli bir alan olmasıdır. Üretilen kompozit yapıların farklı mühendislik amaçları için uyarlanması, birkaç farklı bilim dalından girdi gerektirmektedir (Clyne ve Hull 2019). Kompozit malzemeler diğer geleneksel malzemelerden hafif ancak güçlü ve sert yapılar oldukları için çelik gibi geleneksel malzemelerin yerini almışlardır. Şekil 2.1’de kompozit malzemeler çeşitli özellikleri bakımından çelik ve alüminyum ile karşılaştırılmıştır (Deutsch 1978).

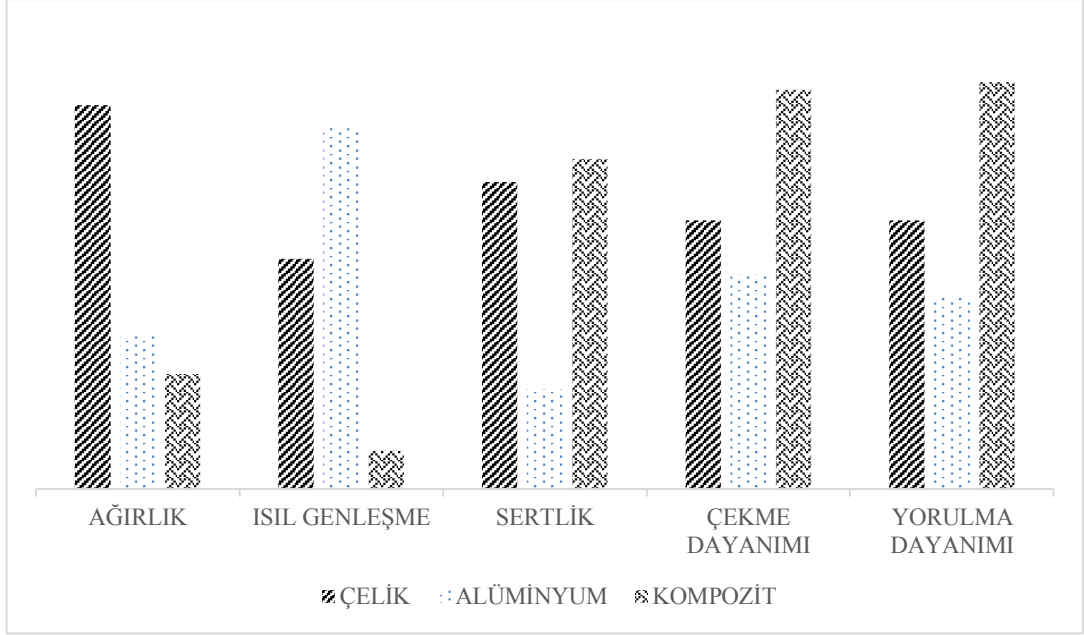
Kaynaklar, kompozitleri farklı yönlerden sınıflandırmışlardır. Kompozitleri yapılarındaki malzemenin formuna göre veya kullanılan matris türüne göre aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

Yapılarındaki malzeme formuna göre sınıflandırılma:

- Fiber (Lif) Takviyeli Kompozitler
- Partikül (Parçacık) Takviyeli Kompozitler
- Lamine Yapılı Kompozitler
- Karma (Hibrit) Yapılı Kompozitler

Kullanılan matris türüne göre sınıflandırma:

- Polimer Matrisli Kompozitler
- Metal Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler



Şekil 2.1: Kompozit malzemenin geleneksel malzemelerle karşılaştırılması (Deutsch 1978).

## 2.1 Takviye Edici Lifler

Kompozit malzemelerin başlıca mukavemet elemanı takviye edici liflerdir. Lifler kompozit malzemeye dayanıklılık ve esneklik sağlar bununla birlikte hafiflikleri ile kompozit malzemenin çelik gibi geleneksel malzemelerden ayrılmasında ve öne çıkmasında önemli bir rol oynarlar.

Liflerin matris yapıya katılmasıyla lif (fiber) takviyeli kompozitler oluşur. Liflerin mukavemeti, matris için yerleştirme biçimleri, lif ve matris arasındaki bağın yapısı, uzunluk/çap oranları kompozitin mukavemetini etkileyen başlıca unsurlardır. Uzun lifler birbirine paralel olarak yerleştirildiğinde boyuna eksen doğrultusunda yüksek, enine dik doğrultuda düşük mukavemet elde edilir. Nem emilimi lif ve matris arasındaki bağı olumsuz etkiler ve matris yapı boşluklu ise liflerle olan temas azalacaktır. Uzunluk/çap oranı arttıkça liflere iletilen yük miktarı artar (Bunsell 1982; Jones 1975; Reyne 1990).

Lif takviyeli lamine yapıları kompozit malzemelerde, özellikleri daha iyi bir malzeme elde etmek amacıyla farklı lif yönelmelerine sahip tabakalar birleştirilir. Laminasyon ile ortaya çıkan özellikler güç, sertlik, düşük ağırlık, korozyon direnci, aşınma direnci, güzellik veya çekicilik, ısı yalıtımı, akustik yalıtım vb.dir (Jones 1975).

İki veya daha fazla lifin tek bir matrise katılması ile hibrit kompozitler gelişmiştir. İki veya daha fazla lif türü içeren hibrit bir kompozit kullanırken, bir lifin avantajları, diğerinde olmayanlarla tamamlanabilir ve uygun malzeme tasarımı ile maliyet ve performans arasında bir denge sağlanabilir (John ve Thomas 2008). Hibrit kompozitlerin mukavemeti lifin özelliklerine, lif içeriğinin en boy oranına, liflerin uzunluğuna, liflerin oryantasyonuna, liflerin iç içe geçme derecesine, liflerin matris ara yüzüne bağlanmasına bağlıdır (Sreekala, George, Kumaran ve Thomas 2002).

Takviye edici lifler, doğal ve kimyasal lifler olarak iki gruba ayrılır.

### **2.1.1 Takviye Edici Doğal Lifler**

Doğal lifler bitkisel, hayvansal ve mineral lifler olarak üç gruba ayrılır. Bütün doğal lifler takviye edici malzeme olarak kullanılabilir. Bitkisel liflere pamuk, kapok, keten, kenevir, jüt, kenaf, rami, sisal, ananas, bambu lifleri örnek verilebilir. Bitkisel liflerden kompozit takviyesi için keten, kenevir, kenaf, jüt, rami ve sisal lifleri tercih edilir (Oksman ve Sain 2008). Hayvansal lifler ise protein yapıdaki yün/kıl ve ipek lifleridir. Mineral lifler, iplik haline gelebilecek yapıdaki doğal minerallere kimyasal işlemler uygulanarak elde edilmektedir. Mineral liflere asbest ve bazalt lifi örnek verilebilir. Bazalt lifi kompozit takviyesinde kullanılan yüksek performanslı karbon ve cam gibi sentetik liflere rakip olabilecek nitelikte performans gösteren doğal bir liftir.

#### **2.1.1.1 Bazalt Lifi**

Bazalt, yer kabuğunun altındaki çok sıcak bir akışkan veya yarı sıvı malzeme olan volkanik magma ve sel volkanlarından kaynaklanan ve açık havada katılaştıran, katılaştırmadan sonra erimiş lavlardan oluşan gri, koyu renkli çeşitli volkanik kayalar için kullanılan yaygın bir terimdir (Saravanan 2006). Bazaltın uygun sıcaklıkta eritilip küçük düzeler aracılığıyla lif çekilmesi ile de bazalt lifleri elde edilir.

### 2.1.1.1.1 Bazalt Lifinin Tarihi

Bazalt, kaldırım ve yapı taşı olarak Roma zamanında kullanılmaya başlanmıştır. Bazalttan lif çıkarma fikrini ilk bulan kişi Fransız asıllı Paul Dhé olmuştur ve 1923'te ABD'den patentini almıştır. 1960 yılları civarında hem ABD hem Sovyetler Birliği özellikle askeri alanda bazalt lifi uygulamalarını araştırmaya başlamıştır. İlk bazalt lifi örnekleri 1959-1961'de Sovyetler Birliği'ndeki Ukrayna bilimsel araştırma enstitüsü tarafından alınmıştır. Bazalt üretimi için ilk endüstriyel tesisler 1980'lerin sonunda Sudogda, Ukrayna ve Gürcistan'da inşa edilmiştir. Teknolojideki son gelişmelerle birlikte bazalt lifinin endüstriyel üretim maliyeti cam lifinin üretim maliyetinden daha azdır (Jamshaid ve Mishra 2016).

Koyu renkli, ince taneli katılaşmış bir volkanik kaya olan bazalttan bazalt lifleri elde edilir. Bazalt çeşitli volkanik kayalar için kullanılan yaygın bir terimdir. Bazalt, yer kabuğunun altında çok sıcak ve yarı akışkan olan volkanik magma ve sel volkanları ile oluşur ve açık havada katılaşır. Katılaşmış bir volkanik lav olan bazalt, termoplastik malzemeler gibi ısıtıldığında erir. Bazalt kayaları, SiO<sub>2</sub> içeriğine göre alkalın (%42'ye kadar SiO<sub>2</sub>), hafif asidik (%43-46 SiO<sub>2</sub>) ve asidik bazaltlar (%46'nın üzerinde SiO<sub>2</sub>) olarak sınıflandırılır. Sadece asidik tip bazaltlar lif hazırlama şartlarını karşılar. Bazalt kayalarının kimyasal bileşimi elde edilen lifin özelliklerini etkiler. Bazalt lifinin kimyasal bileşimi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Militky ve Kovacic 1996).

**Tablo 2.1:** Bazalt lifinin kimyasal bileşimi

<b>BAZALT LİFİNİN KİMYASAL BİLEŞİMİ</b>	<b>%</b>
SiO <sub>2</sub>	52,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,3
MgO	4,63
CaO	8,59
Na <sub>2</sub> O	3,34
K <sub>2</sub> O	1,46
TiO <sub>2</sub>	1,38

### 2.1.1.1.2 Bazalt Lifinin Üretimi

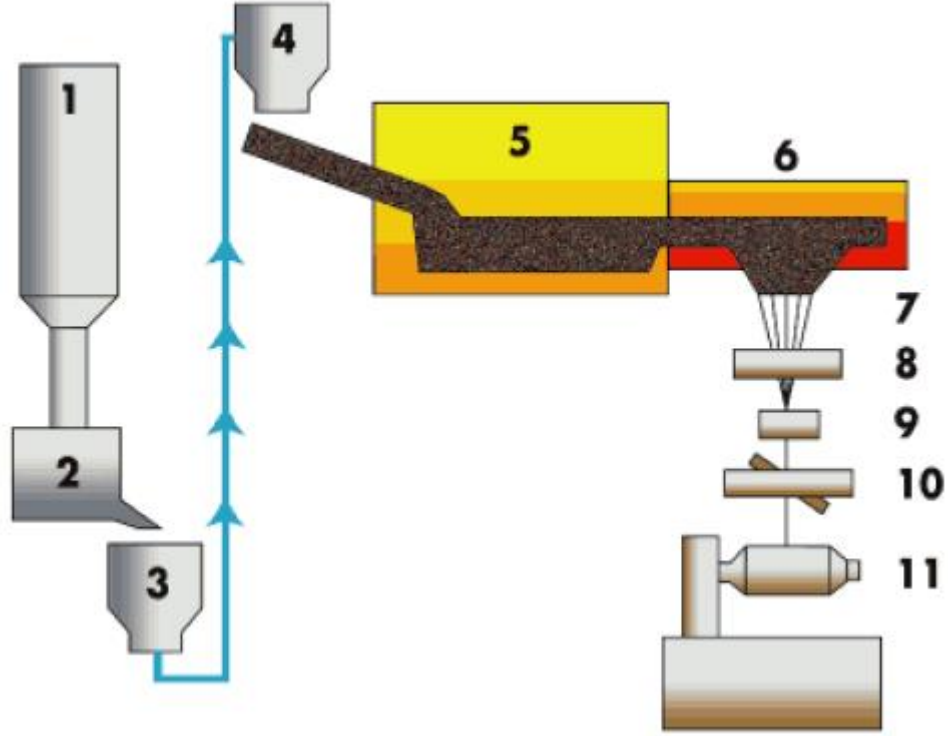
Dünya üzerinde yeterli bir miktarda bazalt bulunması, kimyasal yapısının homojenliği, saf oluşu ve erimiş halde lif oluşturabilmesi gibi özellikleri sayesinde bazalt rağbet edilen bir hammadde olmuştur (Jamshaid ve Mishra 2016).

Bazalt lif üretiminin teknolojik süreci; eriyiği hazırlama, lif çekme (ekstrüzyon), lif oluşumu, yağlayıcıların uygulanması ve son olarak sarımdan oluşur. Bazalt liflerinin üretimi halen bazaltın ısıtılması ve erimiş sıvının lif şeklinde bir kalıptan ekstrüde edilmesi ile yapılmaktadır (Şekil 2.2). Ezilmiş kaya malzemeleri, hava gazı karışımı kullanılarak ısıtılan dozer şarj cihazı ile banyo tipi eritme fırınına yüklenir. Ezilmiş kayalar fırın banyosunda 1430 °C-1450 °C sıcaklık altında eritilir. Erimiş bazalt fırından besleyici kanalına akar ve besleyici penceresi reküperatör (ısı transferi sağlayan ısı geri kazanım sistemi) ile iletişim kurar. Besleyici, yuva tipi geçiş izolatör ile bağlı bir flanşı olan bir pencereye sahiptir ve fırın atık gazları ile ısıtılır. Eriyik, elektrikle ısıtılan 200 delikli (500'e kadar artırılabilir) platinum rodyum geçiş izolatörlerinden akar. Lifler eriyikten hidrostatik basınç altında çekilir ve daha sonra sertleştirilmiş filamentler elde etmek için soğutulur (Saravanan 2006). Mikro-delik boyutu ve eriyiğin viskozitesi, elde edilen filamentlerin çapını belirler. İplik yağlama, bütünlük ve reçine uyumluluğu sağlamak için üzerlerine silan esaslı haşılama sıvısı uygulanır (Jamshaid ve Mishra 2016). Filamentler bir 'tel' oluşturmak üzere birlikte toplanır ve şekillendirme tüpüne sarılmak üzere sarma cihazına iletilir (Saravanan 2006).

Lifler, bir filaman olarak kullanılabilir veya ihtiyaca göre kesikli lifler halinde kesilebilir. Bazalt fitili, tek bir telin birleştirilmesi ve demet haline gelmesi ile elde edilir. Üretilen bazalt liflerinin inceliği 9 $\mu$ -22 $\mu$  (kesikli lifler için 10 $\mu$ - 17  $\mu$ ), fitil için 320 tex- 4800 tex'dir (Boccaccini ve diğ. 2003).

Bazalt lifinin üretim sürecinde, fırındaki sıcaklık seviyeleri, bazalt lifli malzemelerin son mekanik özellikleri ile ilgili olarak gerçekten önem taşımaktadır. Bazalt kayaçlarının kimyasal içeriklerindeki küçük değişimlerin bazalt liflerinin mekanik özelliklerinin üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu, en büyük etkinin liflerin boyutlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Örneğin, aynı kimyasal içeriğe sahip bazalt için, 160 °C'lik (1220 °C 'den 1380 °C'ye kadar) bir lif çekme sıcaklığı

artışı, mukavemetlerini 1.3 GPa'dan 2.23 GPa'a ve elastikiyet modülünü 78 GPa'dan 90 GPa'ya yükseltmiştir. Lif boyutu da nihai özellikler açısından oldukça önemlidir. Lif çapı 3-4 µm arttıkça, mukavemet değeri 2.8 GPa'dan 1.8 GPa'a düşer (Novitskii ve Sudakov 2004).



**Şekil 2.2:** Bazalt lif üretiminin şematik diyagramı (Wei ve diğ. 2010) (1) Ezilmiş taş deposu (hammadde temini), (2) tartma, dozajlama ve karıştırma istasyonu, (3) Taşıma sistemi, (4) parti şarj istasyonu, (5) İlk eriyik bölgesi, (6) İkincil kontrollü ısı bölgesi (ön ocak), (7) Geçiş izolatorleri, (8) Haşıl aplikatörü, (9) Tel oluşumu, (10) Çaprazlama, (11) Sargı.

### 2.1.1.1.3 Bazalt Lifinin Özellikleri

Bazalt liflerinin öne çıkan üstün özellikleri;

- Ekolojik olarak kullanımının temiz olması,
- Toksik olmayan son kullanıcı,
- Yüksek çekme mukavemeti,
- Korozyona karşı dirençli olması,

- Alkalilere ve asitlere karşı yüksek direnç göstermesi,
- İyi ısı performans aralığı (-435 °C ile 1,760 °C),
- Önemli ölçüde ısı ve akustik sönümlenme kapasitesine sahip olması,
- Radyasyon ve UV ışığına karşı iyi direnç göstermesi,
- Kullanışlı elektromanyetik özelliklere sahip olması,
- Olağanüstü titreşim izolasyonuna sahip olmasıdır (Sezemanas ve diğ. 2005; Toropina ve diğ. 1995; Liu ve diğ. 2006).

Bazalt lifleri %100 doğaldır ve çevre dostudur. Cam liflerinin üretiminde eriyiğe katkı maddeleri ilave edilir ancak bazalt liflerine hiçbir katkı maddesi ilave edilmez. Bazalt lifi doğal bir malzemedir elde edildiği için sürdürülebilir bir materyal olarak sınıflandırılabilir. Reçinedeki bu lifler geri dönüştürüldüğünde tekrar doğal bazalt tozu elde edilir. Bazalt lifleri volkanik bir aktivitenin bir ürünü olduğu için fiberizasyon işlemi cam liflerinden daha güvenlidir. Ayrıca bazalt lifleri yanıcı değildir, patlamaya karşı dayanıklıdır, hava ve su ile toksik reaksiyonu yoktur (Deshmukh 2007; Liu ve diğ. 2006).

Bazalt lifleri E-cam liflerinden daha iyi çekme dayanımına sahiptir, gerginliği karbon liflerinden daha düşüktür. (Sim ve Park 2005). Tablo 2.2'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



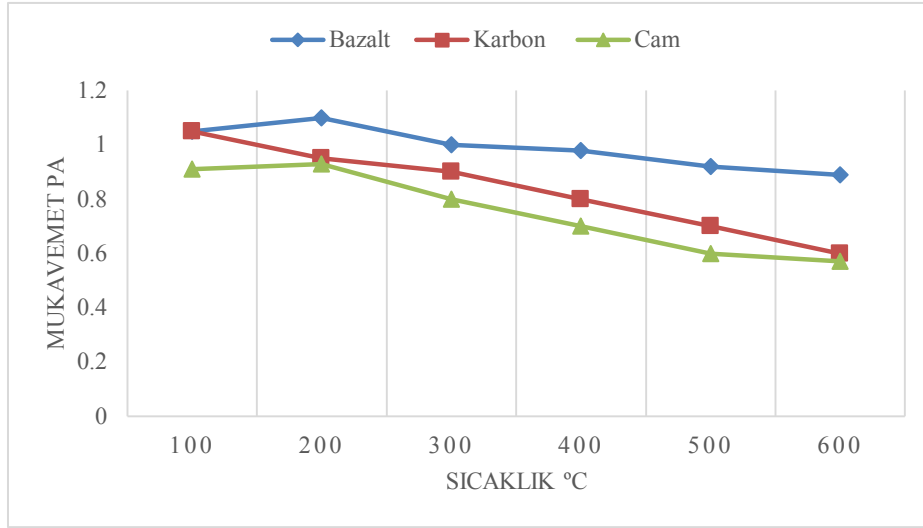
**Tablo 2.2:** Bazalt lifinin diğer liflerle karşılaştırılması (Murray 2015).

	<b>Bazalt</b>	<b>E Camı</b>	<b>S camı</b>	<b>Aramid</b>	<b>Karbon lifi</b>
<b>Çekme mukavemeti (MPa)</b>	3000-4840	3100-3800	4020-4650	2900-3450	3500-4400
<b>Esneklik Katsayısı (GPa)</b>	93-110	72.5-75.5	83-86	70-179	230-800
<b>Kopmada uzama (%)</b>	3.1-6	4.7	5.3	2.4-3.6	0.5-1.5
<b>Özgül ağırlık (N/m<sup>3</sup>)</b>	2.65-2.80	2.5-2.62	2.46	1.44	1.75-1.95
<b>Maksimum uygulama sıcaklığı (°C)</b>	~650	~380	~500	~250	~400
<b>Erime sıcaklığı (°C)</b>	1450	1120	1550	Erimiyor	Erimiyor

Bazalt lifleri de metaller gibi korozyondan etkilenmezler. Bazalt lifleri asit çözeltilerine, alkalilere ve tuzlara karşı yüksek korozyon ve kimyasal dayanıklılık özelliklerine sahiptir. Bazalt lifleri E-cam ve S-cam liflerinden daha yüksek asit direncine sahiptir. Bazalt su, alkali veya asit ile kaynatıldığında, kilo kaybı önemli ölçüde düşüktür, bu nedenle beton takviye malzemelerinde çubuklar halinde kullanımı da oldukça yaygındır (Jamshaid ve Mishra 2016).

Son araştırmalarla birlikte iyi bir termal / ısı direncine ve nemi emmeye sahip oldukları bilinen bazalt liflerinin 24 saat boyunca nem emiliminin %0.02'den az olduğu, cam lifi için ise bu değer %1,7 olduğu görülmüştür. Bazalt liflerinin kimyasal bileşimi sayesinde higroskopikliği %0,2-%0,3 arasındadır ve değişmez. Bu durum bazalt liflerine uzun vadede termal stabilite özelliği sağlar. Bazalt lifleri, 750 °C'ye kadar kısa bir süre için yüksek sıcaklığın etkisine karşı dayanıklıdır, daha uzun çalışma sırasında çalışma sıcaklığı 260 °C ila 700 °C arasındadır. 400 °C'nin altındaki sıcaklığa maruz kaldıklarında bazalt lifleri başlangıç mukavemetini sadece %20-25 kaybederken, aynı koşullar altında E camının mukavemeti %40-45'in altına düşer. Ayrıca endüstriyel cam lifi üretmek nemli havada önemli miktarda nem emebilir. Bu onların fiziksel ve teknik özelliklerini, dayanıklılıklarını

etkiler ve sonunda liflerin tahrip olmasına yol açar. Mukavemetin sıcaklığa bağlı değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Czigany 2007; Swink 2002; Wei ve diğ. 2010).



**Şekil 2.3:** Sıcaklık ile mukavemet değişimi (Jamshaid ve Mishra 2016)

Bazalt lifleri ultraviyole (UV) ve yüksek enerjili elektromanyetik radyasyona karşı doğal olarak dayanıklıdır, soğuk sıcaklıklarda özelliklerini korur ayrıca mantarların ve mikroorganizmaların etkisine karşı güçlü bir dirence sahiptir. Bazalt ve E-cam lifleri elektrik iletmez. Bazaltın dielektrik özellikleri, özellikle bazalt lifinin hacim direnci, neredeyse cam liflerine eşittir. Bu nedenle, camdan bazalta geçiş yapının radar şeffaflığını değiştirmez (Jamshaid ve Mishra 2016).

Bazaltın yoğunluğu  $2.8 \text{ g / cm}^3$  ile  $2.9 \text{ g / cm}^3$  arasında cam ve karbona yakın, metalin yoğunluğundan çok daha düşüktür. Ayrıca bazalt liflerinin, çeliğe kıyasla çok daha düşük yoğunlukta olması da bir avantajdır (Saravanan 2006).

Bazalt malzemesi son derece serttir ve Mohr ölçeğinde 5 ile 9 arasında sertlik değerlerine sahiptir, bu da daha iyi aşınma özellikleri sağlar. Bazalt lifleri dokuma kumaşların pervane tipi aşındırıcılar üzerinde sürekli aşınmasıyla bile ince lifler oluşturmaz veya lifleri kırılma yoluyla ayırmaz ve sadece solunumla ilgili tehlikelere neden olma olasılığını ortadan kaldıran dokuma yapısından tek tek liflerin kırılmasına neden olur (Tropina ve diğ. 1995).

Bazalt lifleri cam liflerinden daha iyi ses yalıtım özelliklerine sahiptir. Ayrıca metallere, epoksilere ve tutkallara iyi yapışır. İşlenmesi zor olmasına rağmen; cam, karbon ve diğer liflerle karşılaştırıldığında bazalt lifleri çok iyi özelliklere ve uygun fiyata sahiptir (Jamshaid ve Mishra 2016). Aşağıdaki tabloda bazalt lifinin çeşitli mekanik, termal, elektriksel özellikleri verilmiştir (Boccaccini ve diğ. 2003; Subramanian ve Austin 1980).

**Tablo 2.3:** Bazalt lifinin fiziksel özellikleri

<b>ÖZELLİK</b>	<b>DEĞER</b>
Yoğunluk, g / cc	1,95- 2,75
Çekme Dayanımı, MPa	1200-4840
Basınç Dayanımı, MPa	420
Eğilme Dayanımı, MPa	800
Elastik Modül, GPa	89
Kopma Uzaması, %	3,15
%65 Bağlı Nem, %	<0.1
Maksimum Uygulama Sıcaklığı, °C	982
Sürekli Çalışma Sıcaklığı, °C	820
Min. Çalışma Sıcaklığı, °C	-260
Erime Noktası, °C	1450
Termal İletkenlik, W / m K	0.031- 0.038
Parıltı Kaybı, %	1.9- 2.0
Ses Yutma Katsayısı	0.9- 0.99
Kayıp Açısı Teğet Frekansı, MHz	0.005
Özgül Hacim Direnci, Wm	$1 \times 10^{12}$
Bağlı Dielektrik Geçirgenlik, MHz	2.2

#### 2.1.1.1.4 Bazalt Lifinin Uygulamaları

Bazalt ekolojik olarak saf bir maddedir ve çeşitli sınıflardan dikkat çekmektedir. Özellikle lif ve kompozit malzeme üreticilerinin dikkatini çekmiştir.

Bu ilgi çok çeşitli uygulama yelpazesi ve iyi özelliklerinden kaynaklanır. Son yıllarda gelişen teknoloji ve üretim yöntemleri ile bazalt lifinin üretim maliyeti de oldukça düşmüştür. Ayrıca su ile toksik reaksiyona girmemesi ve havayı kirletmemesi ve solunum sistemini etkileyerek sağlık tehlikeleri yaratan asbest liflerinin aksine, bazalt liflerinin sağlığa zarar vermemesi bazaltı çekici yapan unsurlardandır. (Dorigato ve Pegoretti 2014; Swink 2002; Wing ve Gee 1994).

Bazalt kumaşlar değişken yüzey yoğunluklarında yapılırlar. Uygulama cinsine göre bağlı olarak 160 g/m<sup>2</sup> yalıtım tipi uygulamalar için 1100 g/m<sup>2</sup>'ye kadar üretilebilirler. Bazalt liflerinin mukavemet ve sertlik gibi iyi mekanik özellikleri, geri dönüştürülebilir olması ve lif yüzeylerinin kolay ısıtılması kompozit için kullanılmasını uygun kılar. Bazalt kumaşlar yapısal, elektro-teknik amaçlar için üretilmektedir. Bazalt lifleri ve bazalt bazlı kompozitler, jeo polimerik betonlar, basınçlı borular, konut ve endüstriyel binalar için lifli izolatörler, koruyucu giysiler, kurşun geçirmez yelek, otomotiv parçaları ve ateşe dayanıklı malzeme gibi çeşitli teknolojik uygulamalar için uygundur. Bazalt liflerini tercih etmek diğer liflere göre daha avantajlıdır çünkü karbon lifleriyle birlikte kullanılmaya uygundur ve birçok uygulamada da cam elyaf yerine polimer matris kompozitlerine uygulanabilirler. Bazalt lifine karbon eklenmesi ile birlikte oluşan hibrit kompozitler daha uygun fiyatlı olacaktırlar (Dias ve Thaumaturgo 2005; Jamshaid ve Mishra 2016).

#### **2.1.1.1.5 Bazalt Lifi Uygulama Alanları**

##### **2.1.1.1.5.1 Endüstriyel İnşaat ve Betonarme**

İnşaat sektöründe yüksek mukavemet, etkili yalıtım özellikleri, yeterli derecede sertlik, genişletilmiş sıcaklık aralığı gibi özellikler oldukça önemlidir. Bazalt yapı malzemeleri için çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Bunlar; tüpler, çubuklar, boru bağlantı parçaları, zeminlerin iç duvarları, çerçeve duvarları, kazan kabukları, tanklar, bacalar, yangından korunma yapıları gibi yapılarıdır. Bazalt lifleri; ses yalıtımı sağlar, su geçirmez, korozyona karşı dayanıklıdır, alevde erimez ve geometrik bütünlüğünü korur, termal özellikleri oldukça iyidir, bazaltlar açık alevde karşı dayanıklıdır, 1450 °C'de erir. Bu özellikleriyle bazalt köprülerde, tünellerde, su geçirmez kaplamalarda, yangın perdelerinde, toplu taşımalarda

koltuk kılıflarında yangın engelleyici ara astar olarak kullanılır. Aynı yüzey yoğunluğuna sahip E-cam kumaşlar ise birkaç saniye içinde alevlenir (Jamshaid ve Mishra 2016). Beton köprü ve deniz uygulamalarında yangın yönetmeliklerine uygun olan yanmaz malzeme olarak bazalt lifleri ve alev ile reaksiyona girerek şişen dokusuz lif içeren epoksi levhalar kullanılabilir (Boccaccini ve diğ. 2003).

Beton yapı mühendisliğinde oldukça sık kullanılan bir üründür. Betonun büzülme ve çatlama, düşük gerilme ve eğilme mukavemeti, zayıf tokluk, yüksek kırılma, düşük şok direnci gibi eksik yönlerini gidermek için betona yardımcı malzemeler eklenir. Elyaf takviyeli betonlarda bazalt son yıllarda giderek artmıştır. Bazalt lifler çatlak direncini artırır, titreşime karşı dayanıklılık sağlar, alkaline ortamlarda ve aşındırıcı elementlerle reaksiyona girmez. Bazalt lifinden geçirilen çubuklar, çelik takviye çubuklarından %89 daha hafiftir. Üretici firma olan Sudaglass (Houston, TX), 1 ton bazalt çubuğun 9.4 ton çelik çubuğa eşit takviye sağladığını belirtiyor (Sergeev ve diğerleri, 1994).

#### **2.1.1.1.5.2 Elektronik Uygulamalar**

Bazaltın yüksek elektrik direnci, yüksek termal iletkenliği, yangına dayanıklı olması; bazalt malzemedan yapılan bantların elektrik kablolarında güç sırasında yangın tehlikelerine karşı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir olmasını ve yangına dayanıklı elektrik kablolarının inşası için bazalt dokuma bantların seçilmesi sağlamıştır. Çok düşük sıcaklıklarda bile, bazalt lifleri özelliklerine ulaşır, bu da bu malzemeyi düşük sıcaklıklı izolasyonlar için de uygun hale getirir. Ayrıca elektrik kabloları ve yeraltı kanalları için ekstra ince dirençli yalıtım gibi diğer elektro teknik uygulamalarda da kullanılır (Jamshaid ve Mishra 2016; Saravanan 2006).

Bazalt kumaşlar, yalıtım malzemelerinin üretimi için kullanılır. Yüksek özgül mukavemeti (çelikten 9,6 kat daha yüksek), agresif ortamlara karşı yüksek direnç ve yüksek elektriksel yalıtım özellikleriyle birlikte, yüksek voltajlı elektrik hatları için izolatörler olarak kullanılabilirler. Korozyona dayanıklı özellikleri nedeniyle lamba direkleri olarak kullanılabilir (Sergeev ve diğ. 1994)

#### **2.1.1.1.5.3 Otomotiv Endüstrisi**

Bazaltın korozyona, darbeye, aşınmaya dayanıklı olmasıyla; otomotiv sektöründe bazalta yönelim ilk olarak 1990'larda başlamıştır. Bazalt lifi araçların susturucularında, otomotiv fren disk pedlerinde, debriyaj kaplama uygulamalarında, araba tavan döşemelerinde, araç iç mekân uygulamalarında, güneşlikler, gövde kaplamalarında kullanılmaktadır (Haeberle ve diğ. 2000).

#### **2.1.1.1.5.4 Jeo Kompozitler**

Bazalt materyalleri radyoaktif radyasyonu emmedikleri için nükleer santrallerde radyoaktif maddelerin üretimi, dönüşümleri ve atık depolama sahalarında kullanılırlar. Bazalt jeo-ağlar; ekolojik olarak güvenlidir, kaldırım takviyesi olarak kullanıldıklarında erimiş asfaltın çok yüksek sıcaklıklarına dayanabilirler, metalik ağlardan daha hafiftir, toprak ve dolgu stabilizasyonu ile çevresel ve ekolojik güvenlik için de uygundur. Ayrıca filtre torbalarında dikiş ipliği olarak bazalt kullanıldığında yüksek sıcaklık ve kimyasallara karşı iyi dayanım gösterir (Saravanan 2006).

#### **2.1.1.1.5.5 Spor Endüstrisi**

Kullanışlı mekanik özellikleri sayesinde bazalt ürünler; tenis racketleri, snowboardlar, kayaklar, oklar, hokey çubukları gibi farklı spor ürünlerinin üretilmesi için oldukça uygundur (Sergeev ve diğ. 1994).

#### **2.1.1.1.5.6 Bazalt Lifli Kompozitler, Dokular ve Prepregler**

Bazalt liflerinin tercih edilebilir fiziksel özellikleri onları yüksek performanslı kompozitler yapmak için çekici hale getirmiştir. Bazalt lif dokusu gözenekliliği ile emdirmeyi kolaylaştırır ve UV ışınlarına, asitlere, alkalilere karşı iyi direnç gösterir. Bazalt dokular; jeo tekstiller, korozyon önleyici malzemeler, PU köpük astarlı plastik köpükler, iki levhayı birleştirmek için doku bantları, plaka ayırıcılar ve yumuşak çatı ve su geçirmezlik bitümlü kaplaması olarak kullanılabilir. Transfer kalıplama, kalıp döküm, sarım döşeme, doğrudan presleme otoklavlar ve vakum kalıplama için uygun prepegler, bazalt lifleri hem filamentler hem de modifiye edilmiş polyeester reçineli doğranmış lifler kullanılarak üretilir (Saravanan 2006).

#### **2.1.1.1.5.7 Bazalt Fiber Borular, Bazalt Dökümler**

Bazalt ürünleri; tanklar, boru hatları, petrol boru hatları için kimyasal ve aşınmaya dayanıklı koruyucu kaplama için kullanılabilir. Bazalt astarlı boruların kullanımı 1980'lerde başlamıştır. Bazalt kompozit borular petrol ve petrol ürünleri, gazlar, agresif sıvılar, gevşek malzemeler, sıcak ve soğuk suyun taşınması için uygundur. Bazalt borular Mohr ölçeğinde 9 sertliğe sahiptir, yüksek aşınma ve darbe dayanımını sağlar. Bazaltın düşük ısı iletkenliği nedeniyle, tuzların ve parafinlerin boruların içine birikmesi de azalır. Bazalt-plastik birleşimi borular 100 atm basınçtan daha fazla basınca dayanabilir bu metal borularda mümkün değildir. Bazalt elyaf borular filament sargısı ile, kumaşlar ve prepegler kullanılarak üretilirler. Ayrıca metal borulardan 2-3 kat daha uzun ömre sahiptir, bazalt lifleri mantarların ve mikroorganizmaların etkisine karşı dayanıklıdır. Çimento ve seramik yapımında kullanılan cüruf son derece aşındırıcı olduğu için borularda aşınma ve yıpranmaya sebep olur. Bazalt astarlı borular cürufun taşınmasında 8 yıla, kül ve kumun taşınmasında 12 yıla kadar dayanıklılık sağlayabilir. Bazalt lifleri arazi drenaj boruları, sulama ve sulama boruları gibi tarımsal uygulamalarda da kullanılabilir (Subramanian ve Austin 1980; Wei ve diğ. 2010; Saravanan 2006; Hansen 2005).

#### **2.1.1.1.5.8 Rüzgâr Değirmeni Bıçakları**

Rüzgâr türbinleri farklı kompozit parçaların birleşimiyle oluşur. Rüzgâr türbininde en büyük parçayı bıçaklar oluşturur. Türbin bıçakları, lif takviyeli epoksi ve polyesterden meydana gelir. Lif takviyesi olarak daha çok e-cam lifleri kullanılır. Daha az ağırlık ve daha uzun süre sertlik için karbon lifleri tercih edilir ancak bu da maliyeti artırır. Bazalt lifleri ise hem maliyet bakımından ucuz olmaları hem de kullanışlı mekanik özellikleri ve yüksek korozyon direnci ile öne çıkar. Aynı miktarda lif ile daha uzun bıçakların üretilmesini sağlar, enerji çıkışını artırır (Subramanian ve Austin 1980; Wei ve diğ. 2010).

#### **2.1.2 Takviye Edici Kimyasal Lifler**

Takviye edici kimyasal lifler insan yapımı takviyelerdir. Cam lifi ve karbon lifi bu lifler arasında en yaygın takviyeler olmuştur. Aramid lifi ise 1960'larda Du

Pont firması tarafından Kevlar, Twaron firması ise Teijin Aramid ticari adlarıyla ortaya çıkmıştır. Aramid lifi cam elyafından çok daha sert ve hafiftir. Bir diğer kimyasal lif olan polietilen lifi ise 1980'lerde ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Jel ve bükülmüş yapıda olan polietilen lifi, aramid lifi kadar sert bir yapıya sahiptir. Yüksek performans özelliklerine sahip diğer kimyasal lifler; bor, silikon, karbür ve alüminadır. Bunlar yüksek mukavemet ve yüksek sertliğe sahip liflerdir. Bu kimyasal lifler yirminci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkmışlardır (Chawla 2012).

### **2.1.2.1 Karbon Lifi**

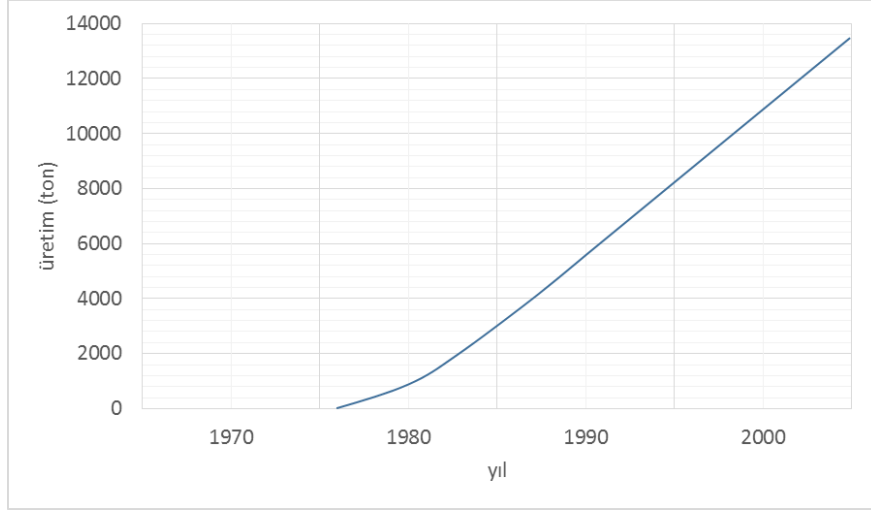
Karbon yoğunluğu  $2,268 \text{ g/m}^3$  olan çok hafif, çeşitli kristalin yapılarda bulunabilen bir malzemedir. Karbon lifi yapımında en çok tercih edilen karbon formu, karbon atomlarının altıgen tabakalar halinde düzenlendiği grafit yapıdır. Bunun nedeni karbon liflerinin neredeyse tüm işleme tekniklerinin, altıgen düzlemlerin elyaf eksenine boyunca çok yüksek derecede tercih edilen bir yönelimini elde etme amacına sahip olmasıdır (Chawla 2012). Karbon lifleri kompozitlerin güçlendirilmesinde yüksek mukavemet, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik, tokluk gibi özellikleri ile kendilerine güçlü bir yer edinmişlerdir. Karbon lifli kompozitler uçak, otomobil parçalarında, elektromanyetik kalkanlama parçaları veya katalitik parçacıklar yapmak için kullanılır. Karbon lifleri çeşitli yöntemlerle elde edilebilirler (Sandhya ve diğ. 2015).

#### **2.1.2.1.1 Karbon Lifinin Tarihi**

Karbon liflerinin ilk kullanımı 1879 yılında Thomas Edison'un karbon liflerini ampullerde kullanması ve patentini alması ile keşfedilmiştir (Hegde ve diğ. 2004). Bu lifler günümüzdeki karbon liflerinin aksine gerilme mukavemetine sahip değillerdi ancak ısıya karşı yüksek bir toleransları olduğu için elektrik iletimi için ideal olmuşlardı. Edison'un karbon lifleri günümüzde daha çok tercih edilen petrol bazlı karbon liflerinden değildi, pamuk ve bambu gibi selüloz bazlı malzemelerden yapılmıştı. Bambu filamentlerini yüksek sıcaklıkta pişirerek karbonizasyon gerçekleştirilirdi. Bu yöntemin adı günümüzde de hala kullanılan piroliz



yöntemidir. Elde edilen bu karbonize bambu lifler ateşe ve yoğun ısıya dayanıklıdır (Sandhya ve diğ. 2015). 1889'da ise ilk lif yapısı oluşturulmuştur (Hoque ve diğ. 2001). 1950'lilerin sonuna kadar yüksek gerilme mukavemetine sahip karbon lifleri keşfedilmemiştir. Rayon bu yüksek gerilme mukavemetine sahip karbon liflerini üretmek için kullanılan ilk malzemedir ancak daha sonra yerini poliakrilonitril (PAN) ve zift gibi daha etkili malzemelere bırakmıştır. Bunlar çelikten çok daha fazla gerilme mukavemetine sahiplerdi. Ayrıca yüksek modüle ve gerilmeye karşı dirence sahiplerdir. Bu esneklik ile hipersonik uçaklarda burun konileri gibi sert yapıların güçlendirilmesinde önemli bir yere sahip olmuşlardır (Releases 1998; Describes 1998). 1960 yılında William Watt tarafından İngiltere'de Royal Aircraft için sağlanmış bir işlemin ardından ticari olarak üretilmeye başlanmıştır. 1960 yılında piyasada görülmeye başlanan karbon lifleri organik liflerin (suni ipek, akrilik vb.) değiştirilmesi ya da petrol veya katran damıtma kalıntılarından elde edilirdi. Organik liflerden elde edilen karbon lifine PAN-karbon, petrol veya katran damıtışı ile elde edilen karbon ise zift-karbon olarak adlandırılırdı (URL\_1). 1963'lü yıllarda yüksek dayanıma sahip karbon liflerinin üretim metotları geliştirilmiştir. Özellikleri sayesinde ve petrol fiyatlarının düşmesiyle 1990'lı yıllarda karbon liflerinin kullanımı hızla artmıştır (Yaman ve diğ. 2006). 1990'dan sonraki yıllarda karbon lifleri ticari ve sivil uçaklar, eğlence, sanayi ve ulaşım pazarlarında geniş uygulama alanı bulmuştur. Öne çıkan özellikleri ile hafif matrisli kompozitlerde kullanılmaya başlanmışlardır. Karbon lifli kompozitler yorulma özellikleri, sertlik, mukavemet, düşük ağırlık, yüksek sıcaklık, kimyasal inertlik ve yüksek sönümlemenin önemli olduğu durumlarda kullanılabilirler (Releases 1998; Describes 1998). 1990'lı yıllardan 1997'ye kadar karbon lifli kompozit kullanımı giderek artmıştır ancak 1997'den 1999'a kadar karbon lif talebinde küresel bir yavaşlama olmuştur. Daha sonrasında kullanım çeşitli alanlarda artmaya devam etmiştir. Amerika dünyada üretilen karbonun yaklaşık %60'ını tüketmektedir. Japonya ise karbon lifi üretiminin %50'sini karşılamaktadır. Saha tipi karbon lifinin ise üretiminin neredeyse tamamı Japonya'dadır. Lifi en büyük üreticisi Japonya Toray Endüstri'dir (Yaman ve diğ. 2006).



**Şekil 2.4:** Karbon lifinin yıllara göre üretim miktarı (URL\_1).

#### 2.1.2.1.2 Karbon Lifinin Üretimi

Karbon lifi üretimi stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon olarak üç aşamadan oluşur. Stabilizasyon ve karbonizasyon karbon lifi elde etmek için yeterli aşamalardır, grafitizasyon aşaması ise mecburi değildir. Ayrıca stabilizasyonu (oksidasyonu) daha kolay hale getirmek ve süreyi kısaltmak için oksidasyon öncesi sülfonasyon (sülfonlama) işlemi uygulanabilir. Sülfonasyon 250 °C’de sıcaklık 1 °C/dakika da artacak şekilde sülfirikasit anhidridi ile yüklenmiş hava akımıyla yapılır. Karbon lifi üretiminde ise çeşitli hammaddeler kullanılmaktadır. Bunlar suni ipek (rayon), poliakrilnitril (PAN), petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı lifler, selüloz ve fenolik reçine prekürsörler, polimidin, polivinildenklorür veya polivinildenklorür kopolimerleridir. Karbon liflerinin özelliklerinde kullanılan hammadde ve üretim yöntemi etkilidir (Seventekin 2011; Kayrak 1999; Yaman ve diğ. 2006; Hoque ve diğ. 2001).

Stabilizasyon (oksidasyon) işlemi, karbon lifinin oluşumunda en büyük rol oynayan ve zaman alan işlemdir. Bu aşamadaki numune özellikleri oluşacak karbon lifinin özelliklerini belirler. 250-300 °C’de hava içinde 1-2 saat işlem görerek gerçekleştirilir. Bunun için, 0,5-1 kg/saat hava akımıyla tünel fırın içerisinde lif geçirilerek okside edilir. Bu işlemler sonucu lif ağırlığı %10 artar. Eğer lif bu aşamada yeterli derecede termal kararlılığa ulaşamazsa karbonizasyon aşamasındaki yüksek sıcaklıklara dayanamaz. Stabilizasyon işlemi sırasında liflerin

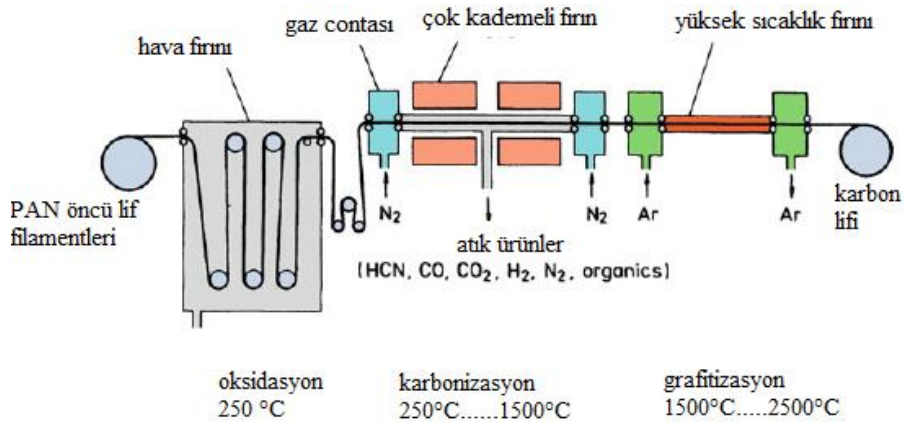
rengi beyazdan kahverengiye ve en son siyaha koyulaşır (Seventekin 2011; Tunçel 2013).

Karbonizasyon işleminde yüksek sıcaklıkta 1000-2500 °C’de oksijensiz ortamda ısıl işlem ile stabilize edilmiş lifin karbon life dönüştürülmesi ve karbon olmayan elementlerin liften uzaklaştırılması işlemi gerçekleştirilir (Fennessey 2006). Böylece %75’lik verim ile karbon lifleri elde edilmiş olur. Karbonizasyon sırasında liflerde %40’lık ağırlık kaybı meydana gelir (Seventekin 2011).

Grafitizasyon işlemi lifin performansını arttırmak için yapılır. Grafitizasyon ısıl işlem ile karbon yapısının grafit yapısına dönüştürülmesidir, yüksek sıcaklıkta termal bozulmayla gerçekleşir. Bu aşamada sıcaklık 3000 °C’yi aşar (Mittal 1997).

#### 2.1.2.1.2.1 PAN ile Karbon Lifi Üretimi

PAN lifleri öncelikle 250 °C’de havada birkaç saat stabilize edilir. Stabilizasyon daha sonraki yüksek sıcaklıklarda erimeyi önlemek içindir. Oksidasyon işlemi sırasında büzülmemeleri için lifler gerilim altında tutulur. Beyaz olan PAN lifleri oksidasyon sonrası kararır. Daha sonra bu lifler 1000-1500 °C’ye kadar inert bir atmosferde ısıtılır. Yavaş ısıtma ile liflerin yüksek derecede korunmasını sağlar. Eğer istenilirse grafitizasyon ile 3000 °C’ye kadar sıcaklıkta çok kısa bir süre tutulabilir. Bu, lif dokusunun yönünü geliştirir ve böylece lifin elastik modülünü artırır. İşlemler sonunda karbon verimi yaklaşık %50’dir (Chawla 2012). Aşağıdaki şekilde PAN bazlı karbon lifi üretimi sistematik olarak gösterilmiştir (Baker 1983).



Şekil 2.5: PAN bazlı karbon lifi üretimi (Baker 1983).

#### **2.1.2.1.2.2 Selüloz ile Karbon Lifi Üretimi**

İlk olarak selüloz lifi olarak pamuk lifi tercih edilmiştir. Ancak pamuk lifi erimeden ayrışma özelliği ve fiber eksenini boyunca düşük bir yönelime sahip olduğu için yüksek modüllü karbon fiber üretimi için uygun değildir. Ayrıca pahalı olması da bir dezavantajdır. Odun hamurundan yapılan suni ipek lifi (rayon) ucuz olmasıyla çekici hale gelmiştir. Selüloz odun hamurundan çekilir ve sürekli iplik lifleri ıslak eğirme ile üretilir. Rayonun üretim aşamaları fiberizasyon, reaktif bir atmosferde stabilizasyon (hava veya oksijenle) maksimum 400 °C’de sıcaklıkta, karbonizasyon maksimum 1500 °C’de ve maksimum 2500 °C’de grafitizasyondur. Rayondan elde edilen karbon lif verimi ağırlıkça %15-%30 arasındadır (Bacon 1973, Chawla 2012).

#### **2.1.2.1.2.3 Zift ile Karbon Lifi Üretimi**

Yaygın olarak kullanılan üç zift kaynağı polivinil klorür (PVC), petrol asfaltı ve kömür katranıdır. Zift bazlı karbon liflerinin tercih edilme sebepleri; hammaddesinin ucuz olması, yüksek karbon lifi verimi ve yüksek derecede yönlendirilmiş karbon fiber elde edilebilmesidir. Zift bazlı öncü bir liften karbon lifi elde etmek için PAN ve selüloz bazlı liflerde olduğu gibi oksidasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon sırası ile yapılır. İzotropik ve aromatik bir zift, çok yüksek gerilme hızlarında eriyik eğilmeye tabi tutulur ve yönlendirilmiş öncü lif elde edilmiş olur. Ardından çapraz eriyen bir yapı oluşturacak şekilde oksitlenir, karbonizasyon ve grafitizasyon ile işlem tamamlanır (Chawla 2012).

#### **2.1.2.1.3 Karbon Lifinin Özellikleri**

Karbon liflerinin yoğunluğu, karbon lifi elde etmek için kullanılan öncü liflerin yoğunluğundan daha fazladır. Karbon liflerinin yoğunluğu kullanılan öncü lifin yoğunluğuna ve verilen ısı derecesine göre farklılık gösterir. Karbon liflerinin yoğunluğu genellikle 1.6-2.0 g/cm<sup>3</sup> aralığındadır, öncü liflerin yoğunluğu ise 1.14 ila 1.19 g / cm<sup>3</sup> arasındadır (Bennett ve ark. 1983).

PAN karbon lifleri kendi arasında Young modüllerine göre gerilme mukavemetleri farklılık gösterir. Mezofaz zift bazlı karbon fiberler oldukça yüksek

modüllüdürler fakat düşük mukavemet seviyeleri gösterirler (2 GPa). Mezofaz zift esaslı karbon fiberler takviye için kullanılırken, izotropik zift esaslı karbon fiberler (çok düşük modül) yalıtım ve dolgu maddesi olarak daha sık kullanılır (Bright ve Singer 1979).

Tabloda da gördüğümüz gibi karbon lifleri iyi elektrik iletkenliğine sahiptir. Karbon liflerinin elektrik iletkenliği bakır telden 3 kat daha fazladır. Mezofaz zift karbon lifleri yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Uygun şekilde yönlendirilmiş bir mikro yapıya sahip karbon lifleri, 1.100 W / mK kadar yüksek ısı iletkenliğine sahip olabilir. PAN esaslı karbon lifleri için genellikle 50 W / mK' den azdır (Chawla 2012, Walsh 2001).

**Tablo 2.4:** Farklı karbon liflerinin özelliklerinin karşılaştırılması (Bright ve Singer 1979)

Öncü lif tipi	Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Young modülü GPa	Elektriksel direnç (10 <sup>-4</sup> Ω cm)
<b>Rayon</b> (Birleşik karbür, Thornel 50)	1,66	390	10
<b>PAN</b> (Birleşik karbür, Thornel 300)	1,74	230	18
<b>Tek kristal grafit</b> (modül ve öz direnç düzlem içi değerlendirilir)	2,25	1,000	0,40

Karbon liflerinden yapılmış kompozitler, alüminyum konstruksiyonlardan 7 kat çelik konstruksiyonlardan 5 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca karbon liflerinin yorulma davranışı bütün metallerden daha iyidir ve uygun reçine ile kaplanırsa kompozitin korozyona karşı dayanıklılığı da artar. Karbon lifleri yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında kolaylıkla erimezler, bu da onları roketlerde ve uçak frenlerinde kullanılmaya uygun hale getirir. Ayrıca karbon liflerinin özelliklerini kristalitlerin mikro yapıdaki dikey ve yatay yerleşimleri de etkilemektedir. Az veya çok eksene paralel yerleşmiş kurdele benzeri kristalitlerin uzunluğu ve düzlüğü lif modülünü etkilemektedir (Yaman ve diğ. 2007).

PAN esaslı karbon lifleri, katran esaslı karbon liflerine göre daha düşük modüle ve daha fazla kopma uzamasına sahiptir. Ayrıca germe ve sıkıştırma dayanımı da daha fazladır. Bunun nedeni kristalit boylarının kısa olup tabaka yerleşiminin iyi olmasıyla kayma zararını minimize etmesidir. Kristalitler çoklu tabakalardan oluşur ve her tabaka grafen tabaka denilen hegzagonal yapı şeklinde karbon atomlarından oluşmuştur. Tabaka içinde güçlü C-C bağları ve zayıf Van der Waals bağları bulunmaktadır. C-C bağları life sertlik ve dayanıklılık sağlar. Van der Waals bağları ise ısı ve elektrik iletkenliğinin yüksek olmasını sağlarken aynı zamanda kayma direncinin artmasına neden olur. PAN esaslı karbon lifleri poliakrilnitril liflerinin iplik eğirme sistemi, ısı işlem ve mekanik germe farklarından dolayı standart, orta ve yüksek modüllü olarak 3 kategoriye ayrılır. Çok yüksek modüle, yüksek termal ve elektriksel iletkenliğe sahip katran esaslı karbon liflerinin bu özellikleri büyük kristallere ve iyi oryantasyon derecesine sahip olmalarından kaynaklanır. Bu özellikleri ile uydu yapımında tercih edilirler (Walsh 2001; Yaman ve diğ. 2007).

Karbon liflerinin en önemli özellikleri yüksek mukavemet, tokluk değeri ve düşük yoğunluktur. Karbon liflerinin aşınma, yorulma ve sürünme mukavemetleri yüksektir, nemden etkilenmezler. Bu nedenlerle askeri ve sivil uçak yapımında kullanılırlar (Demirel 2007).

Kimyasal olarak inert bir malzeme olan karbon lifleri birlikte kullanıldıkları malzemeler ile reaksiyona girmezler. Ayrıca mikro yapısında molekül içi bağ bulundurduklarından dolayı ısıya karşı boyut stabilizeleri yüksektir (Akgün 2008).

#### **2.1.2.1.4 Karbon Lifinin Uygulamaları**

İlk olarak kendine ampullerde kullanım alanı bulan karbon lifleri günümüzde öne çıkan özellikleri ile çok çeşitli alanlarda kullanılırlar. Uzay ve havacılık sektöründen spor giysilerine, inşaat ve yapı sektöründen otomotiv sektörüne kadar birçok farklı alanda kullanılırlar.

Karbon lif pazarının oluşumunu sağlayan ilk itici güç askeri uygulamalar ve uzay faaliyetlerinden kaynaklanan gereksinimlerdir. Ardından spor endüstrisi

karbon liflerini benimsemiştir. Lif fiyatlarının yüksek olması ve emek yoğun üretim otomotiv endüstrisi gibi kitle pazarlarına geniş girişi sınırlamıştır. Tabii bu durum 30 yıl öncesinde petrolün bulunabilirliğinin fazla ve fiyatlarının ucuz olduğu dönemdedir. Ancak daha sonra petrolün fiyatının artması ve iklim tartışması ile CO<sub>2</sub> ve fosil yakıtların kullanımı gözden düşmüştür. Alternatif enerjiler, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu gündeme gelmiştir. Yanmalı motorla çalışan mobilite, uzun ve orta vadede elektromobilite ile rekabet etmek zorunda kalacaktır. Tüm bunlar, karbon fiberlerin sivil havacılık, rüzgâr enerjisi üretimi, otomotiv ve inşaat mühendisliği gibi kitle pazarlarına girmesi için büyük bir fırsat sağlamıştır. Karbon fiber pazarındaki büyüme, endüstriyel uygulamalar ve ardından havacılık endüstrisi tarafından yönlendirilmiştir (Frohs ve Jaeger 2011).

Karbon lifi tüketiminin %21'ini hava-uzay endüstrisi uygulamaları, %15'ini endüstriyel uygulamalar, %14'ünü spor malzemeleri, %11'ini rüzgâr enerjisi uygulamaları, %10'unu otomotiv sanayisi, %9'unu elektronik uygulamaları, %8'ini yağ ve gaz uygulamaları, %8'ini inşaat ve yapı uygulamaları, %4'ünü denizcilik uygulamaları oluşturmaktadır (Wilson 2009).

#### **2.1.2.1.5 Karbon Lifi Uygulama Alanları**

##### **2.1.2.1.5.1 Hava ve Uzay Endüstrisi**

Mukavemetinin yüksek olması, düşük yoğunluğa sahip olması, korozyon dayanımı, boyutsal stabilizesinin yüksek olması gibi üstün özellikleri ile karbon lifleri hava ve uzay endüstrisinde kullanıma uygundur. Uzay endüstrisinde özellikle epoksi ve poliimid reçinelerle elde edilen kompozit materyaller tercih edilmektedir. Ayrıca uzay ve uçak sanayisinde kullanılan alüminyum gibi hafif metallerin takviyesinde de karbon lifleri kullanılmaktadır (Yaman ve diğ. 2007).

Boeing'in Dreamliner'ının burun ve kokpit bölümü, karbon fiber bantların bir kalıp üzerine otomatik olarak sarılmasıyla oluşturulmuştur. Tüm operasyon sadece birkaç teknisyene ihtiyaç duyar. Bu tür yeni tekstil teknikleriyle havacılık endüstrisi, uçaklardaki karbon kompozit içeriğini %50'nin üzerine çıkarmıştır (Frohs and Jaeger 2011).



**Şekil 2.6:** Boeing 787 Dreamliner'ın burun ve kokpit bölümünün üretimi (Frohs ve Jaeger 2011).

Karbon lifinin günümüz uçak imalatındaki bu muazzam önemi nedeniyle, pazar liderleri Boeing ve Airbus, karbon fiber üreticileri ile stratejik tedarik sözleşmeleri imzaladılar (Frohs ve Jaeger 2011).

#### **2.1.2.1.5.2 Spor Malzemeleri**

Karbon lifleri hafifliği ve dayanıklılığıyla spor malzemelerinin gözde ham maddesi olmuştur. Yatlar ve yelkenlilerde, golf ve beysbol sopalarında, tenis raketlerinde, sörf tahtalarında, kayak ekipmanlarında, bilardo masası ve sopalarında, balıkçı oltalarında ve bisikletlerde kullanılırlar.

#### **2.1.2.1.5.3 Rüzgâr Enerjisi**

Rüzgâr güllerinde rüzgârdan sağlanan güç pervane çevresi ve pervane kanatlarıyla bağlantılıdır. Karbon liflerinin mukavemeti, sertliği, hafifliği rüzgâr güllerinde kullanımı için avantaj sağlamaktadır. Pervane kanatlarında hafif olması ile avantaj sağlamakla birlikte kule ve motordaki yükü azaltır (Turhan 2011).

#### **2.1.2.1.5.4 Otomotiv Sanayisi**

Arabalarda metaller ve cam liflerinin yerine karbon liflerinin kullanımı ağırlığın azalması ve yola tutuş performansının artması için oldukça avantajlıdır. Karbon liflerinin organik latex ve inorganik lif ile bağlanması ile elde edilen kompozit materyal otomobil hava yastıklarında filtre materyali olarak kullanılırlar. Yarış arabalarında ağırlığı azaltmak için yakıt tanklarında kullanılırlar. Yine fren disklerinde çelik yerine karbon lif takviyeli seramiğin kullanılması %50 yakıt



tasarrufu sağlamakla birlikte dört kat daha uzun ömürlü olur (Yaman ve diğ. 2007, Wilson 2009, Turhan 2011).

#### **2.1.2.1.5.5 Elektronik**

Karbon lifleri diz üstü bilgisayarlar ve kameraların iskeletinde kullanılmaktadır. Ayrıca termoplastik bir reçine ile birleştirilip elektronik parçalarda da kullanılabilirler. Elektrik fırınlarında da karbon kumaşlar 3000 °C'ye kadar ısı izolasyonu sağlarlar. (Yaman ve diğ. 2007).

#### **2.1.2.1.5.6 İnşaat ve Yapı Uygulamaları**

Karbon lifleri inşaat alanında özellikle yapısal güçlendirme için tercih edilirler. Kirişler karbon lifleri ile kuvvetlendirilmiş polimerden yapıldığında yüksek dayanım, yüksek modül ve yüksek korozyon dayanımına sahip olurlar (Yaman ve diğ. 2007). Ayrıca köprü iskelelerinde, sütunlarda ve döşemelerde anti sismik takviye elemanı olarak kullanılmaktadırlar. İnşaat demirleri, mil ve ızgaralarda takviye elemanı olarak kullanılırlar (Wilson 2009).

#### **2.1.2.1.5.7 Denizcilik**

Karbon lifleri sertlik ve dayanım özellikleri ile yelkenli gemilerde dümen, rulman, zincir plakalarda, direk ve salda yüksek ağırlıktaki yüklemelerle başa çıkmak için kullanılmaktadır. Deniz botlarında alüminyum yerine sandviç yapılı karbon kompozitlerin kullanımı ağırlığı %30 azaltmış yakıttan da %20 tasarruf etmeyi sağlamıştır (Wilson 2009). Karbon ile yapılan gemiler çeliğe göre %50 daha hafiftir ve daha fazla malzeme taşıma kapasitesine sahip olurlar (Turhan 2011).

### **2.1.2.2 Cam Lifi**

Cam lifi de karbon lifi gibi kompozitlerin takviyesinde sıkça kullanılan bir lifdir. Ticari olarak temin edilebilen farklı cam lifi kimyasal bileşimleri vardır. Genellikle cam lifleri silis (~50–60 % SiO<sub>2</sub>) tabanlıdır ve kalsiyum, bor, sodyum, alüminyum, demir gibi oksitleri içerirler. Aşağıdaki tabloda en çok kullanılan cam liflerinin bileşimleri verilmiştir (Chawla 2012).

**Tablo 2.5:** Bazı cam liflerinin yaklaşık kimyasal bileşimleri (ağırlıkça %) (Chawla 2012)

<b>Bileşim</b>	<b>E camı</b>	<b>C camı</b>	<b>S camı</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	55.2	65.0	65.0
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8.0	4.0	25.0
<b>CaO</b>	18.7	14.0	-
<b>MgO</b>	4.6	3.0	10.0
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.3	8.5	0.3
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.2	-	-
<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	7.3	5.0	-

E camı iyi bir elektrik yalıtkanı olduğu için bu ismi almıştır aynı zamanda iyi bir mukavemete ve young modülüne sahiptir. C camı ismini İngilizcedeki corrosion (korozyon) kelimesinin baş harfinden almıştır kimyasal korozyona diğer camlara göre daha dayanıklıdır. S camı ise içeriğindeki silis oranının diğer cam türlerine göre daha fazla olmasından dolayı bu ismi almıştır, içeriğindeki silisin fazla olması ile diğer camlara göre daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Üretilen camlar genelde E camıdır ancak E cam lifinin elektriksiz kullanımını toplam pazarın sadece küçük bir kısmını oluşturmaktadır (Chawla 2012).

#### **2.1.2.2.1 Cam Lifinin Tarihi**

İlk cam lifi üretimi 1734 yılında Rene Ferchault de Reaumur tarafından yapılmıştır. Ancak kendisi bu ince lifleri dokumada zorluk çektiği için cam lifinin sanayileşmesi 18. Yüzyıl'ın sonlarında gerçekleşmiştir. İplik haline getirilebilecek ve dokunabilecek yapıdaki cam iplikleri 1931 yılında Owens-İllinois Glass Company, Newark/Ohio, firması tarafından üretilmiştir. 1960'ların başında Amerikan Hava Kuvvetleri ile Owens Corning Tekstil Ürünleri birlikte çalışarak yüksek dayanımlı cam tipi olan S tipi camı kompozitlerin takviyesinde kullanmaya başlamıştır. Daha sonra lif çekim yöntemlerinin gelişmesi ile cam liflerinin üretimi artmıştır. 21. Yüzyıl'da bu üretim 2,9 milyon ton/yıl olmuştur. Bu tüm teknik tekstil lif tüketiminin %20'sini oluşturmaktadır (Seventekin 2011).

### 2.1.2.2.2 Cam Lifinin Üretimi

Cam liflerinin üretimi için üç farklı yöntem vardır. Bunlar, düzeden lif çekimi, çubuktan lif çekim yöntemi ve üfleyerek lif çekim yöntemidir. Başlangıçta hepsi için yapılan işlemler aynıdır. Öncelikle cam lifleri eritme ve rafine işlemiyle içindeki yabancı maddelerden temizlenirler. Daha sonra bu saflaştırılmış cam bilye halinde veya çubuk halinde soğutulur. Düzeden lif çekim işleminde çubuk halindeki cam 1200-1400 °C'ye kadar ısıtılarak istenilen viskoziteye getirilir. Eriyik haldeki cam delikleri 1-2 mm arasında değişen üzerinde yaklaşık 200 delik bulunan düzelerden kendi ağırlığı ile akar ve yapışmaması için üzerine yağ sıkılan bir bobine sarılır. Cam liflerinin incelikleri ve uzunlukları bobinin dönme hızı ile ayarlanabilir. Çubuktan lif çekimi yönteminde çubuklar elektrikle ya da gazla ısıtılarak lif çekimi yapılabilecek hale gelir ve lif çekim tamburuna sarılır, tamburun hızına bağlı olarak lif boyları ayarlanır. Üfleyerek lif çekim yönteminde ise düzeden lif çekiminde olduğu gibi eriyik halindeki lif kabin içindeki deliklerden akarken üzerine su buharı üflenir, cam teller parçalanarak ştapel haline gelir daha sonra tambur yardımıyla toplanır ve bant haline getirili, istenilen kalınlıkta iplik yapmak için hazır hale gelirler (Seventekin 2011).

### 2.1.2.2.3 Cam Lifinin Özellikleri

Aşağıdaki tablo 2.6'da endüstride diğer cam liflerinden daha fazla kullanılan E cam lifinin özellikleri gösterilmiştir. Yoğunluğu oldukça düşük ve mukavemeti oldukça yüksektir. Yani cam liflerinin mukavemet-ağırlık oranları oldukça yüksektir. Ancak cam liflerinin young modülü çok yüksek olmadığı için modül-ağırlık oranları orta düzeydedir (Chawla 2012).

**Tablo 2.6:** E cam lifinin tipik özellikleri (Chawla 2012)

Mukavemet (MPa)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Young Modülü (GPa)	Termal Genleşme Katsayısı (K <sup>-1</sup> )
1,750	2,55	70	4.7 x 10 <sup>-6</sup>

Nem, cam liflerinin mukavemetini azaltır. Cam lifleri ayrıca statik yorgunluğa karşıda hassastır yani cam lifleri uzun bir süre sabit bir yüke maruz

kaldığında cam liflerinde çatlaklar oluşabilir. Cam lifleri kimyasallara karşı dirençlidirler ancak sıcak hidroflorik asit ve fosforik asitten etkilenirler. Elektriği iletmezler bu özellikleri ile elektrik yalıtımının gerekli olduğu yerlerde kullanılabilirler. Cam lifleri yanmazlar ancak 1150 °C’de erirler (Chawla 2012, Kayrak 1999, Özdemir 2006).

#### **2.1.2.2.4 Cam Lifinin Uygulamaları**

Cam liflerinin büyük çoğunluğu yalıtım malzemesi gibi teknik amaçlarla kullanılmaktadır. Tekstil için kullanılan cam liflerinin oranı oldukça düşüktür (Seventekin 2011).

#### **2.1.2.2.5 Cam Lifinin Uygulama Alanları**

##### **2.1.2.2.5.1 İnşaat ve Yapı Uygulamaları**

Cam lifi takviyeli reçineli yapılar inşaat sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir. Bunlara cam takviyeli plastik veya GRP (Glass Reinforced Plastic) denir. Diğer yapı malzemeleri için kaplama amaçlı veya yük taşımayan duvar panelleri, pencere çerçeveleri, tanklar, banyo üniteleri, borular ve kanallar için kullanılabilirler. Ayrıca demiryolu ve karayolu taşıma endüstrisinde kullanılırlar (Chawla 2012).

##### **2.1.2.2.5.2 Kimya Endüstrisi**

Cam lifi takviyeli reçineli yapılar kimyasal etkenlere dayanıklı oldukları için kimya endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır. Bunlar, depolama tankları, boru hatları, proses kapları, kazanların ve kabloların kaplanması ve yer altı izolasyonlarında kullanılırlar (Chawla 2012, Seventekin 2011).

##### **2.1.2.2.5.3 Diğer Kullanım Alanları**

1960’ların ortalarından beri tekne gövdeleri cam lifi takviyeli kompozitlerden yapılmaktadır. Yelken direği ve kontrol panellerinde de kullanılırlar. Otomobil gövdelerinde, yarış arabalarında, uçakların ve tankların

parçalarında, karton kutularda, yapıştırıcı bantlarda ayrıca yangına ve zararlı ışınlarla karşı koruyucu ekipman ve kumaşlarda kullanılırlar (Chawla 2012, Özdemir 2006).

## **2.2 Matris Malzemeleri**

Matris malzemelerinin başlıca üç görevi; kompozitlerin üzerine yüklenen yükü takviye edici kumaş üzerine eşit şekilde dağıtmak, lifleri dışardan gelebilecek etkilerden korumak ve lifleri bir arada tutmaktır (Hoskin ve Baker 1986).

Kompozitlerde yükü asıl taşıyan takviye edici kumaştır ancak matris malzemesinin mekanik özellikleri de oldukça etkilidir. Matris malzemesi olmadığında yük, takviye edici kumaş üzerinde sadece birkaç lif üzerine baskı yapıp kopmaya neden olabileceken, matris malzemesiyle kompozit üzerine eşit şekilde etki eder. Tabii ki bu dayanıklılığın sağlanması için de matris malzemesinin takviye edici kumaşa iyi bir şekilde yapışması ve mukavemet özelliklerinin iyi olması gerekir. Matrisler liflere göre daha esnek ancak daha zayıflardır. Kompozit malzemenin mukavemetini belirleyici başka bir unsurda lif yönlendirmelerinde dik doğrultuda, matris ile lif arasındaki bağ kuvvetleri ve matrisin mekanik özellikleridir (Clyne ve Hull 1981, Hoskin ve Baker 1986).

Termoplastik ve termoset matris malzemeleri en yaygın kullanılan matris malzemeleridir.

### **2.2.1 Termoplastik Matris Malzemeleri**

Termoplastikler doğrusal zincir molekülleri ile karakterize edilir ve tekrar tekrar eritilebilir veya yeniden işlenebilir. Soğuma süresinin termoplastiğin kristallik derecesini etkilediğine dikkat etmek önemlidir. Bunun nedeni, polimer zincirlerinin, kristalin haldeki düzenli modele organize olmak için zamana ihtiyaç duymasıdır; çok hızlı bir soğutma hızı kristalleşmenin oluşmasına izin vermeyecektir. Termoplastiklerle tekrarlanan eritme ve işleme mümkün olmakla birlikte, termal maruziyetin (belirli bir sıcaklıkta çok yüksek bir sıcaklık veya çok

uzun bir bekleme süresi), özellikle darbe özellikleri gibi polimer özelliklerini bozabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Termoplastiklerin dezavantajları, oldukça yüksek genleşme ve yüksek viskozite özellikleridir (Chawla 2012).

Termoplastik matris malzemelerine; Asetal/Poli Metilen (POM), Poli Etilen (PE), Poli Metil Metakrilat (PMMA), Poli Amid (PA)/ Nylon, Poli Propilen (PP), Poli Tetra Floro Etilen (PTFE), Poli Vinil Klorür (PVC), Poli Eter Sülfon (PES), Poli Eter İmid (PEI), Poli Amid İmid (PA), Poli Fenilen Sülfid (PPS), Poli Eter Eter Keton (PEEK) örnek olarak verilebilir (Eti 2017).

## **2.2.2 Termoset Matris Malzemeleri**

Termoset matris malzemelerinin diğer adları ısı sertleşir plastiklerdir. Bir defa şekil aldıktan sonra tekrar eski formlarına döndürülemezler. Oda sıcaklığında sertleşirler ve tekrar şekil alamazlar. Bu nedenle kullanılacakları zamana kadar soğutucularda bekletilirler. Termoset matris malzemelerine; polyester, epoksi, yüksek sıcaklık reçineleri, fenolik, silikon, poliamid, poliüretan, cynate ester örnek verilebilir (Eti 2017).

Sürekli liflerle birlikte yaygın olarak kullanılan termoset matris malzemesi, epoksi reçinelerdir.

### **2.2.2.1 Epoksi Reçine**

Epoksi reçineler başlıca termoset matris malzemelerinden biridir. Epoksi, kimyasal yapısında bir epoksit grubu (bir oksijen atomu ve iki karbon atomu) içeren bir polimerdir. Epoksi reçinelerde viskoziteyi azaltmak için seyrelticiler kullanılır, epoksiyi esnek hale getirmek için esnekleştirici maddeler kullanılır. Epoksi reçineler polyesterlerden daha pahalıdır, ancak daha iyi nem direncine, kürelemede daha düşük büzülme (yaklaşık %3), daha yüksek bir maksimum kullanım sıcaklığına ve cam liflerle iyi yapışmaya sahiptirler. Birçok tescilli epoksi formülasyonu mevcuttur ve yüksek performanslı polimer matris kompozitlerinin

çok büyük bir kısmı, matris olarak ısıyla sertleşen epoksilere sahiptir (Chawla 2012).

Epoksilerin avantajları; lifli yapılarla bağ mukavemeti yüksektir, aşınma dirençleri yüksektir, yüksek ve düşük sıcaklıklarda sertleşebilirler, kopma dayanımları yüksektir. Dezavantajları ise; polyesterden daha pahalı olması ve yüksek viskoziteye polyester kadar çok uygun olmamasıdır (Schwartz 1984).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Takviye Edici Dokuma Kumaş Yapılarda Kullanılan İplikler

Çalışma kapsamında hibrit olarak adlandırdığımız dokuma kumaşlar 3K karbon/bazalt, 12K karbon/bazalt, cam/bazalt ve hibrit olmayan bazalt/bazalt dokuma kumaş elde edilmiştir.

Karbon kumaşlarda kullanılan 3K ve 12K olarak ifade edilen karbon ipliklerdeki K ifadesi karbon ipliklerinin numaralandırılmasında kullanılan bir ifadedir. K, ipliğin içinde bulunan bin adet karbon lifini ifade eder. 3K karbondaki üç bin adet karbon lifi vardır. 12K karbon ise on iki bin adet karbon lifi içerir. Dolayısıyla 12K karbon ipliği 3K karbon ipliğinden daha kalın bir yapıya sahiptir. Aşağıda tablo 3.1 'de takviye edici kumaşların yapımında kullanılan 3K ve 12K karbon ipliklerinin üretici firma tarafından verilen özellikleri gösterilmiştir.

**Tablo 3.1:** 3K ve 12 K karbon ipliğinin özellikleri

<b>LİF ÖZELLİKLERİ</b>	<b>3K KARBON</b>	<b>12K KARBON</b>
Çekme Modülü (GPa)	245	254
Çekme Dayanımı (MPa)	4227	5015
İplik Numarası (g / 1000m)	201	805
Yoğunluk (g / cm <sup>3</sup> )	1,79	1,8
Uzama (%)	1,7	2
Büküm	Yok	Yok
Raf ömrü	2 yıl	2 yıl



Takviye edici dokuma kumaş yapılarında kullanılan cam iplikleri ise E tipi camdan elde edilmiş olan 300 tex numaralı cam ipliklerdir. Cam ipliklerinde E tipi cam diğerlerinden daha iyi mukavemet ve young modülü özelliklerinden dolayı kompozit yapımında diğer cam tiplerine göre daha tercih edilebilirdir. Takviye edici kumaşların yapımında kullanılan cam ipliklerinin üretici firma tarafından verilen özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 3.2:** Cam ipliğinin özellikleri

<b>Cam Tipi</b>	<b>E6</b>
Monofilament çapı [ $\mu\text{m}$ ]	13
Doğrusal yoğunluk [tex]	300
Boyutlandırma içeriği (ağırlıkça%)	0,55
Nem içeriği (ağırlıkça%)	$\leq 0,10$
Çekme Dayanımı (MPa) UP reçine	2741
Çekme Modülü (MPa) UP reçine	81232
Çekme Dayanımı (MPa) EP reçine	2673
Çekme Modülü (MPa) EP reçine ile	81126
Kayma Dayanımı (MPa) epoksi ile	70

Bazalt ipliğinde ise 17 mikron inceliğinde 1200 tex iplik numaralı bazalt ipliği kullanılmıştır. Kullanılan bazalt ipliğinin üretici firma tarafından verilen özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

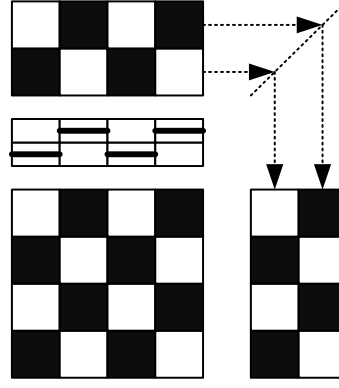
**Tablo 3.3:** Bazalt ipliğinin özellikleri

Monofilament çapı [ $\mu\text{m}$ ]	17
Doğrusal yoğunluk [tex]	1200
Boyutlandırma içeriği	$\geq 0,4$
Uyumluluk	Epoksi ve fenolik reçineler
Nem içeriği (ağırlıkça %)	$< 0,1$
Kırılma Dayanımı (N/tex)	$\geq 0,40$
Çekme Dayanımı (MPa)	2900-3100
Çekme Modülü (GPa)	86

### 3.2 Takviye Edici Dokuma Kumaş Yapılarının Elde Edilmesi

Dokuma kumaşlarda atkı ve çözgü olarak iki farklı iplik türü yer almaktadır. Birbirlerine paralel olarak yan yana dizilmiş bulunan çözgü iplikleri arasından belli bir bağlantı düzeni (örgü yapısı) içerisinde atkı ipliklerinin dik yönde geçirilmesi ile dokuma işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada modifiye edilmiş Dornier sert kancalı (rapierli) dokuma makinesi kullanılmış, çözgü leventi yerine çağlıkta bobin halinde iplik besleme ile çözgü iplikleri yer almıştır. Atkı ipliği bilinen yöntem ile rapierli olarak atılmıştır. Dokuma makinesi 88 devir/dk hızla çalıştırılmıştır. Dokuma makinesinin eni 150 cm, tarak numarası 5'dir. Bu çalışmada kullanılan kumaşların eni 100 cm boyu 2,5 m'dir. Çözgü ipliği olarak çağlıktan bobin besleme ile 17 mikron inceliğinde 1200 tex numaralı bazalt ipliği tüm numunelerde kullanılmıştır.

Atkı ipliği olarak 3K karbon, 12K karbon, 300 tex numaralı cam ipliği ve 1200 tex numaralı bazalt ipliği kullanılmıştır. Bu şekilde düz dokuma ile diğer bir ifade ile bezayağı (plain weave) konstrüksiyonunda iplik hammaddesi farklı kumaş yapıları elde edilmiştir. Şekil 3.1'de numune olarak elde edilen dokuma kumaşların örgü, atkı, tahar ve tarak planı verilmiştir.



**Şekil 3.1:** Bezayağı (plain weave) örgü konstrüksiyon (örgü/tarak/tahar ve atkı planı)

Elde edilen kumaşların gramaj ve sıklık bilgileri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 3.4:** Üretilen kumaşların gramaj ve sıklıkları

<b>1200 tex- Çözü İpliği</b>	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt
<b>Atkı İpliği</b>	3K Karbon	12K Karbon	Cam	Bazalt
<b>Kumaş gramajı (g/m<sup>2</sup>)</b>	563	753	542	856
<b>Atkı sıklığı (atkı/cm)</b>	3	3	3	3
<b>Çözü sıklığı (çözü/cm)</b>	5	6	6	6

Elde edilen kumaşların fotoğrafları aşağıdadır.



(a)

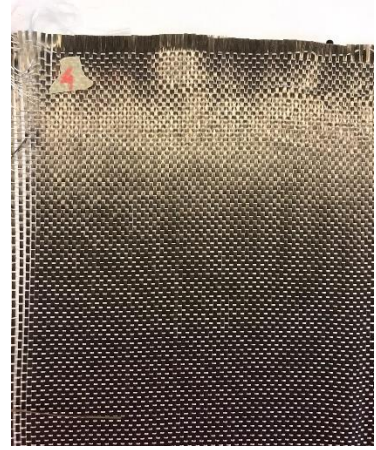


(b)

**Şekil 3.2:** 3k karbon/bazalt (a) - 12k karbon/bazalt (b)

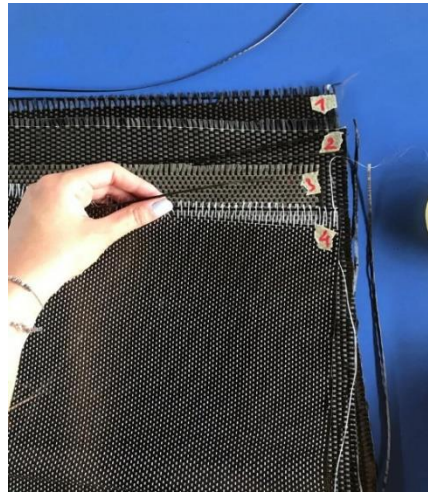


(a)



(b)

**Şekil 3.3:** Bazalt/bazalt (a) - cam/bazalt (b)



**Şekil 3.4:** Sırasıyla 3k karbon/bazalt 12k karbon bazalt bazalt/bazalt cam/bazalt kumaşlar

### 3.3 El Yatırma Yöntemi ile Kompozit Yapıların Elde Edilmesi

Bazalt hibrit ve hibrit olmayan kompozitler, takviye edici kumaşın tek katıyla birlikte el ile yatırma yöntemi kullanılarak imal edilmiştir. Matris materyali olarak epoksi reçine tercih edilmiştir. Epoksi reçineler, iyi kimyasal ve solvent dirence, yüksek mekanik mukavemetlere ve endüstriyel olarak rekabetçi malzeme maliyetine ve yüksek bozulma sıcaklıkları dahil olmak üzere birçok mükemmel özelliğe sahiptir (Jamshaid ve Mishra 2016).

Reçine olarak Huntsman MY-740 kullanılacak ayrıca reçine içerisine yardımcı madde olarak sertleştirici Huntsman HY 918 ilave edilmiştir. Kullanılan reçine ve sertleştiricinin özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

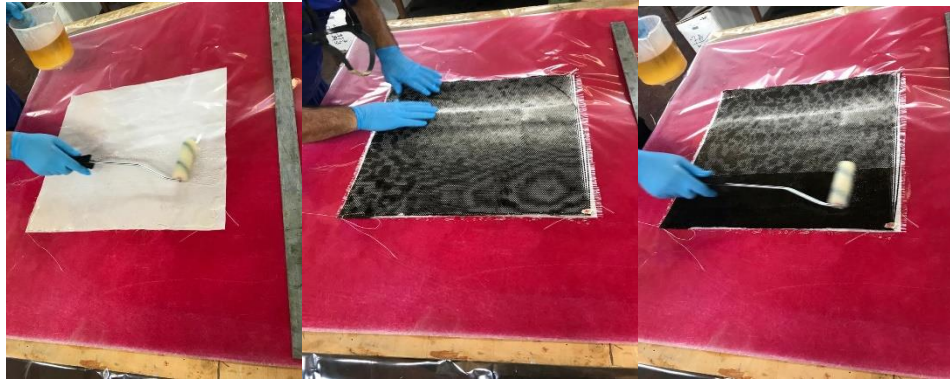
**Tablo 3.5:** Hunstman My-740 reçinesinin özellikleri

<b>25 °C’de Viskozite (MPa)</b>	12000
<b>25 °C’de Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,16
<b>Epoksi içeriği (Eq/kg)</b>	5,3
<b>Yanma Noktası (°C)</b>	>200
<b>Tehlikeli atık</b>	Karbonmonoksit ve karbondioksit ve eğer yanarsa diğer toksit gazlar

**Tablo 3.6:** Hunstman Hy-918 sertleştiricisinin özellikleri

<b>25 °C’de Viskozite (MPa)</b>	65
<b>25 °C’de Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,2
<b>Yanma Noktası (°C)</b>	>140
<b>Tehlikeli atık</b>	Karbonmonoksit ve karbondioksit ve eğer yanarsa diğer toksit gazlar

Reçine ve sertleştirici 100/85 oranında bir kaptaki karıştırılmıştır. Isıya dayanıklı release film üzerine 50 cm \* 50 cm boyutlarında kalıp çizilir ardından release film üzerine karıştırılmış epoksi ve sertleştirici el rulosu yardımıyla düzgün bir şekilde uygulanmıştır. Bu kısımda epoksinin kumaş üzerine düzgün ve eşit bir şekilde dağıtılması çok önemlidir, bu da tecrübeli bir el işçiliği gerektirir.



**Şekil 3.5:** Fırça yardımıyla reçinenin emdirilmesi işlemi

Ardından, aynı boyutlarda kesilmiş takviye edici kumaşın tek katı kalıp üzerine yerleştirilmiştir. Takviye edici kumaşın üzerine de reçine ve sertleştirici el rulosu ile düzgün bir şekilde yedirilmiş ve üzeri film ile kapatılmıştır. İçerisindeki hava boşluklarını çıkarmak ve düzgün bir reçine dağılımını sağlamak amacıyla hava alma rulosuyla üzerinden geçilmiştir. Aynı işlemler dört farklı kumaş için de gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.6:** Release filmin kaplanması ve rulo yardımıyla içindeki havanın alınması işlemi

Sonrasında, ısıtmalı pres makinasına yerleştirilmiş, hava boşluklarını önlemek için aralarına aynı boyutlarda kesilmiş olan cam kumaşlar yerleştirilerek 100 °C’de 3 saat süresince kürleştirilmiştir.



**Şekil 3.7:** Kompozit plakaların presleme işlemi

Pres makinasından çıktıktan sonra soğuması için düz bir zemin üzerinde 24 saat bekletilmiştir. Tek katlı olarak hazırlanan kompozitlerin kalınlıkları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 3.7:** Elde edilen kompozitlerin kalınlıkları

Kompozit	Kalınlık (mm)
Bazalt/3K Karbon	0,50
Bazalt/12K Karbon	0,65
Bazalt/Bazalt	0,70
Cam/Bazalt	0,40

Ardından, uygun numune ölçülerinde CNC tezgahında kesilmiştir.

### **3.4 Kompozit Testlerinin Yapılması**

Çekme testi, malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarının yani mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve bu mekanik davranışlara göre sınıflandırılması amacıyla yapılan test yöntemidir. Belirli standartlara göre hazırlanmış olan deney numunelerine sabit bir hızla tek eksenle artan kuvvet uygulanır. Hareketli bir üst çene ve bir alt çene bulunduran çekme deneyi cihazlarında deney esnasındaki hız malzemeye göre belirlenir. Çekme testinde boyutları standartlara uygun numune; çekme cihazının çenelerine bağlanır ve numuneye eksenine boyunca yük uygulanır.

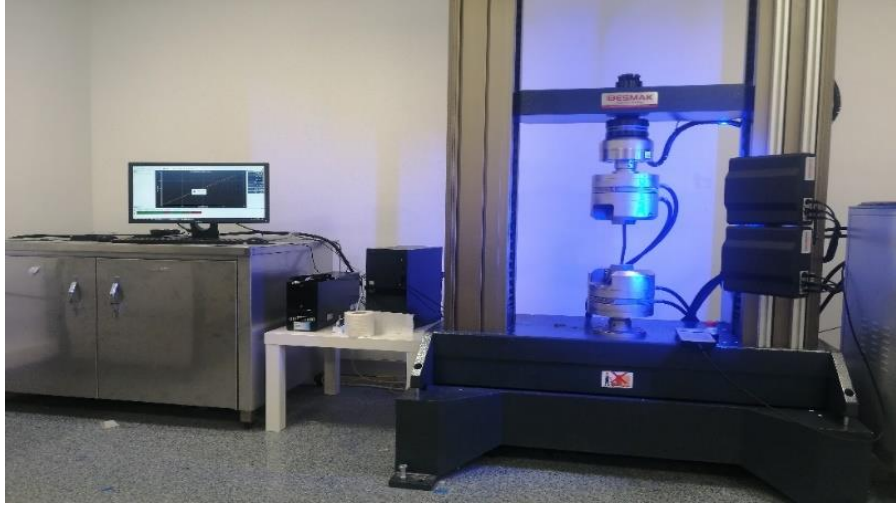
Üç nokta eğilme testi, malzemenin mukavemeti hakkında tasarım bilgilerini belirlemek ve malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla yapılır. Deney numunesi iki desteğe serbest olarak oturtulur. Ortasına yön değiştirmeden bir kuvvet uygulanır.

Uygulanan tüm mekanik testler uygun kondisyon şartlarında gerçekleştirilmiş ve deney standartlarına uygun olarak her bir numune tipinden 5'er adet parça belirtilen mekanik testlere tabi tutulmuştur.

#### **3.4.1 Çekme Testi**

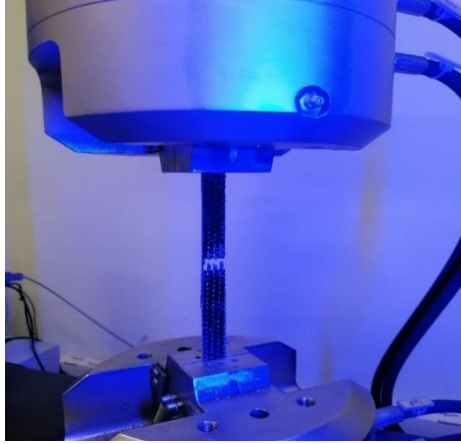
Kompozitlerin çekme dayanımı ASTM D3039-76 test standardına uygun olarak ölçülmüştür.





**Şekil 3.8:** Çekme dayanımı test cihazı

Numune eni 25 mm, numune boyu 250 mm ve kavrama mesafesi 150 mm olacak, test hızı ise 2 mm/dakika, test örneği 5 adet, ön gerilme 5 N, yük hücresi 100 kN, ölçme uzunluğu 50 mm olarak ayarlanmıştır. Ortam sıcaklığı  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , bağıl nem  $50\pm 10\% \text{RH}$  olarak kondisyon şartları sağlanmıştır.

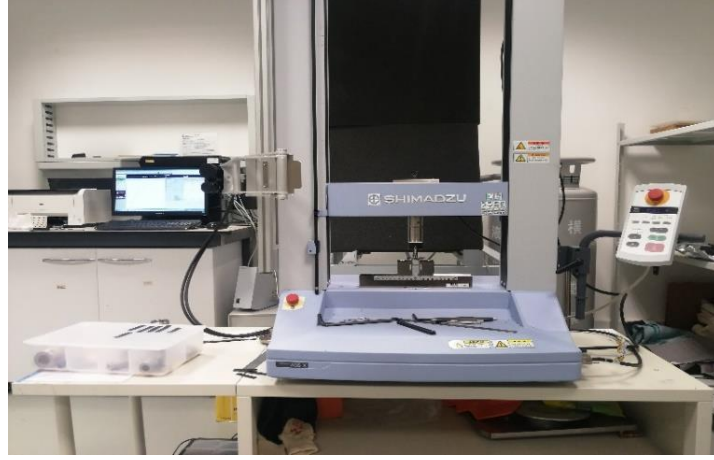


**Şekil 3.9:** Çekme cihazında numunenin kopma anındaki görüntüsü

### 3.4.2 Üç Nokta Eğilme Testi

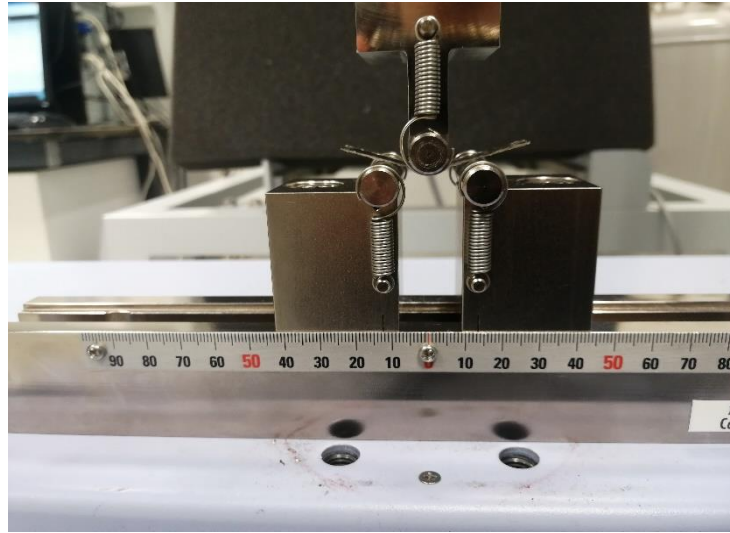
Kompozitlerin eğilme gerilmelerinin bulunabilmesi için ASTM D790 standartlarına göre üç nokta eğilme testi uygulanmıştır. Kompozitlerin mekanik özelliklerine bakarken özellikle üç nokta eğilme testinin seçilmesinin nedeni kompozitlerin kullanım alanlarının genellikle direkt çift taraflı çekme etkisinde

kalmalarının yanında genellikle üç nokta etkiye maruz kalmalarından kaynaklanır. Örnek olarak; uçak kanatları, rüzgâr tribünleri...



**Şekil 3.10:** 3 Nokta Eğilme Test Cihazı Görüntüsü

Numune eni 12,7 mm, numune boyu 50,8 mm'dir. Deneysel standartta da belirtildiği gibi 25,4 mm destek aralığında, test hızı 1,2 mm/dakika, destek noktaları çapı 5 mm, ön yük 0,5 N, kullanılan load cell 5 kN, test örneği 5 adet olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Ortam sıcaklığı  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , bağıl nem  $65\pm 4\% \text{RH}$  olarak kondisyon şartları sağlanmıştır.



**Şekil 3.11:** 3 nokta eğilme test cihazında numune görüntüsü

### 3.5 Test Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Test sonuçları istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizlerin gerçekleşmesinde Minitab İstatiksel Software paketi kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel analizlere göre %95 güven aralığında varyasyon analizi (ANOVA) yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde p değerleri, kullanılan hammadde değişimlerinin önemlilik düzeyini göstermiştir.  $p \geq 0,05$  olması durumunda değişiminin önemli olmadığı, ihmal edilebildiğini göstermiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi sonucunda numunelerin atkı ve çözümlü yönlerinde; en büyük kuvvet (kN), en büyük kuvvetteki gerilme (MPa), en büyük kuvvetteki uzama (%), elastisite modülü (MPa) ve her değerin % varyasyon katsayısı (%CV (coefficient-of-variation)) değerleri hesaplanmıştır.

**Tablo 4.1:** 3K Karbon Çekme Dayanımı Sonuçları

ÇEKME DAYANIMI	3K Karbon			
	Çözgü Yönü		Atkı Yönü	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	3,9	9,59	1,1	4,03
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	445	8,49	120	4,28
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	1,6	12,6	2,2	2,4
Elastisite Modülü (MPa)	29414	1,71	7415	20,76

**Tablo 4.2:** 12K Karbon Çekme Dayanımı Sonuçları

ÇEKME DAYANIMI	12K Karbon			
	Çözgü Yönü		Atkı Yönü	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	4,1	6,47	3,5	1,41
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	289	6,9	252	2,80
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	1,9	9,4	2,6	2,29
Elastisite Modülü (MPa)	18393	3,18	15688	3,65

**Tablo 4.3:** Cam Çekme Dayanımı Sonuçları

ÇEKME DAYANIMI	Cam			
	Çözü Yönu		Atkı Yönu	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	4,2	11,57	0,20	4,19
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	550	11,85	28,0	4,35
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	1,59	11,80	1,15	22,04
Elastisite Modülü (MPa)	37502	5,29	7835	11,57

**Tablo 4.4:** Bazalt Çekme Dayanımı Sonuçları

ÇEKME DAYANIMI	Bazalt			
	Çözü Yönu		Atkı Yönu	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	3,9	3,42	3,3	3,59
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	298	2,84	237	3,06
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	1,9	3,3	2,65	1,33
Elastisite Modülü (MPa)	18,771	2,30	15117	1,47

Tekstil takviyeli kompozit plakaların tablolarda verilen çekme dayanımı sonuçlarına göre her numune kendi içinde atkı ve çözgü yönündeki değerlere göre karşılaştırılırsa;

- Atkı ve çözgü yönlerindeki en büyük kuvvetler kendi aralarında karşılaştırıldığında her zaman en büyük kuvveti çözgü yönü göstermiştir.
- Atkı ve çözgü yönlerindeki en büyük kuvvetteki gerilme kendi aralarında karşılaştırıldığında her zaman en büyük kuvvetteki gerilmeyi çözgü yönü göstermiştir.
- Atkı ve çözgü yönlerindeki en büyük kuvvetteki % uzama değerlerini karşılaştırıldığında her zaman atkı yönündeki uzama daha fazla olmuştur. Genellikle bilinir ki dokuma makinasında yer alan çözgü iplikleri belirli kuvvet altındadır, atkı ipliği ise bobinden ağızlık içerisine giriş yapar, bu durumda oluşan kumaş içerisinde

atkı ipliğinin üzerinde kuvvetin nispeten az olması çözgünün yolunu takip edeceğinden kıvrımlı bir hal alır. Çekme kuvveti ile kıvrımlar da açılma olacağından atkı yönündeki uzama genelde daha fazladır. Atkı ipliğinin kıvrımlı yapısı kaplamalı teknik iplik ve kumaşlarda sorun yaratabilir.

- Atkı ve çözgü yönlerindeki elastisite modülleri kendi aralarında karşılaştırıldığında her zaman en büyük elastisite modülü çözgü yönüne aittir.

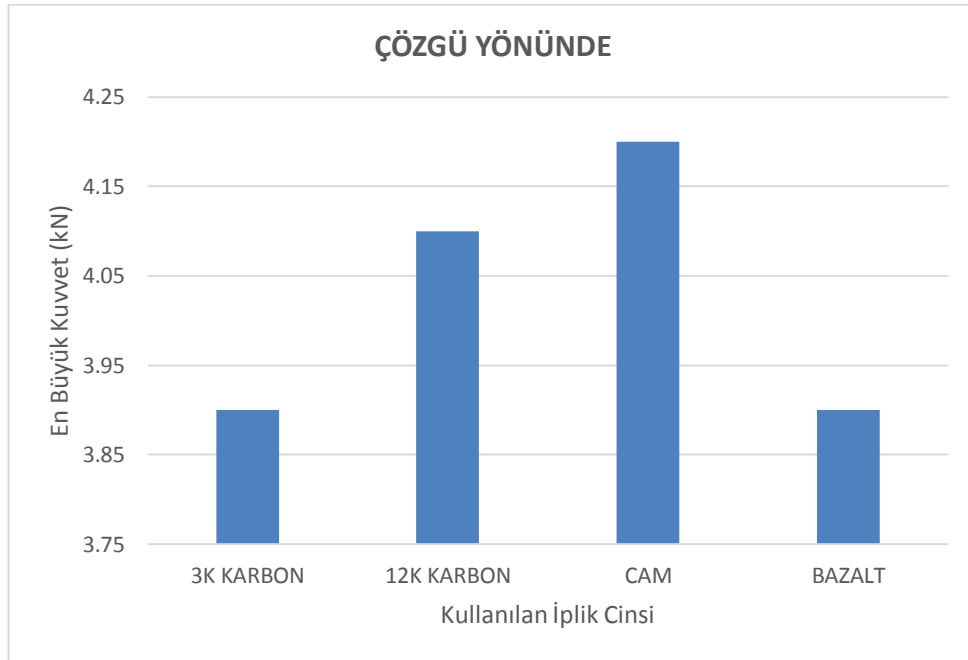
**Tablo 4.5:** Tüm kompozitlerin çekme dayanımı sonuçlarının çözgü yönündeki sonuçları

<b>ÇÖZGÜ YÖNÜ</b>	<b>En Büyük Kuvvet (kN)</b>	<b>En Büyük Kuvvettteki Gerilme (MPa)</b>	<b>En Büyük Kuvvettteki Uzama (%)</b>	<b>Elastisite Modülü (MPa)</b>
3K KARBON	3,9	445	1,6	29414
12K KARBON	4,1	289	1,9	18393
CAM	4,2	550	1,59	37502
BAZALT	3,9	298	1,9	18771

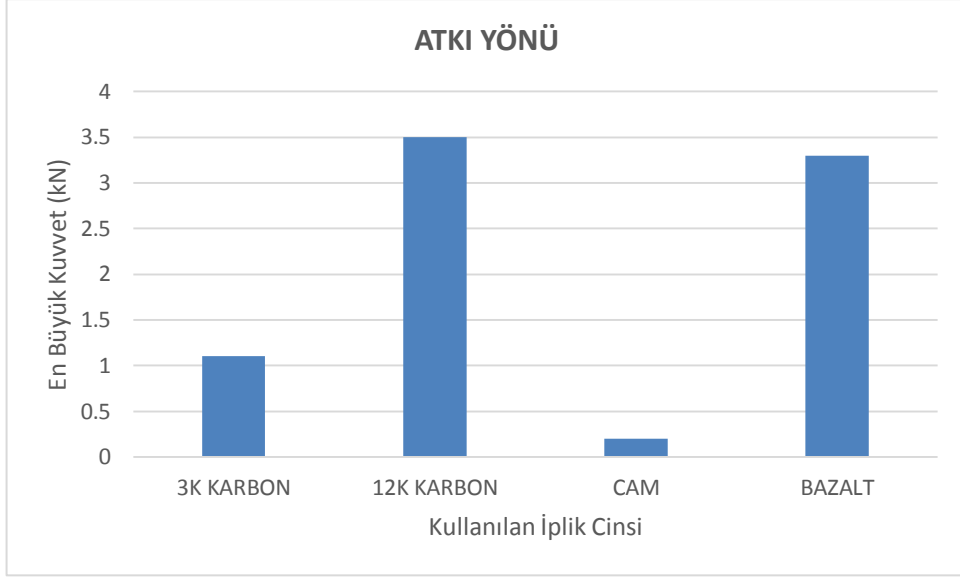
**Tablo 4.6:** Tüm kompozitlerin çekme dayanımı sonuçlarının atkı yönündeki sonuçları

ATKI YÖNÜ	En Büyük Kuvvet (kN)	En Büyük Kuvvettteki Gerilme (MPa)	En Büyük Kuvvettteki Uzama (%)	Elastisite Modülü (MPa)
3K KARBON	1,1	120	2,2	7415
12K KARBON	3,5	252	2,6	15688
CAM	0,2	28	1,15	7835
BAZALT	3,3	237	2,65	15117

Tablolardaki sonuçlar aşağıda grafikler halinde incelenmiştir.

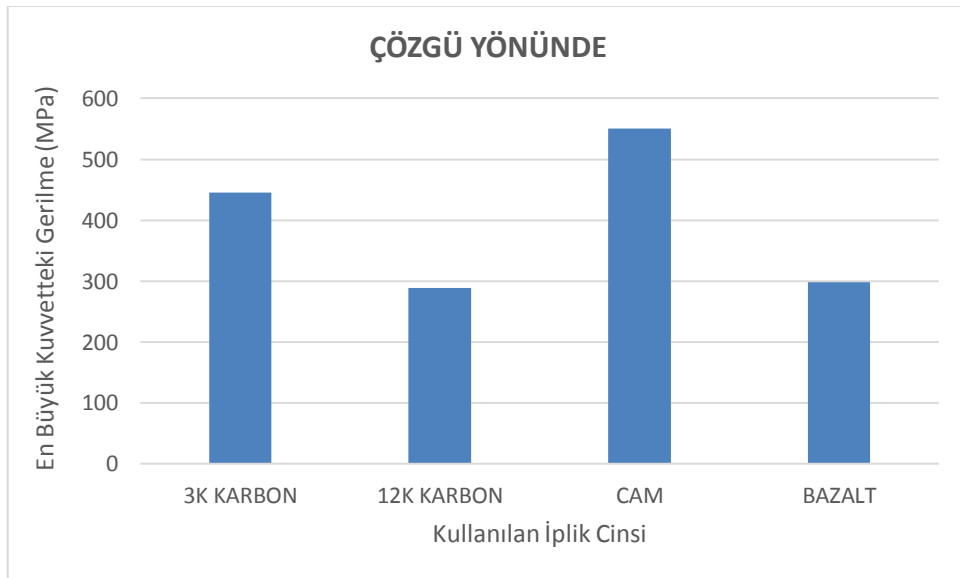


**Şekil 4.1:** Çekme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvet grafiği



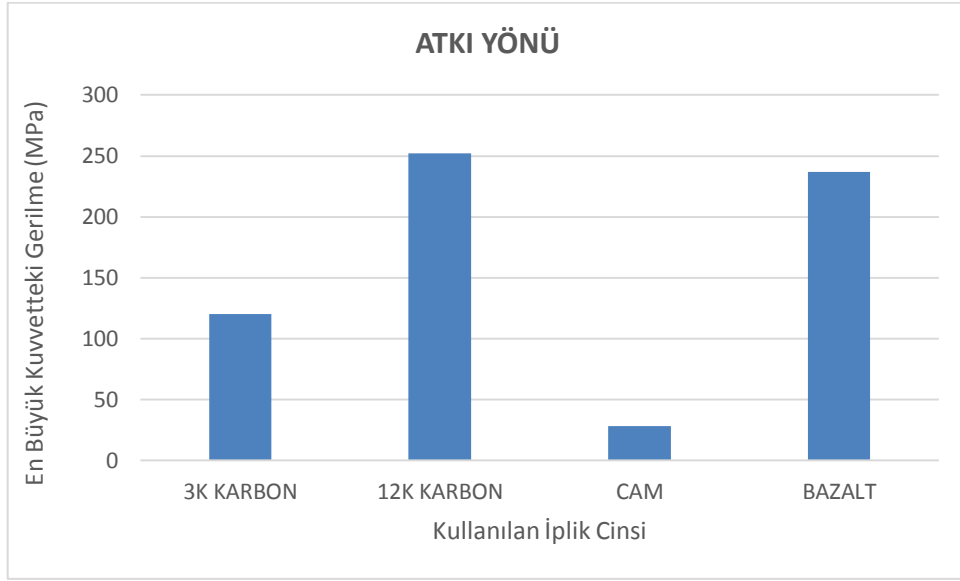
**Şekil 4.2:** Çekme testinde atkı yönünde en büyük kuvvet grafiği

Grafikler incelendiğinde çözgü yönünde yapılan çekme testinde en büyük kuvvetin cam ile yapılan hibrit kompozite ait olduğunu görürüz. Atkı yönünde yapılan test sonuçlarına göre ise çözgü yönünün tam aksine cam ile yapılan hibrit kompozit çok düşük bir değer almıştır. 12K karbon ile yapılan hibrit kompozit her iki yönde de birbirine yakın yüksek bir değer almıştır. 3K karbon ve bazalt çözgü yönünde yapılan testte aynı değeri alırken atkı yönünde yapılan testte bazalt, 12K karbonun değerine yakın bir değer almıştır. 3K karbon atkı yönünde 12K karbon ve bazaltın üçte biri kadar bir değer almıştır.



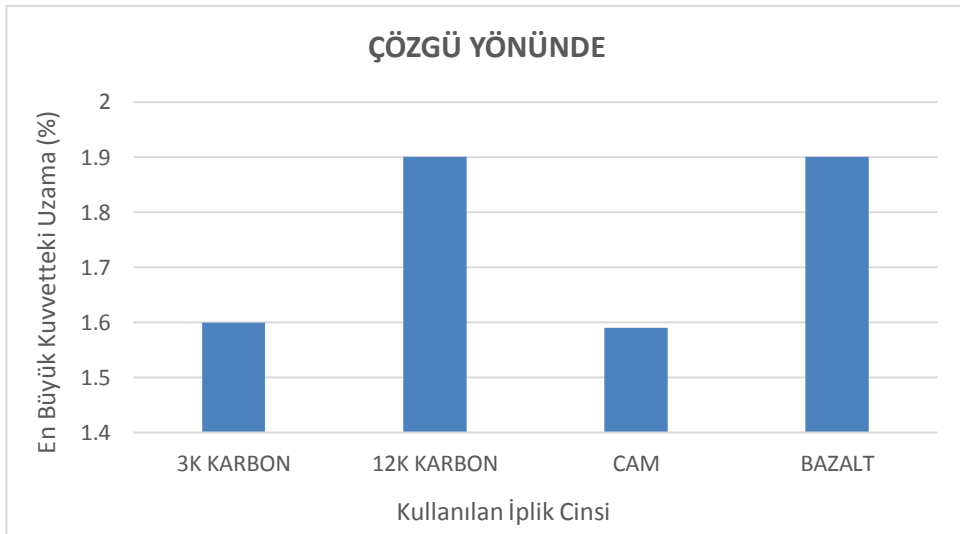
**Şekil 4.3:** Çekme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği



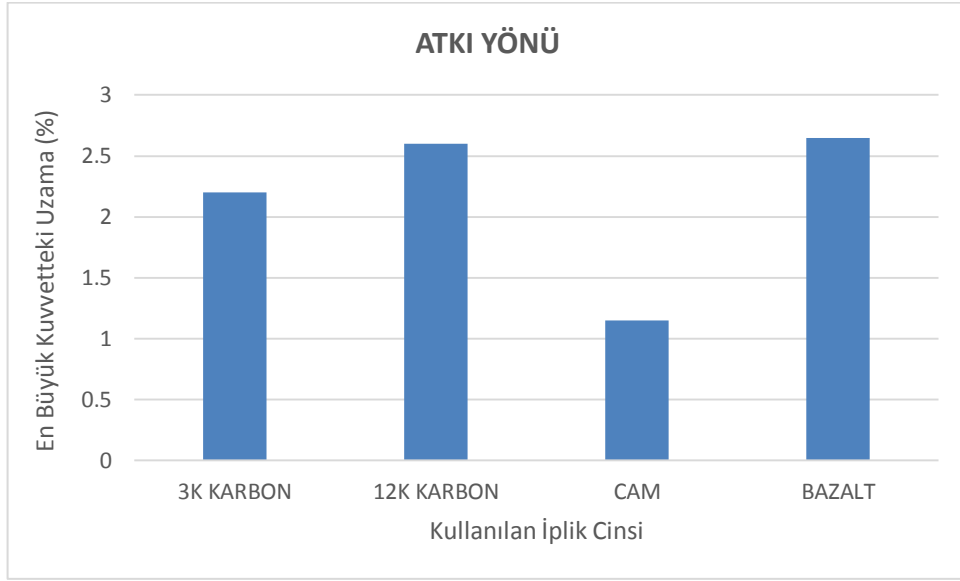


**Şekil 4.4:** Çekme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği

Grafikler incelendiğinde çözgü yönünde yapılan çekme testinde en büyük kuvvetteki gerilmenin cam ile yapılan hibrit kompozite ait olduğunu görürüz. Atkı yönünde yapılan test sonuçlarına göre ise çözgü yönünün tam aksine cam ile yapılan hibrit kompozit çok düşük bir değer almıştır. Atkı yönünde yapılan testte, en büyük değeri 12K karbon alırken bazalt da ona çok yakın bir değer almıştır, 3K karbon ise 12K karbon ve bazaltın yarısı kadar bir değer almıştır. Çözgü yönünde yapılan testte 3K karbon en büyük ikinci değeri almıştır ardından bazalt ve 12K karbon birbirine yakın değerlerle en düşük değerleri almışlardır.

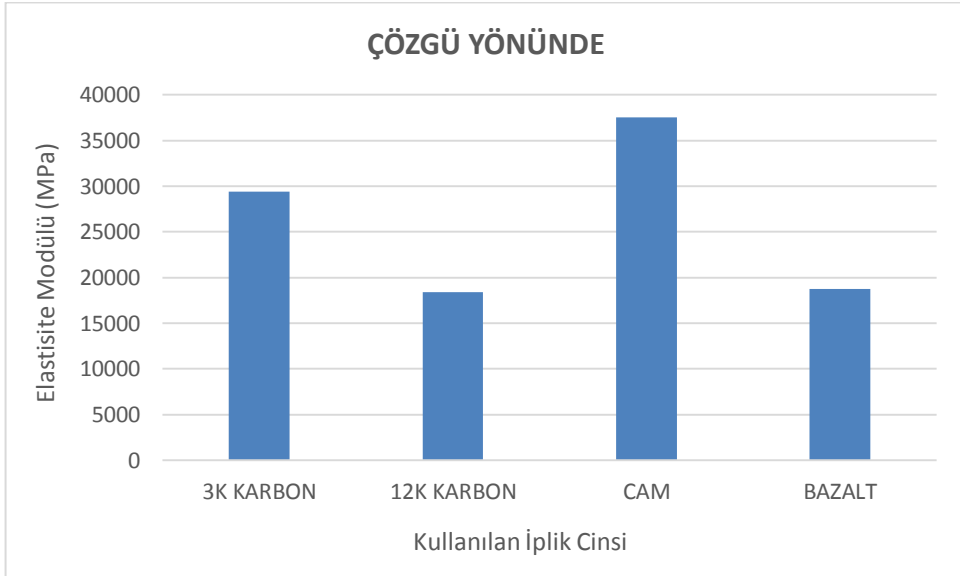


**Şekil 4.5:** Çekme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği

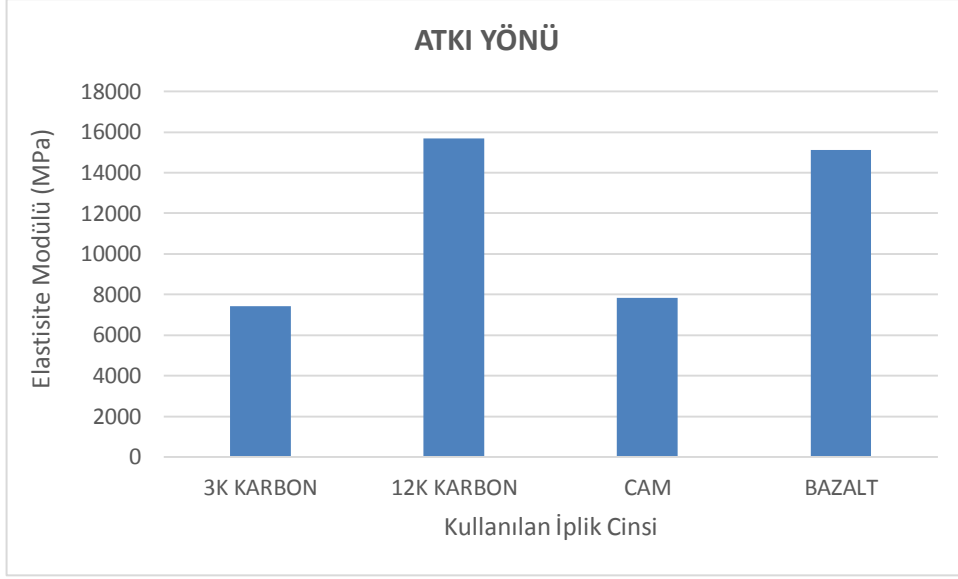


**Şekil 4.6:** Çekme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği

Hem atkı hem çözümlü yönünde yapılan testlerde en büyük kuvvetteki yüzde uzamayı en çok 12K karbon ve bazalt göstermiştir. 12K karbon ve bazaltın ardından en büyük yüzde uzamayı 3K karbon göstermiştir. Cam ise en düşük yüzde uzamayı göstermiştir.



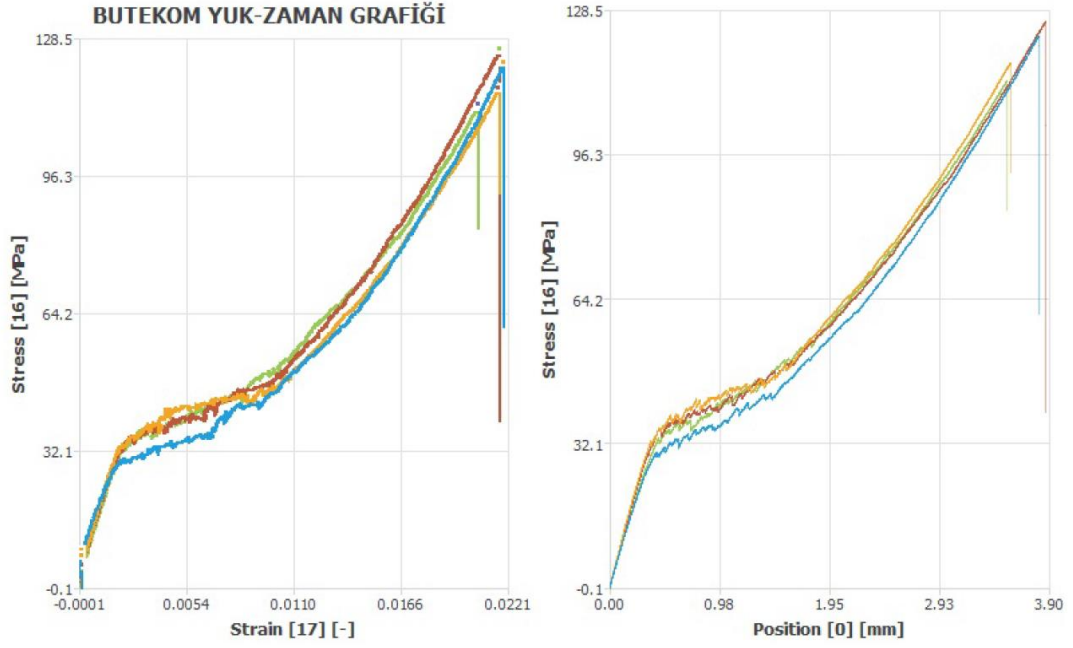
**Şekil 4.7:** Çekme testinde çözümlü yönünde elastisite modülü grafiği



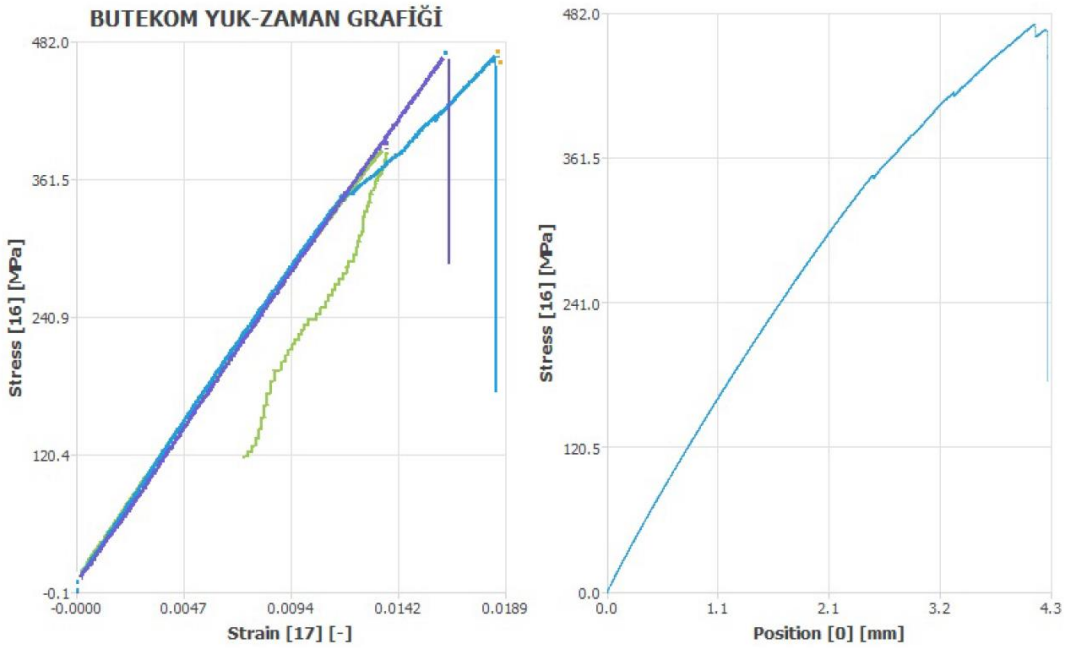
Şekil 4.8: Çekme testinde atkı yönünde elastisite modülü grafiği

Grafikler incelendiğinde çözümlü yönünde yapılan çekme testinde en büyük elastisite modülünün cam ile yapılan hibrit kompozite ait olduğunu görürüz, 3K karbon en büyük ikinci değeri almıştır ardından bazalt ve 12K karbon birbirine yakın değerlerle en düşük değerleri almışlardır. Atkı yönünde ise 12K karbon en büyük elastisite modülü değerini almıştır ve bazalt 12K karbona çok yakın bir değerdedir. Bazaltın ardından cam gelir ve en düşük değeri 3K karbon almıştır.

Aşağıdaki grafikler ise çekme testi esnasında kaydedilmiş olan kuvvet uzama grafikleridir.



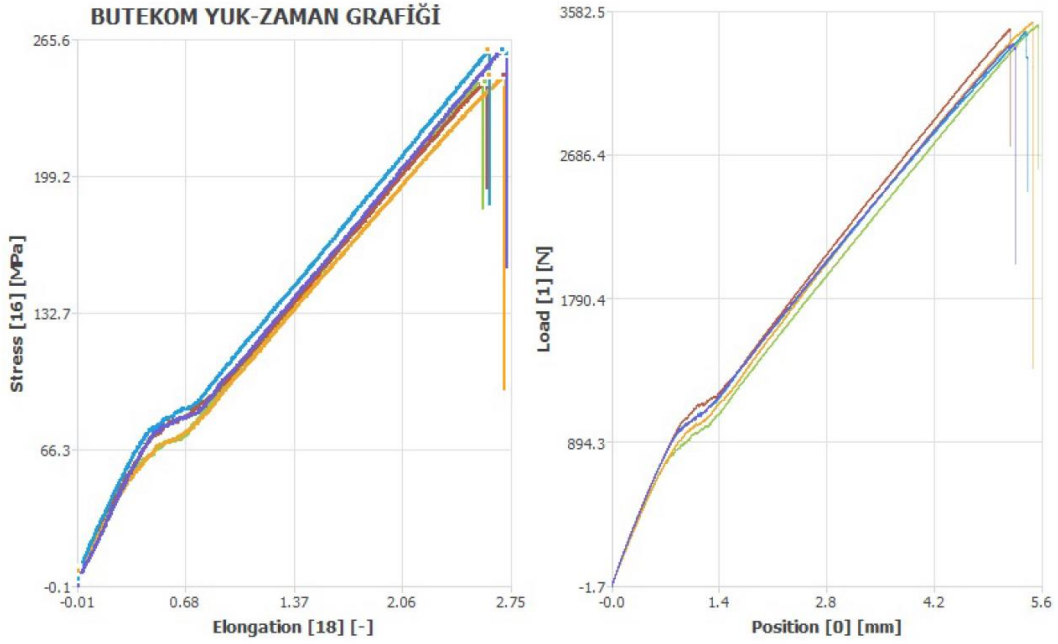
Şekil 4.9: 3K Karbonun atkı yönündeki çekme sırasında gerilme-şekil değiştirme ve kuvvet-uzama eğrileri



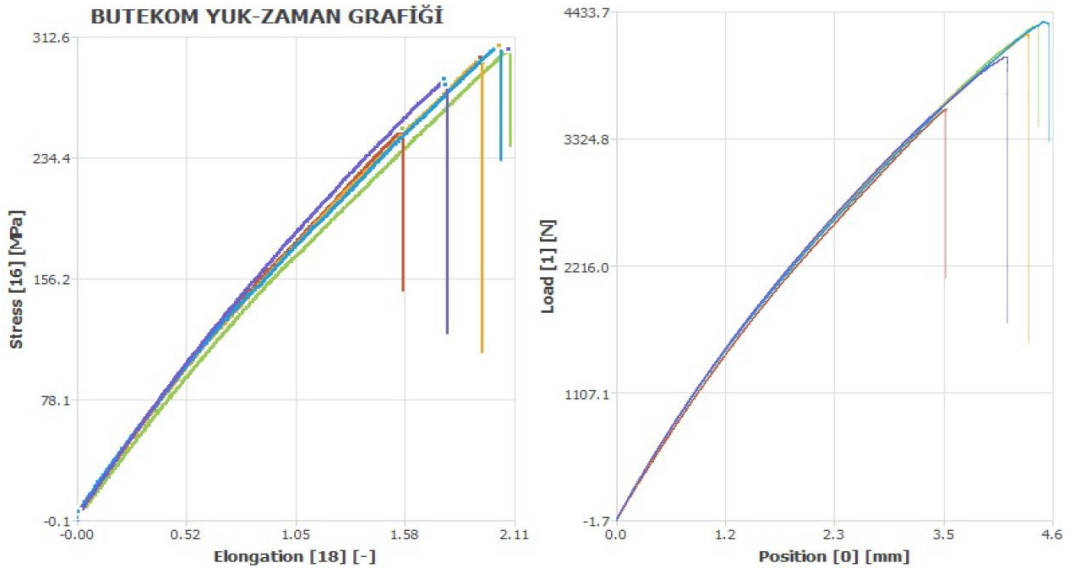
Şekil 4.10: 3K Karbonun çözgü yönündeki çekme sırasında gerilme şekil değiştirme ve kuvvet-konum eğrileri

3K karbon numunesinin çekme testi sırasındaki atkı ve çözgü yönündeki gerilme şekil değiştirme ve kuvvet-konum eğrilerini karşılaştırdığımızda atkı yönündeki çekme sırasında uzamanın daha fazla olduğu ancak çözgü yönündeki uygulanan çekme esnasında numunenin daha fazla yüke dayanabildiği

gözlemlenmiştir. Bu da bize çözü yönünün daha mukavemetli olduğunu ancak atkı yönünde esnekliğin daha fazla olduğunu gösterir



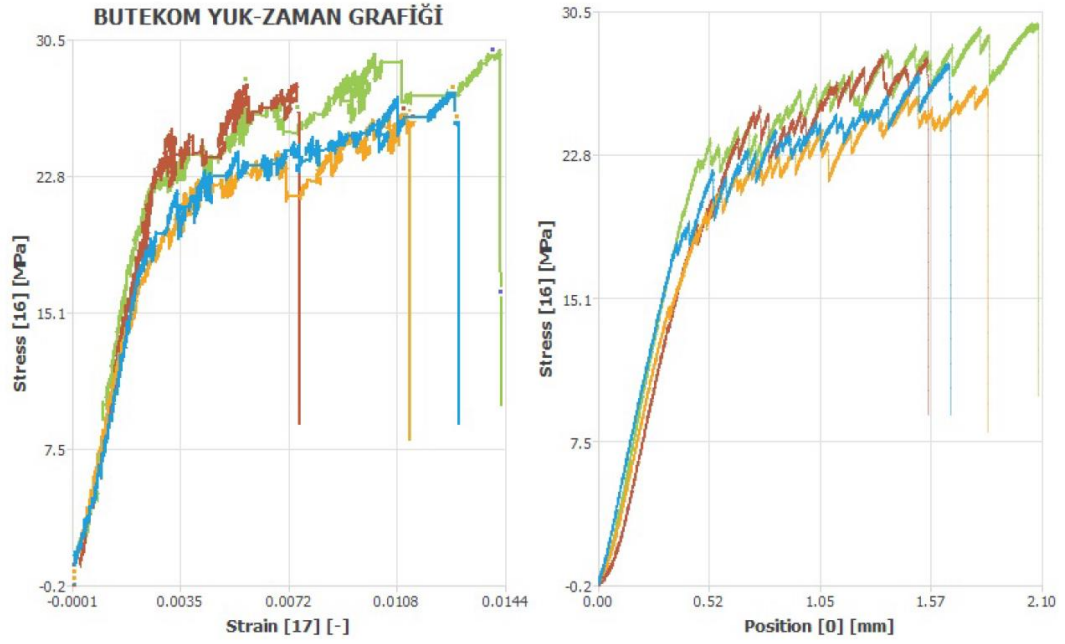
Şekil 4.11: 12K Karbon atkı yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve yük-konum grafikleri



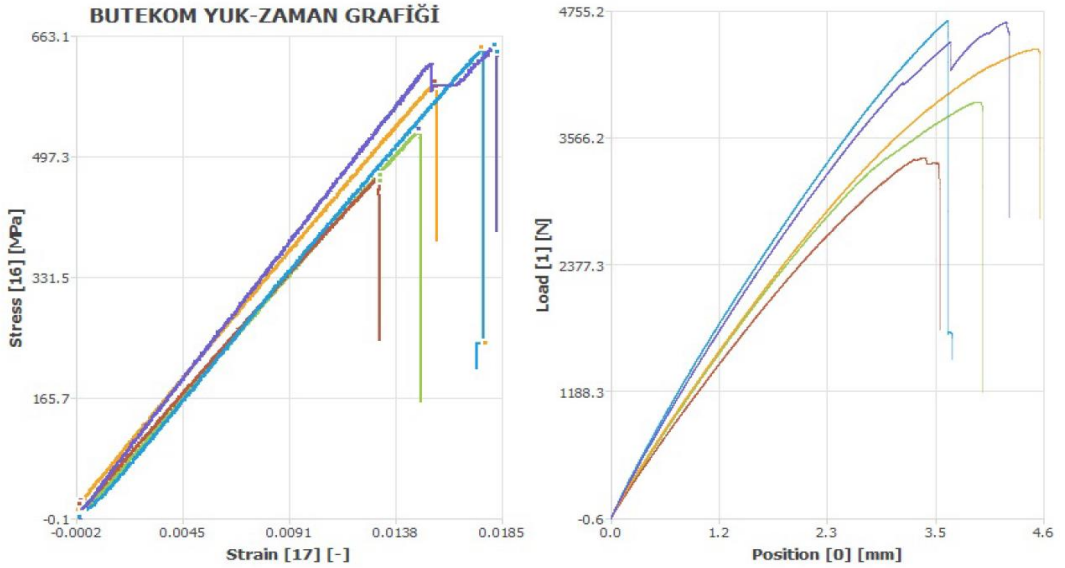
Şekil 4.12: 12K Karbon çözü yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve yük-konum eğrileri

12K karbon numunesinin çekme testi sırasındaki atkı ve çözü yönündeki yük-uzama grafiklerini karşılaştırdığımızda atkı yönündeki çekme sırasında uzamanın daha fazla olduğu ancak çözü yönündeki uygulanan çekme esnasında numunenin daha fazla yüke dayanabildiği gözlemlenmiştir. Bu da bize çözü

yönünün daha mukavemetli olduğunu ancak atkı yönünde esnekliğin daha fazla olduğunu gösterir.



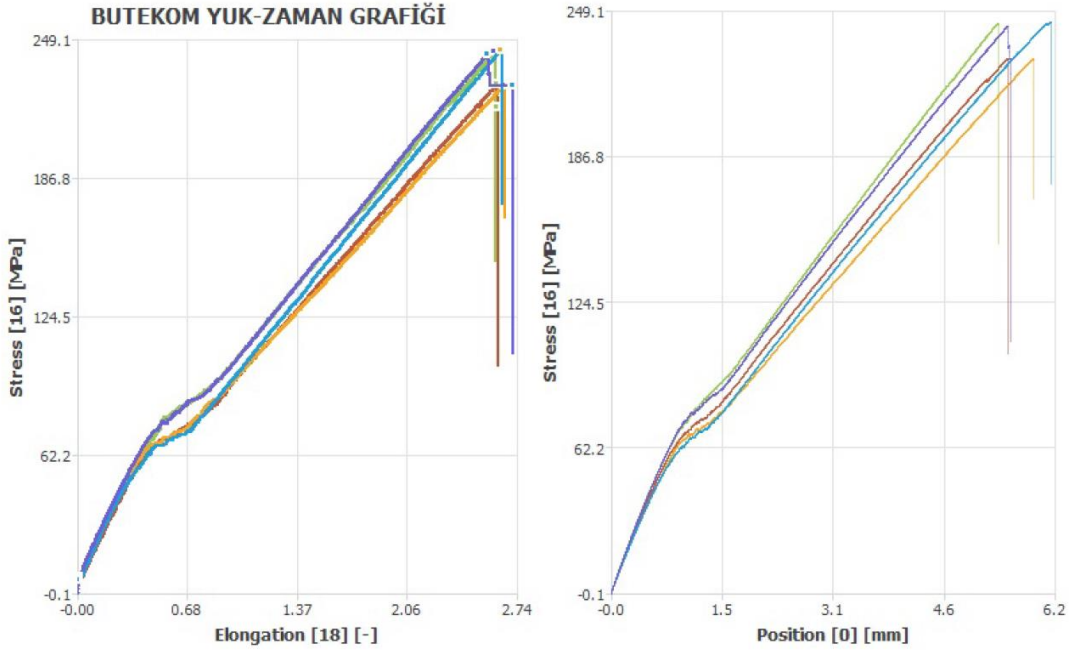
Şekil 4.13: Cam atkı yönündeki çekme sırasında gerilme-şekil değiştirme ve kuvvet-konum eğrileri



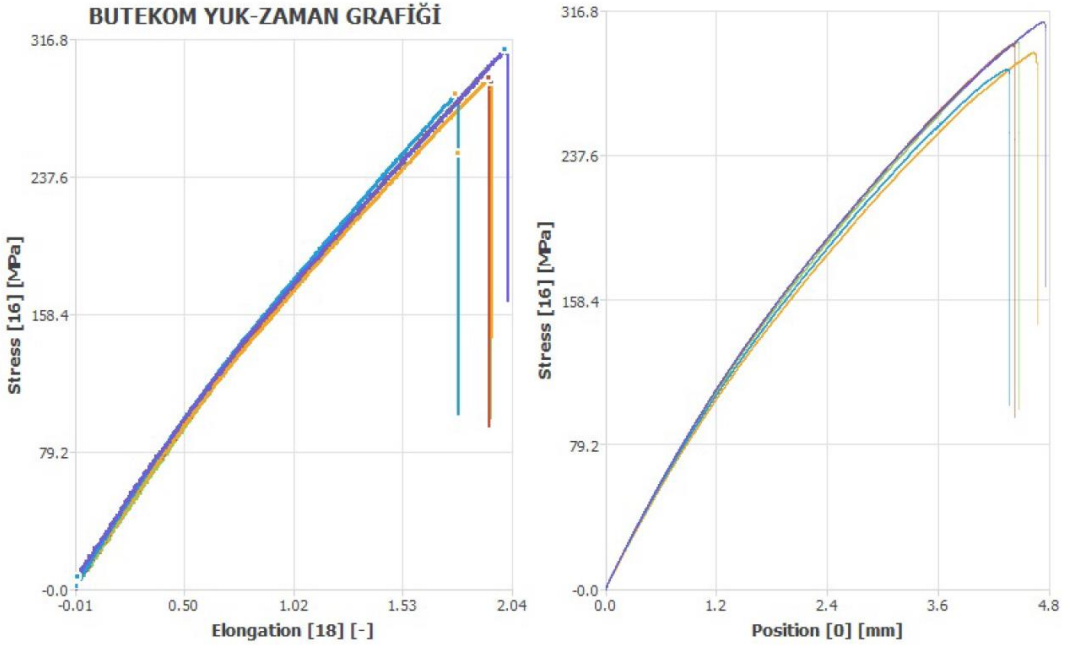
Şekil 4.14: Cam çözümlü yönündeki çekme sırasında gerilme-şekil değiştirme ve yük-konum eğrileri

Camın atkı ve çözümlü yönlerindeki grafiklerini incelediğimizde atkı ve çözümlü yönündeki uzama değerleri birbirine yakındır ancak çözümlü yönündeki yük

dayanımının atkı yönünden çok daha iyi olduğu görülür. Özellikle atkı yönündeki numunelerinin uzama davranışları birbirine yakın değerler değildir.

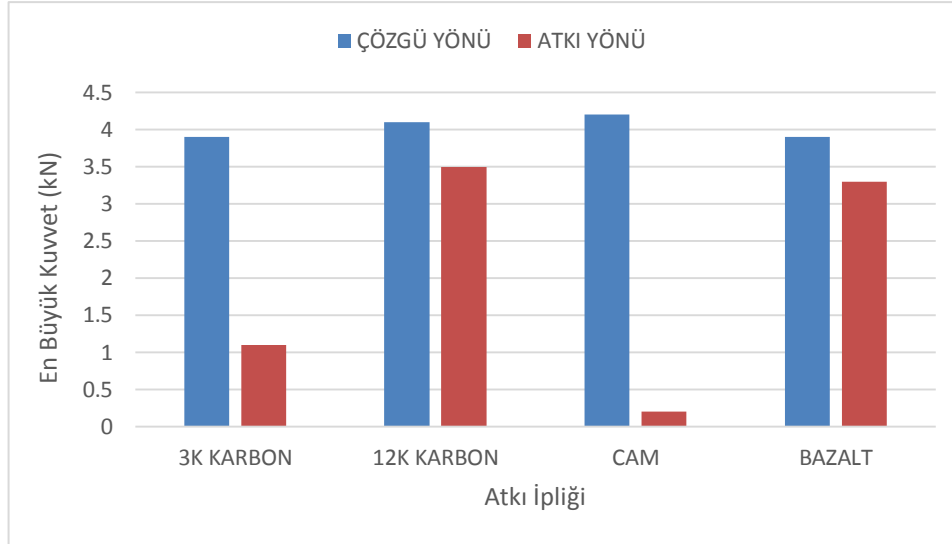


Şekil 4.15: Bazalt atkı yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve kuvvet-konum grafikleri



Şekil 4.16: Bazalt çözgü yönündeki çekme sırasında kuvvet-uzama ve kuvvet-konum grafikleri

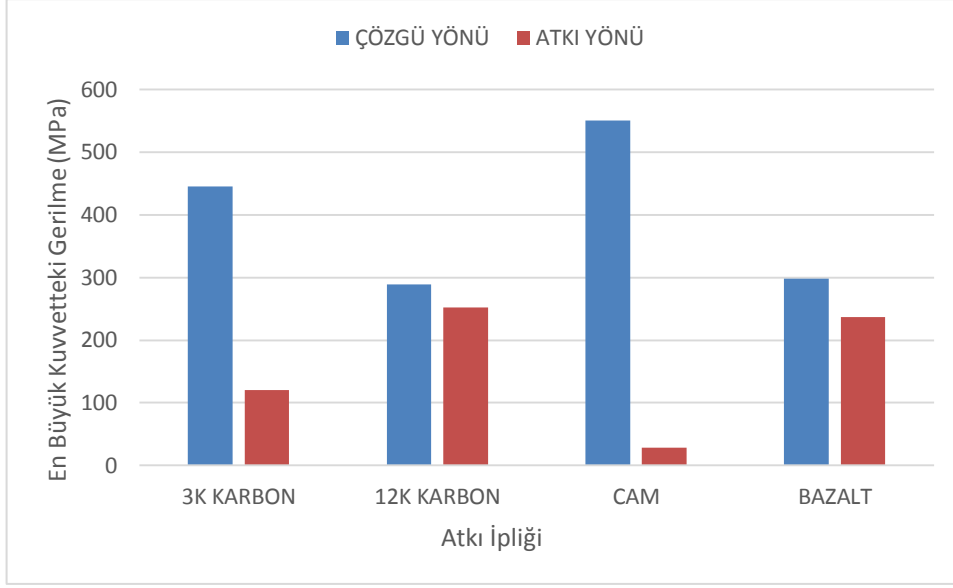
Bazalt atkı ve çözüğü yönündeki çekme sırasındaki kuvvet-uzama grafiğini karşılaştırdığımızda atkı yönündeki uzamanın daha fazla olduğu, çözüğü yönünde de mukavemetin daha fazla olduğu görülür.



Şekil 4.17: Atkı ve çözüğü yönlerinde en büyük kuvvet grafiği

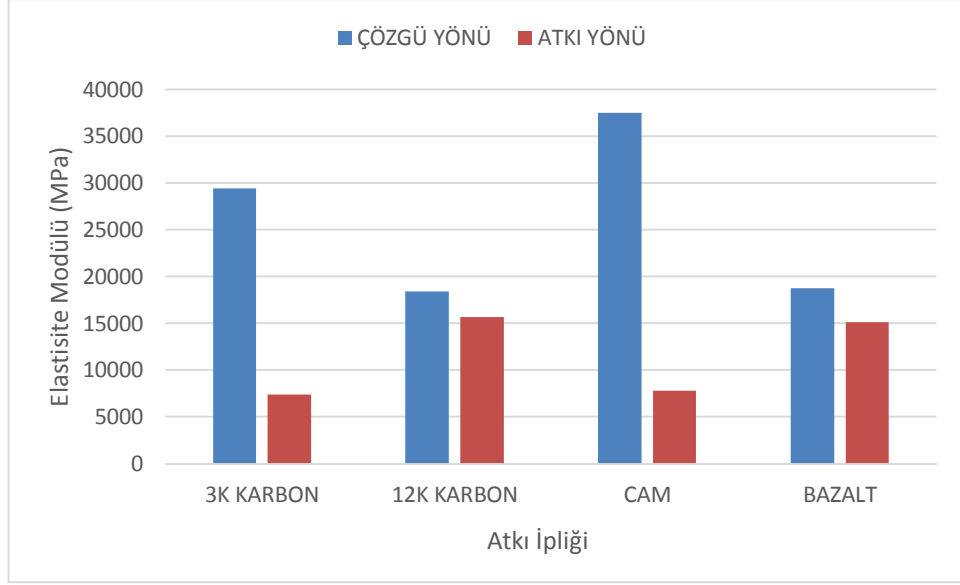
Grafikte en büyük kuvvet değeri her zaman çözüğü yönünde yapılan testlerde elde edilmiştir ve çözüğü değerleri birbirine yakındır. Atkı yönünde ise 12K karbon ve bazalt çözüğü yönüne ve birbirlerine yakın değerler almıştır. Atkı ve çözüğü arasındaki en büyük fark ise camdadır. Gözlemlenen sonuçlar tablo 2.2'deki sonuçlarla karşılaştırdığında karbon ve bazaltın çekme mukavemetleri dolayısıyla etkileyen en büyük kuvvet birbirlerine yakın değerlerdedirler. E-camı ise onlardan daha düşük değere sahiptir. 3k karbonun 12k karbondan daha düşük bir değer almasının sebebi ise iplik numarasının daha küçük yani daha ince olmasıdır.





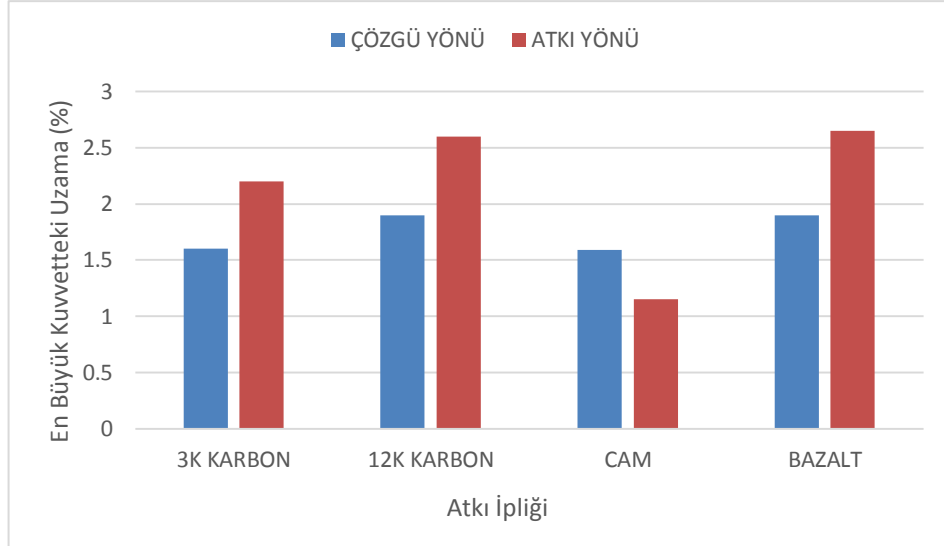
**Şekil 4.18:** Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği

Grafikte en büyük kuvvetteki gerilme değeri her zaman çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilmiştir. Atkı yönünde ise 12K karbon ve bazalt çözgü yönüne ve birbirlerine yakın değerler almıştır. Atkı ve çözgü arasındaki en büyük fark ise camdandır. Cam ve 3K karbon çözgü yönünde 12K karbon ve bazalttan daha büyük gerilmeye sahiptir. Çözgü yönünde kullanılan ipliklerin tüm numunelerde aynı iplik kullanılmasına rağmen değerlerin birbirinden farklı olmasının nedeni atkı ipliğinde kullanılan ipliklerin özelliklerinin çözgü yönündeki ipliğin mukavemetini etkilemesidir. Atkı yönündeki ipliğin çözgü yönündeki ipliğin mukavemetini etkileyen özellikleri; incelik, kıvrım etkisi, sizing (kaplama) ve kesme mukavemetidir. İplik ne kadar ince ise çözgüdeki ipliğe etkisi o kadar azdır çünkü hacim ne kadar ise etkide daha az olur. Atkıdaki kıvrımlar ne kadar fazla ise çözgüdeki ipliğin dayanımını o kadar fazla etkiler. İpliklerdeki kaplamalar (sizing) üretici firmaya göre değişiklik gösterir, kaçınılmaz olarak mukavemet etkilenir. Şekil 4.14’de cam liflerinden atılan atkı ipliğinin çekme kuvvetinin düşük olmasının nedenleri, ipliğin ince olması ve cam lifinin kesme kuvvetlerine karşı direncinin düşük olmasından kaynaklanabilir. Bu nedenle atkıda cam liflerinin, çözgüde bazalt lifleri ile oluşturulan hibrit kompozit yapının çözgü yönündeki en büyük gerilmesi diğerlerinden daha yüksek olmuştur.



**Şekil 4.19:** Atkı ve çözgü yönlerinde elastisite modülü grafiği

Grafikte en büyük elastisite modülü her zaman çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilmiştir ve en büyük değeri cam lifi almıştır. Elastisite modülü, rijitlik bir malzemenin şekil değişimine karşı gösterdiği dirençtir. Çözgü yönü, atkı yönünden daha gergin ve dayanımı daha yüksek olduğu için çözgü yönünün elastisite modülü her zaman nispeten daha yüksektir. Cam ile yapılan hibrit kompozitin çözgü yönünde en büyük değeri almasının nedeni ise en büyük kuvvetteki gerilme değerinde en yüksek değeri alması ile aynıdır. Atkı yönündeki cam ipliğinin diğer atkı yönündeki ipliklere göre çözgü yönündeki bazalt ipliğine olan etkisinin daha az olmasıdır. Atkı yönünde ise 12K karbon ve bazalt çözgü yönüne ve birbirlerine yakın değerler almıştır. Atkı ve çözgü arasındaki en büyük elastisite modülü farkı camdadır. 3K karbon ve cam atkı yönünde birbirlerine yakın değerler almışlardır. Atkı yönündeki değerlere bakıldığında en yüksek değeri 12K karbon almıştır ardından bazalt ve 3K karbon gelmiştir, en küçük değeri de cam almıştır. Atkı yönündeki sonuçlar tablo 2.2'deki karbon, bazalt ve camın değerleri ile uyumluluk göstermektedir.



**Şekil 4.20:** Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki % uzama grafiği

Grafikte en büyük kuvvetteki % uzama 3K karbon, 12K karbon ve bazaltta atkı yönünde gerçekleşmiştir. Cam da ise çözgü yönünde daha fazladır. Diğerlerine göre en küçük % uzama değerini de cam almıştır. Çünkü camın diğerlerine göre kıvrım etkisi daha düşüktür. Ayrıca en büyük yüzde uzama değerini atkı yönünün göstermesinin nedeni çözgü yönündeki ipliğin gergin olması, atkı yönündeki ipliğin ise kıvrımlı olmasıdır.

Özgül mukavemet kumaş gramajıyla ilişkilendirildiğinde, Tablo 4.7 'de yer alan değerler elde edilmiştir.

**Tablo 4.7:** Gramaj, mukavemet ve özgül mukavemet

	GRAMAJ (g/m <sup>2</sup> )	ÇÖZGÜ YÖNÜNDE MUKAVEMET (MPa)	ATKI YÖNÜNDE MUKAVEMET (MPa)	ÇÖZGÜ YÖNÜNDE ÖZGÜL MUKAVEMET (N/g)	ATKI YÖNÜNDE ÖZGÜL MUKAVEMET (N/g)
<b>BAZALT/ 3KKARBON</b>	563	445	120	0,79	0,21
<b>BAZALT /12KKARBON</b>	753	289	252	0,38	0,33
<b>BAZALT/ CAM</b>	542	550	28	1,01	0,05
<b>BAZALT/ BAZALT</b>	856	298	237	0,35	0,28

## 4.2 Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları

Deney sonucunda numunelerin atkı ve çözümlü yönlerinde; en büyük kuvvet (kN), en büyük kuvvetteki gerilme (MPa), en büyük kuvvetteki uzama (%), elastisite modülü (MPa) ve her değerin % varyasyon katsayısı %CV (coefficient-of-variation) değerleri bulunmuştur.

**Tablo 4.8:** 3K Karbon Üç Nokta Eğilme Dayanımı Sonuçları

3 NOKTA EĞİLME DAYANIMI	3K Karbon			
	Çözgü Yönü		Atkı Yönü	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	44,4	3,3	7	3,6
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	265	8,1	68,9	4,2
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	3,6	6,1	2,8	46,9
Elastisite Modülü (MPa)	14032	11	8167	8,2

**Tablo 4.9:** 12K Karbon Üç Nokta Eğilme Dayanımı Sonuçları

3 NOKTA EĞİLME DAYANIMI	12K Karbon			
	Çözgü Yönü		Atkı Yönü	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	81	4	36,5	9,4
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	321,8	3	142,6	7,77
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	5	3,8	5,2	6,5
Elastisite Modülü (MPa)	8934	9	5906	7,6

**Tablo 4.10:** Cam Üç Nokta Eğilme Dayanımı Sonuçları

3 NOKTA EĞİLME DAYANIMI	Cam			
	Çözü Yönu		Atkı Yönu	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	51,6	3,0	4,2	13,4
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	740,4	8,46	54,2	12,9
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	3,21	9,06	1,36	2,36
Elastisite Modülü (MPa)	23607	14,0	4896	19,06

**Tablo 4.11:** Bazalt Üç Nokta Eğilme Dayanımı Sonuçları

3 NOKTA EĞİLME DAYANIMI	Bazalt			
	Çözü Yönu		Atkı Yönu	
	Değer	%CV	Değer	%CV
En Büyük Kuvvet (kN)	75,4	9,4	41,5	5,4
En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa)	290,5	13,3	144	10,2
En Büyük Kuvvetteki Uzama (%)	5,51	5,4	5,76	8,7
Elastisite Modülü (MPa)	7620	7,4	5361	14,8

Tekstil takviyeli kompozit plakalarımızın tablolarda verilen üç nokta eğilme test sonuçlarını incelersek;

- Atkı ve çözü yönlerindeki en büyük kuvvetler kendi aralarında karşılaştırıldığında her zaman en büyük kuvveti çözü yönü göstermiştir.
- Atkı ve çözü yönlerindeki en büyük kuvvetteki gerilme kendi aralarında karşılaştırıldığında her zaman en büyük kuvvetteki gerilmeyi çözü yönündeki bazalt göstermiştir.
- Atkı ve çözü yönlerindeki en büyük kuvvetteki % uzama değerlerini karşılaştırdığımızda 3K karbon ve camda çözü yönündeki % uzama değeri fazlayken 12K karbon ve bazaltta atkı yönündeki % uzama değeri fazladır.

- Atkı ve çözgü yönlerindeki elastisite modülleri kendi aralarında karşılaştırıldığında her zaman en büyük elastisite modülü çözgü yönündeki bazalta aittir.

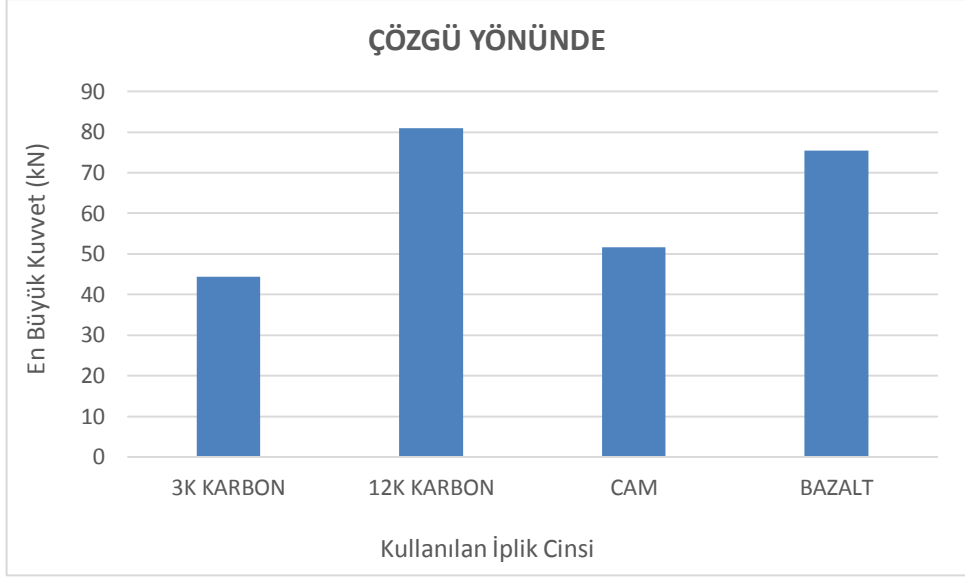
**Tablo 4.12:** Tüm Kompozitlerin 3 Nokta Eğilme Dayanımı Sonuçlarının Çözgü Yönündeki Sonuçları

<b>ÇÖZGÜ YÖNÜ</b>	<b>En Büyük Kuvvet (kN)</b>	<b>En Büyük Kuvvettteki Gerilme (MPa)</b>	<b>En Büyük Kuvvettteki Uzama (%)</b>	<b>Elastisite Modülü (MPa)</b>
3K KARBON	44,4	265	3,6	14032
12K KARBON	81	321,8	5	8934
CAM	51,6	740,4	3,21	23607
BAZALT	75,4	290,5	5,51	7620

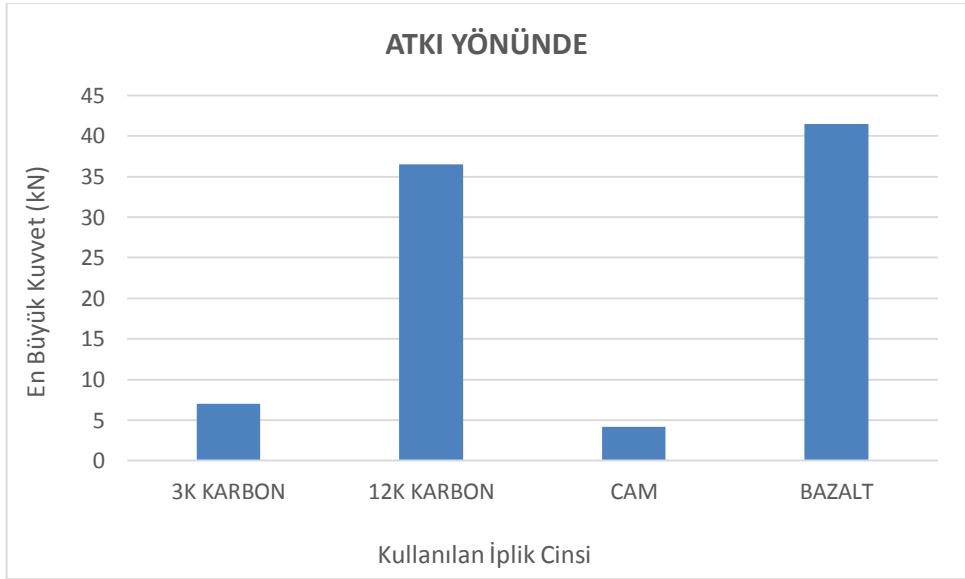
**Tablo 4.13:** Tüm Kompozitlerin 3 Nokta Eğilme Dayanımı Sonuçlarının Atkı Yönündeki Sonuçları

<b>ATKI YÖNÜ</b>	<b>En Büyük Kuvvet (kN)</b>	<b>En Büyük Kuvvettteki Gerilme (MPa)</b>	<b>En Büyük Kuvvettteki Uzama (%)</b>	<b>Elastisite Modülü (MPa)</b>
3K KARBON	7	68,9	2,8	8167
12K KARBON	36,5	142,6	5,2	5906
CAM	4,2	54,2	1,36	4896
BAZALT	41,5	144	5,76	5361

Tablolardaki sonuçlar aşağıda grafikler halinde incelenmiştir.

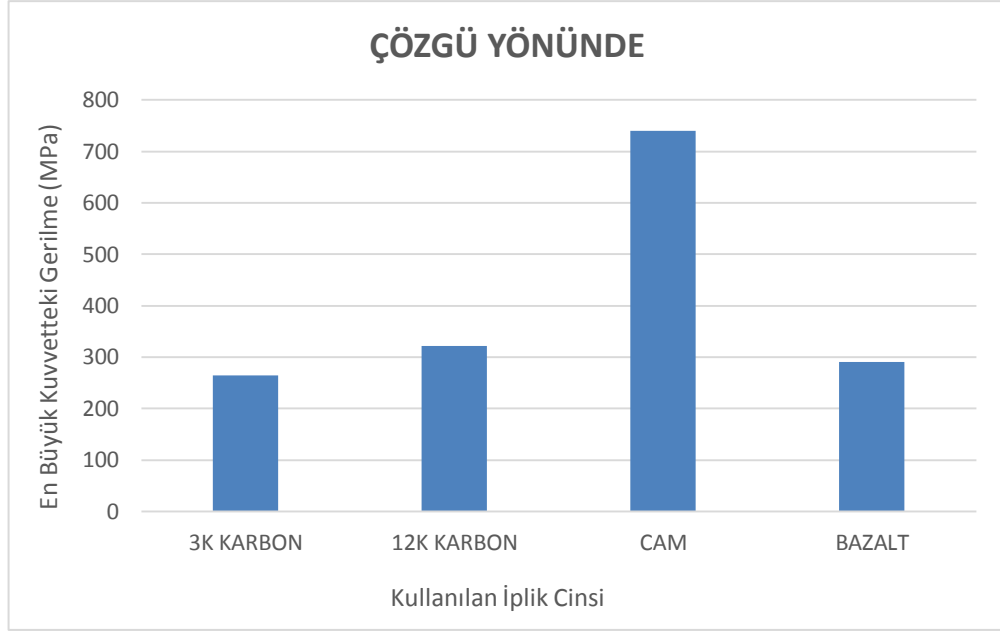


**Şekil 4.21:** 3 nokta eğilme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvet grafiği

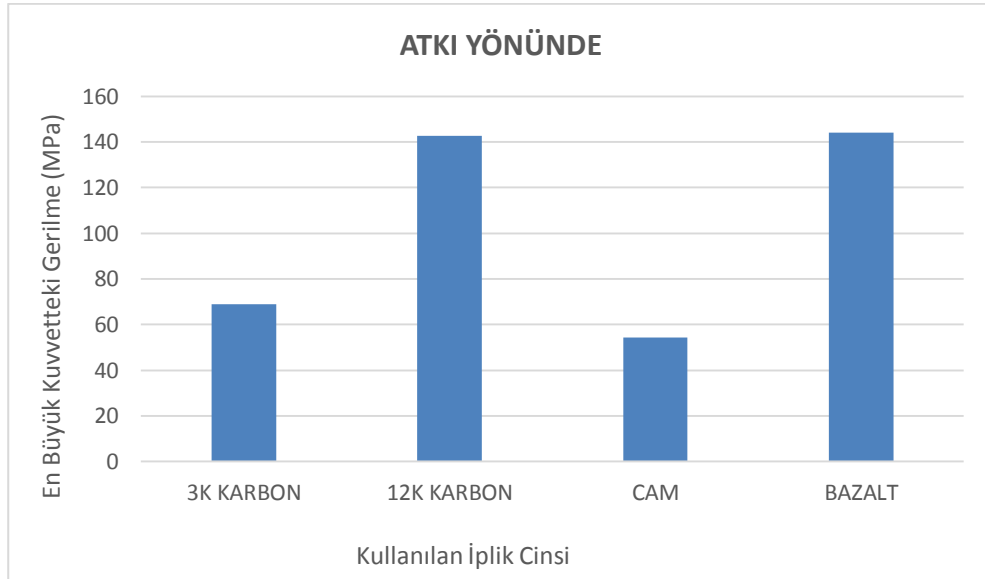


**Şekil 4.22:** 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde en büyük kuvvet grafiği

Grafikler incelendiğinde çözgü yönünde en büyük kuvvet değerini 12K karbon, atkı yönünde ise en büyük kuvvet değerini bazalt almıştır. Atkı ve çözgü yönünde de 12K karbon ve bazaltın en büyük kuvvet değerleri birbirine yakındır. Atkı yönündeki en küçük değeri cam, çözgü yönündeki en küçük değeri de 3K karbon almıştır.



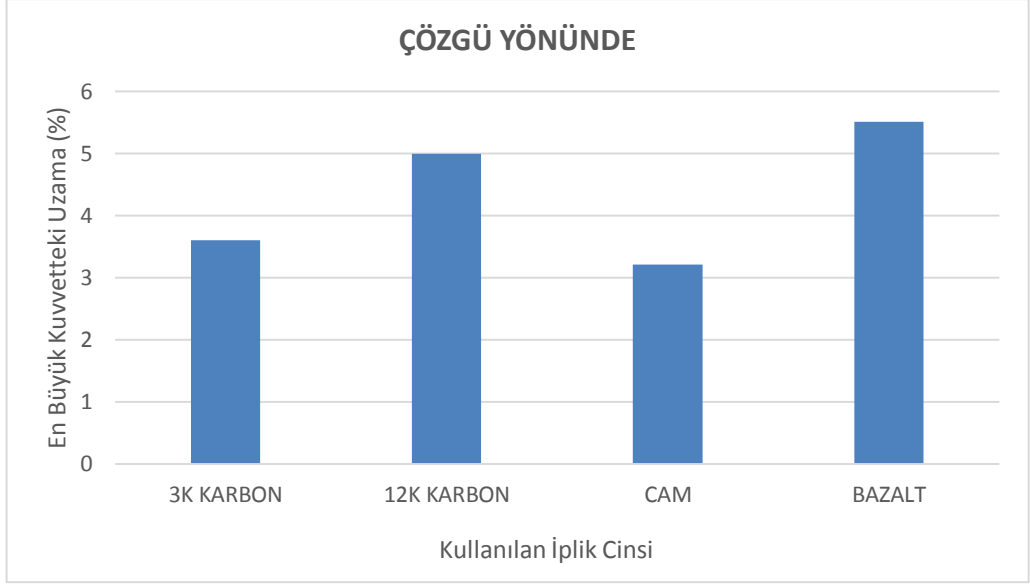
**Şekil 4.23:** 3 nokta eğilme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği



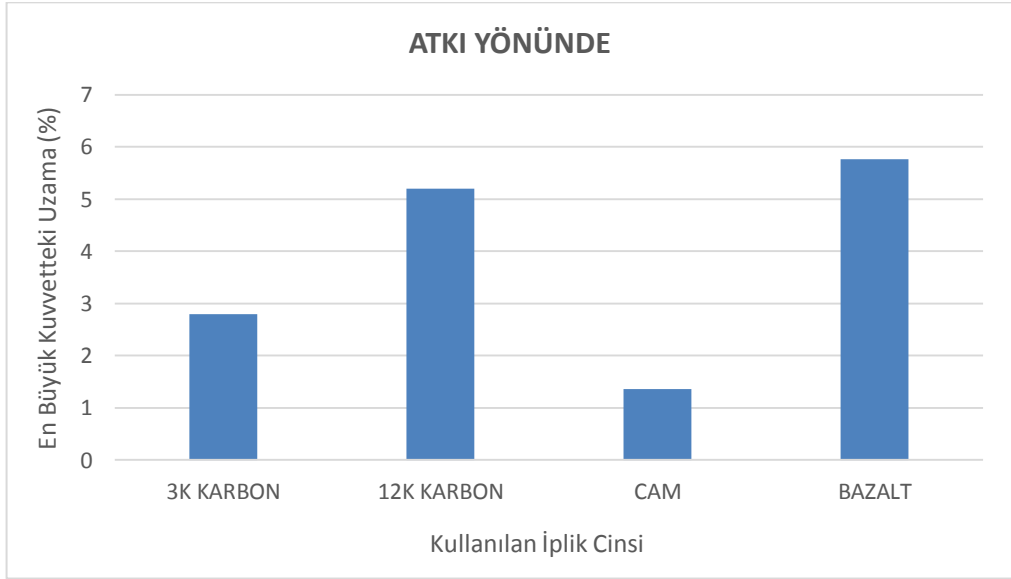
**Şekil 4.24:** 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği

En büyük kuvvetteki gerilme grafiklerinde çözgü yönünde yapılan üç nokta eğilme testinde cam ile yapılan hibrit kompozit diğer üç kompozitten çok daha yüksek bir değere sahiptir. Diğer üçü birbirine yakın değerler almıştır. Atkı yönünde yapılan üç nokta eğilme testinde ise 12K karbon ve bazalt en yüksek değeri almıştır. Cam ise atkı yönünde en düşük değeri almıştır.



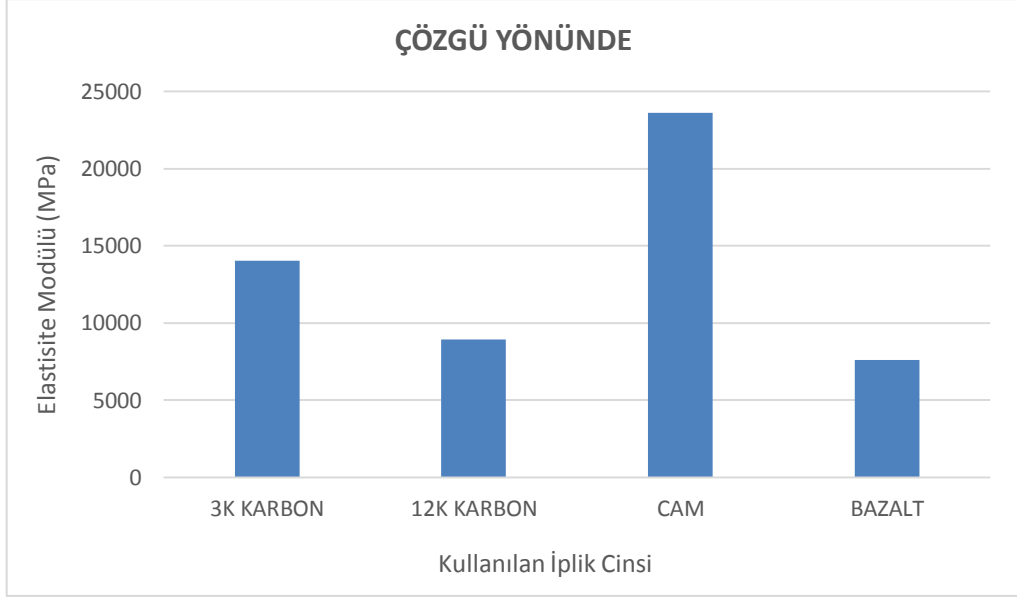


**Şekil 4.25:** 3 nokta eğilme testinde çözgü yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği

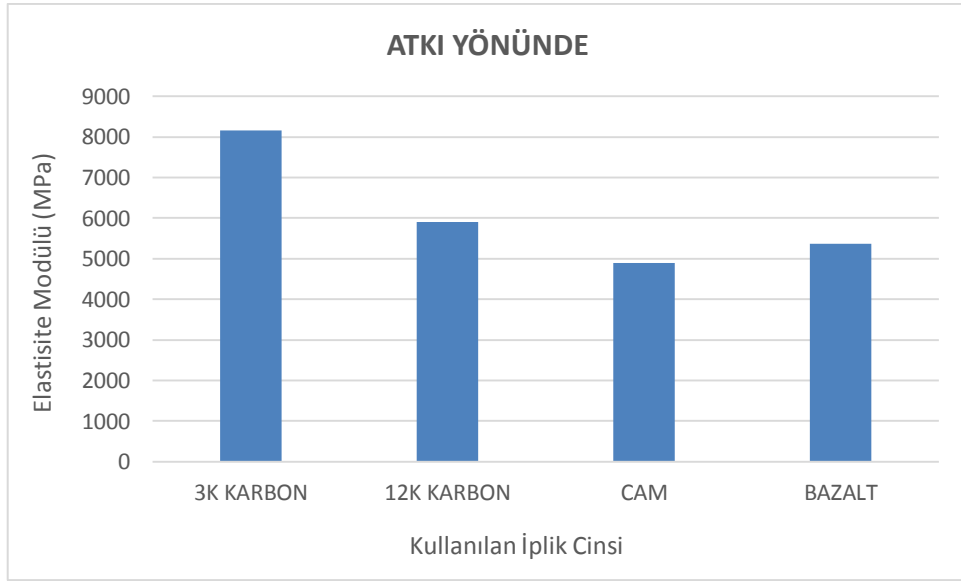


**Şekil 4.26:** 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde en büyük kuvvetteki uzama grafiği

Grafiklerde en büyük kuvvetteki % uzamayı hem çözgü hem atkı yönünde bazalt ardından 12K karbon ardından 3K karbon göstermiştir. En küçük % uzama değerini ise cam almıştır.



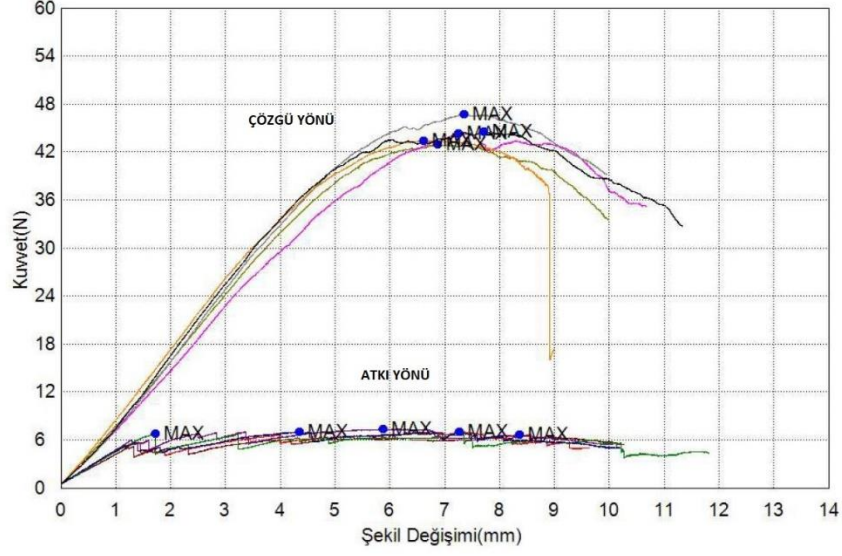
**Şekil 4.27:** 3 nokta eğilme testinde çözgü yönünde elastisite modülü grafiği



**Şekil 4.28:** 3 nokta eğilme testinde atkı yönünde elastisite modülü grafiği

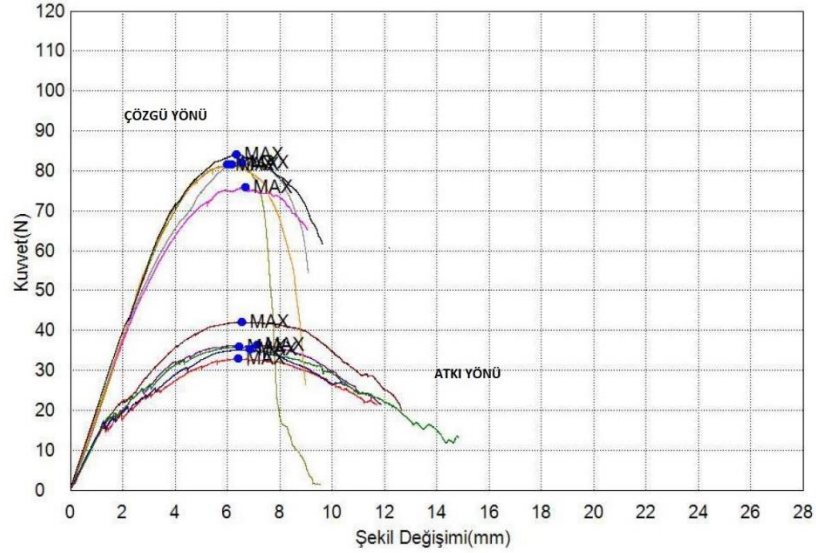
Elastisite modülü grafiğinde en büyük değere atkı yönünde 3K karbon sahiptir. Ardından 12K karbon, bazalt ve cam gelir. Çözgü yönünde ise diğerlerinden yüksek bir farkla en büyük elastisite modülü değerini cam almıştır. Sonrasında sırayla 3K karbon, 12K karbon ve bazalt gelir.

Aşağıdaki grafikler ise ASTM D790 3 Nokta Eğme testi esnasında kaydedilmiş olan kuvvet uzama grafikleridir.



Şekil 4.29: 3K Karbonun atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi

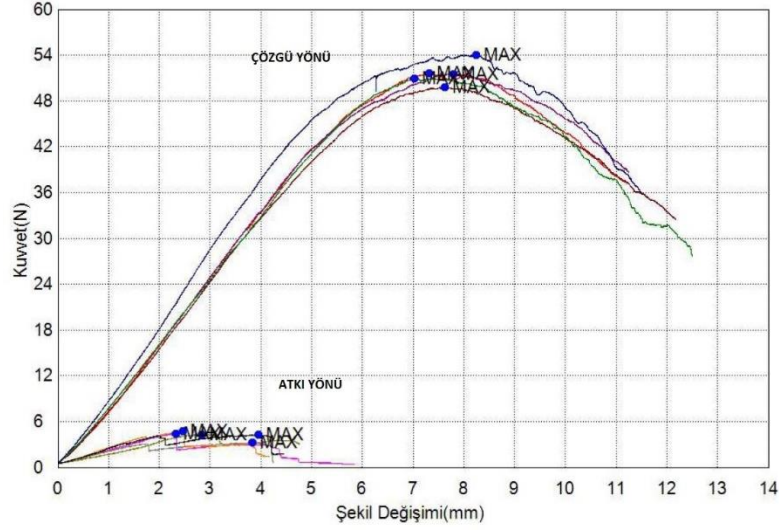
3K karbonla elde edilen hibrit kompozitin atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme test sonuçlarına ve kuvvet-uzama grafiğine baktığımızda uzamanın atkı ve çözgü yönünde aynı olduğunu ancak çözgü yönünde etki eden kuvvetin atkı yönünde etki eden kuvvetin altı katı büyüklükte olduğunu görürüz. Sonuç olarak çözgü yönündeki bazaltın eğilme dayanımının atkı yönündeki 3K karbondan yaklaşık 6,4 kat daha fazla olduğu görülür.



Şekil 4.30: 12K Karbonun atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi

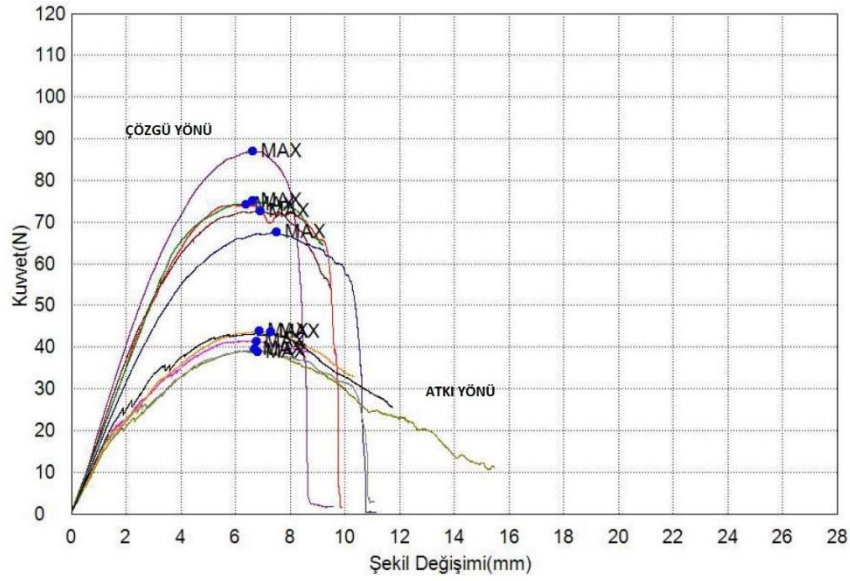
12K karbonla elde edilen hibrit kompozitin atkı ve çözgü yönündeki üç nokta eğilme test sonuçlarına ve kuvvet-uzama grafiğine baktığımızda uzamanın

atkı ve çözüğü yönünde çok yakın olduğunu ancak çözüğü yönünde etki eden kuvvetin atkı yönünde etki eden kuvvetin 2,2 katı büyüklükte olduğunu görürüz. Sonuç olarak çözüğü yönündeki bazaltın eğilme dayanımının atkı yönündeki 12K karbondan 2,2 kat daha fazla olduğu görülür.



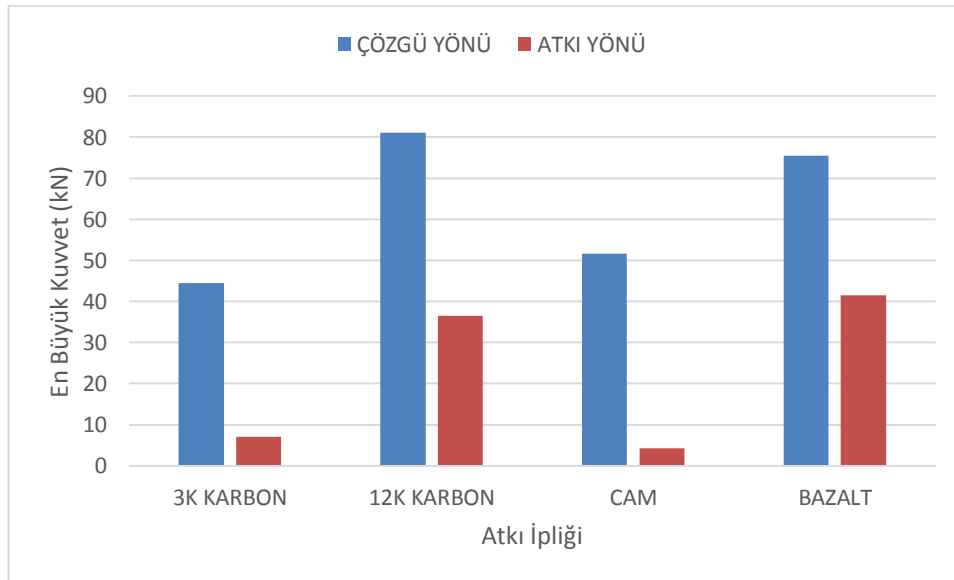
**Şekil 4.31:** Cam atkı ve çözüğü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi

Camla yapılan hibrit kompozitte atkı ve çözüğü yönündeki üç nokta eğilme test sonuçlarına ve kuvvet-uzama grafiğine baktığımızda sonuçların çok daha farklı olduğunu görürüz. Uzamanın ve etki eden kuvvetin çözüğü yönünde çok daha fazla olduğunu atkı yönünde ise daha az olduğunu yani çözüğü yönündeki bazaltın eğilme dayanımının atkı yönündeki camdan 12 kat daha fazla olduğu görülür.



Şekil 4.32: Bazaltın atkı ve çözümlü yönündeki üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrisi

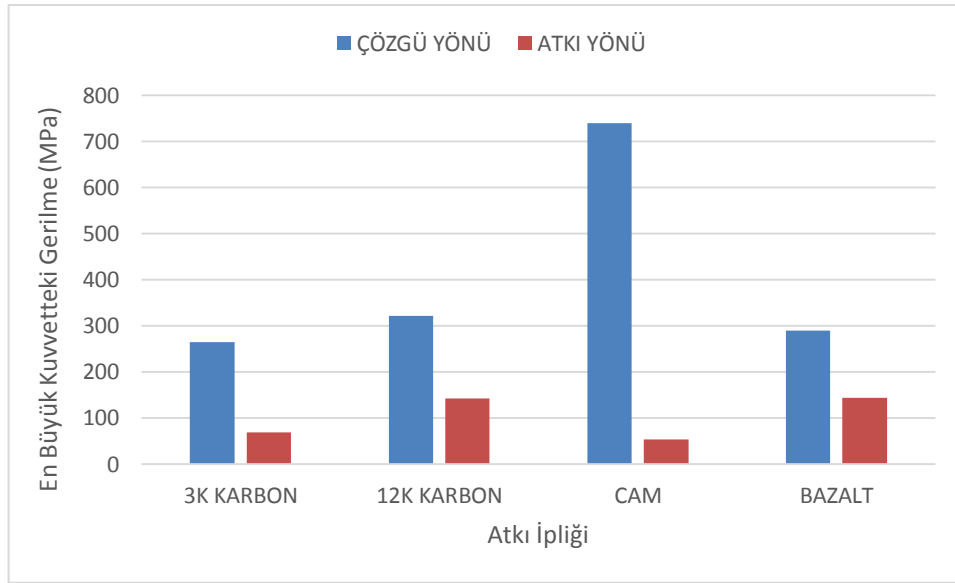
Bazaltla yapılan kompozitte atkı ve çözümlü yönündeki üç nokta eğilme test sonuçlarına ve kuvvet-uzama grafiğine baktığımızda atkı ve çözümlü yönündeki uzamanın atkı ve çözümlü yönünde birbirine yakın olduğunu ancak uygulanan kuvvetin çözümlü yönünde 1,8 kat daha fazla olduğunu görürüz. Sonuç olarak çözümlü yönünde bazaltın eğilme dayanımı atkı yönünden daha fazladır.



Şekil 4.33: Atkı ve çözümlü yönlerinde en büyük kuvvet grafiği

Grafiğe göre en büyük kuvvetlere baktığımızda bütün kompozitlerde atkı ve çözümlü yönünde elde edilen en büyük kuvvet değerleri arasında büyük farklar vardır. Bunun nedeni çözümlü yönünün gerginliğinin daha fazla ve mukavemetli atkı

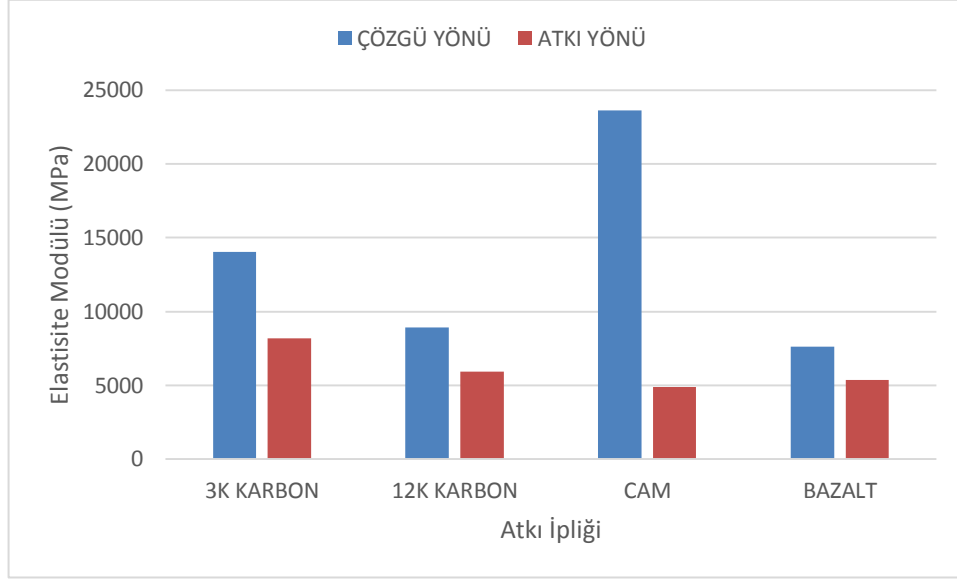
yönünün ise kıvrımlı ve daha mukavemetsiz bir yapıya sahip olmasıdır. Atkı yönünde ise 12K karbon ve bazalt çözüğü yönüne ve birbirlerine yakın değerler almıştır. Gözlemlenen sonuçlar tablo 2.2'deki sonuçlarla karşılaştırdığında karbon ve bazaltın çekme mukavemetleri dolayısıyla etkileyen en büyük kuvvet birbirlerine yakın değerlerdedirler. E-camı ise onlardan daha düşük değere sahiptir. 3k karbonun 12k karbondan daha düşük bir değer almasının sebebi ise iplik numarasının daha küçük diğer bir ifade ile nispeten ince olmasıdır.



**Şekil 4.34:** Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği

En büyük kuvvetteki gerilme grafiğinde en büyük değere çözgü yönündeki teste cam sahiptir. Diğer kompozitlerin gerilme değerleri birbirine yakın ve camdan düşüktür. Atkı yönünde ise en küçük değeri cam en büyük değeri bazalt almıştır. Atkı yönündeki tüm değerler birbirine yakındır. Grafikte en büyük kuvvetteki gerilme değeri her zaman çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilmiştir. Atkı ve çözgü arasındaki en büyük fark ise camdadır. Cam çözgü yönünde 3K, 12K karbon ve bazalttan daha büyük gerilmeye sahiptir. Çözgü yönünde kullanılan ipliklerin tüm numunelerde aynı iplik kullanılmasına rağmen değerlerin birbirinden farklı olmasının nedeni atkı ipliğinde kullanılan ipliklerin özelliklerinin çözgü yönündeki ipliğin mukavemetini etkilemesidir. Atkı yönündeki ipliğin çözgü yönündeki ipliğin mukavemetini etkileyen özellikleri; incelik, kıvrım etkisi, sizing (kaplama) ve kesme mukavemetidir. İplik ne kadar ince ise çözgüdeki ipliğe etkisi o kadar azdır çünkü hacim ne kadar ise etkide daha az olur. Atkıdaki kıvrımlar ne kadar fazla ise çözgüdeki ipliğin dayanımını o kadar fazla etkiler.

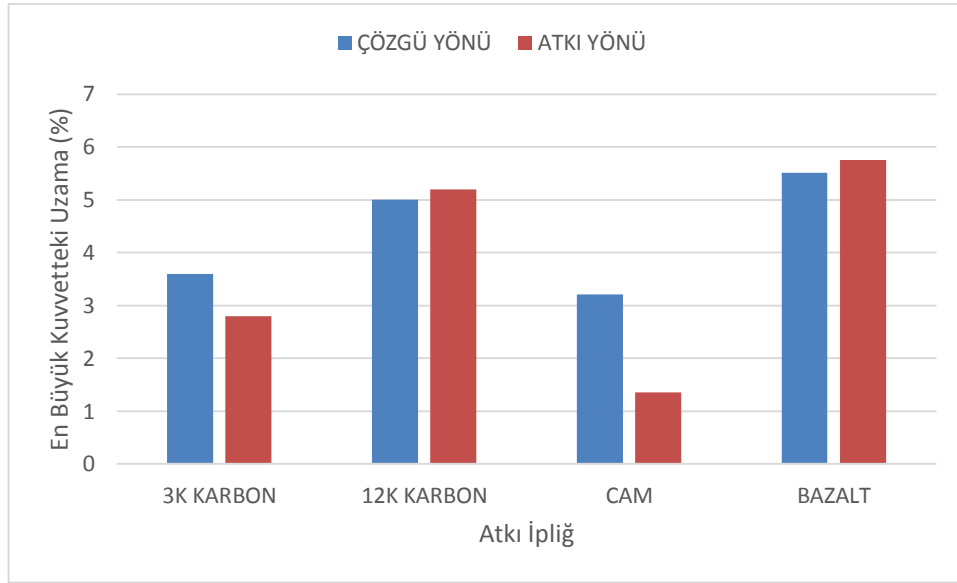
İpliklerdeki kaplama (sizing) her markaya göre değiştiği için bu da yine mukavemeti etkileyen bir unsurdur. Atkıdaki ipliğin çözgü mukavemeti ne kadar fazla ise çözgüdeki ipliği o kadar fazla etkiler. Bu durumlar göz önüne alındığında atkı ipliğindeki cam diğerlerine göre ince, kesme mukavemeti düşüktür. Bu nedenle atkıda cam, çözgüde bazalt ile oluşturulan hibrit kompozitin çözgü yönündeki en büyük gerilmesi diğerlerinden daha yüksek olmuştur.



**Şekil 4.35:** Atkı ve çözgü yönlerinde elastisite modülü grafiği

Elastisite modülü grafiğinde en büyük değere çözgü yönündeki testte cam sahiptir. Ardından en büyük elastisite modülüne 3K karbon sahiptir. 12K karbon ve bazaltın elastisite modülü birbirine yakın ve camdan oldukça düşüktür. Atkı yönünde ise en küçük değeri cam en büyük değeri 3K karbon almıştır. Atkı yönündeki değerler birbirine yakındır. En büyük elastisite modülü her zaman çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilmiştir. Elastisite modülü, rijitlik bir malzemenin şekil değişimine karşı gösterdiği dirençtir. Çözgü yönü, atkı yönünden daha gergin ve dayanımı daha yüksek olduğu için çözgü yönünün elastisite modülü her zaman daha yüksektir. Cam ile yapılan hibrit kompozitin çözgü yönünde en büyük değeri almasının nedeni ise en büyük kuvvetteki gerilme değerinde en yüksek değeri alması ile aynıdır. Atkı yönündeki cam ipliğinin diğer atkı yönündeki ipliklere göre çözgü yönündeki bazalt ipliğine olan etkisinin daha az olmasıdır. Atkı yönünde ise 12K karbon ve bazalt çözgü yönüne ve birbirlerine yakın değerler almıştır. Atkı ve çözgü arasındaki en büyük elastisite modülü farkı camdadır. Atkı yönündeki değerlere bakıldığında en yüksek değeri 3K karbon almıştır ardından bazalt ve 3K

karbon gelmiştir, en küçük değeri de cam almıştır. Atkı yönündeki sonuçlar tablo 2.2'deki karbon, bazalt ve camın değerleri ile uyumluluk göstermektedir.



**Şekil 4.36:** Atkı ve çözgü yönlerinde en büyük kuvvetteki gerilme grafiği

En büyük kuvvetteki % uzama grafiğinde cam ile yapılan hibrit kompozit hariç atkı ve çözgü yönlerinde birbirine yakın değerler almışlardır. Hem atkı hem çözgü yönünde en büyük değeri bazalt, ardından 12K karbon almıştır. Değerlerin sıralaması 3K karbon ve cam olarak devam etmiştir. Diğerlerine göre en küçük % uzama değerini de cam almıştır. Çünkü camın diğerlerine göre kıvrım etkisi daha düşüktür.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 3K karbon, 12K karbon, 300 tex numaralı cam ve 17M 1200tex numaralı bazalttan elde edilen hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bunun için bazalt/3K karbon, bazalt/12K karbon, bazalt/cam, hibrit kompozitleri ve bazalt/bazalt hibrit olmayan kompozit elde edilmiştir. Çekme ve üç nokta eğilme testleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre,

Karbonla yapılan hibrit kompozitlerde karbonun iplik numarasının kalınlığı arttıkça mukavemeti artmaktadır. 12K karbonla yapılan hibrit kompozitin çekme ve eğilme dayanımı 3K karbona göre daha fazladır. Karbonla yapılan hibrit kompozitlerde karbonun iplik numarası arttıkça en büyük kuvvetin yüzde uzama miktarı azalmaktadır.

Çözgü ipliğindeki bazaltın çekme ve 3 nokta eğilme dayanımı, atkı ipliğindeki 3K ve 12K karbon ve camdan daha fazladır.

Bazaltın 3K karbon, 12K karbon, cam ve bazaltla oluşturduğu kompozitlerde çözgü yönünde en büyük çekme ve eğilme dayanımına cam ile yapılan hibrit kompozit sahiptir. Atkı yönünde ise en büyük çekme dayanımına 12K karbon ile yapılan hibrit kompozit, en büyük eğilme dayanımına ise bazalt ile yapılan kompozit sahiptir.

Bu hibrit ve hibrit olmayan kompozitler arasındaki en büyük elastisite modülü de çözgü yönünde cam ile yapılan hibrit kompozite, atkı yönünde ise çekme testinde 12K karbon ile yapılan hibrit kompozite, 3 nokta eğilme testinde 3K karbon ile yapılan hibrit kompozite aittir. Kullanacağımız malzemenin kuvvetler karşısında şekil değişiminin ne kadar az olmasını istiyorsak kullanacağımız alana göre bu malzemeler seçilebilir.

Bu hibrit ve hibrit olmayan kompozitler arasındaki en büyük kuvvetteki uzama atkı ve çözümlü yönünde ve her iki testte de atkısında bazalt kullanılan kompozite aittir.

Sonuç olarak,

Mekanik özellikleri dikkate alındığında çözümlü yönünde en yüksek çekme ve eğilme dayanımına sahip olan kompozit cam ve bazalt ile elde edilen hibrit kompozittir. Cam ve bazalt birlikte kullanıldığında maliyetler ve çevreye verilen zarar azalacaktır. Böylece hem çevreye daha az zararlı hem daha uygun maliyetli hem de dayanıklı kompozitler elde edilecektir.

Özellikle 12K karbonun ve bazaltın mekanik özellikleri birbirine oldukça yakındır. Bu da demek oluyor ki, karbonun kullanıldığı yerlerde bazalt da kullanılabilir mekanik özelliklere sahiptir. Karbon kullanılan kompozitler yerine aynı işlevi gören bazalt kompozitler kullanılarak ya da karbon ve bazaltı hibrit halde kullanarak hem daha az maliyetli hem de çevreye daha az zarar veren kompozitler elde edilir.

Ülkemizde bazalt rezervleri olduğu bilinmektedir, ekonomiye tekstil sektörü bazında kazandırmanın mümkün olduğu, dolayısıyla belirli alanlarda (savunma, sağlık vb) kullanılmak üzere işlenebileceği ve lif haline getirerek hem ülke ekonomisine hem de çevreye katkıda bulunulabilir.

İleride yapılacak çalışmalarda farklı lif tiplerinin kullanılması,

Çekme ve üç nokta eğilme testlerine ek olarak sürtünme ve aşınma dayanımlarının incelenmesi,

Kompozit üretiminde elle yatırma yöntemi dışında RTM (reçine transfer metodu) ve diğer yöntemlerin kullanılması ile elde edilen numuneler incelenmesi tavsiye edilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

Akgün, H., ‘‘Poliüretan-Karbon Fiber Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2008).

Aydın, M. R., Volkan, A. C. A. R., Yapıcı, F., Yıldız, K., Topcu, M. V. ve Gündoğdu, Ö., ‘‘Inter-ply Hibrit Kompozit Yapılarda Elyaf Diziliş Sıralamasının Mekanik ve Dinamik Özelliklere Etkisi’’, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(3), 255-263, (2018).

Bacon, R., *Chemistry and physics of carbon*, 9, New York: Marcel Dekker, (1973).

Baker, A., A., ‘‘High-performance fibre composites for aircraft applications. An overview’’, *In Metals forum*, 6(2), 81-101, (1983).

Bennett, A. R., Bustamante, H., Telfer, A. and Warren, L. J., ‘‘The floatability of vitrinite, inertinite and composite grains in coals of differing rank’’, *In Australian coal preparation conference*, 2, 161-174, (1983).

Boccaccini, A. R., Atiq, S. and Hensch, G., ‘‘Optomechanical glass matrix composites’’, *Composites science and technology*, 63(6), 779-783, (2003).

Bright, A. A. and Singer, L. S., ‘‘The electronic and structural characteristics of carbon fibers from mesophase pitch’’, *Carbon*, 17(1), 59-69, (1979).

Bunsell, A. R., *Characteristics and Selection of Fibres for Aerospace Laminates*. Agard, LS-124, London: Technical Editing and Reproduction Ltd, (1982).

Chawla, K. K., *Composite Materials- Science and Engineering*, 1, New York: Springer Verlag Inc, (1987).

Chawla, K. K., *Composite Materials-Science and Engineering*, 3, New York: Springer Verlag Inc, (2012).

Czigany, T., ‘‘Discontinuous basalt fiber-reinforced hybrid composites’’, *Express Polymer Letters*, 1, 59–60, (2007).

Clyne, T. W. and Hull, D., *An Introduction to Composite Materials*, Cambridge University Press, (2019).

Demirel, A., ‘‘Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).

Describes, S. P., ‘‘Carbon Fiber Capacity, Trends’’, *Composites News*, 6, (1998).

Deshmukh, G., ‘‘Basalt-The Technical Fiber’’, *Man-made Textiles in India*, 50(7), (2007).

Deutsch, H. M., ‘‘Elastomeric tooling design for advanced composites’’ *Advanced Composites Technology*, 120-142, (1978).

Dias, D. P., & Thaumaturgo, C., ‘‘Fracture toughness of geopolymeric concretes reinforced with basalt fibers’’, *Cement and concrete composites*, 27(1), 49-54, (2005).

Dorigato, A. ve Pegoretti, A., ‘‘Flexural and Impact Behavior of Carbon/Basalt Fibers Hybrid Laminates’’, *Journal of Composite Materials*, 48(9), 1121-1130, (2014).

Eti, Ö. Alkali, ‘‘Asidik ve Enzimatik Yüzey İşlemlerinin Sisal Lifi Takviyeli Termoplastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması’’, Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın, (2017).

Fennessey, S. F., ‘‘Continuous Carbon Nanofibers Prepared From Electrospun Polyacrylonitrile Precursor Fibers’’, PhD Thesis, *University of Massachusetts Amherst*, Massachusetts, 181, (2006).

Frohs, W., Jaeger, H., ‘‘Carbon Fiber & Composite Material Landscape Germany’’, *Tanso*, 249, 174-178, (2011).

Gay, D., Hoa, S. V. ve Tsai, S., *Composite Materials: Design and Applications*, New York: CRC Press, (2007).

Haeberle, D. C., Senne, J. L., Lesko, J. J. and Cousins, T. E., ‘‘Performance and interfacial stresses in the polymer wear surface/FRP deck bond due to thermal loading’’, *In Advanced Composite Materials in Bridges and Structures: 3rd International Conference*, 13-15, (2000).

Hansen, T., "Basalt-lined ash pipe still in service after nearly four decades", *Power Engineering*, 109(3), 70-72, (2005).

Hegde, R. R., Dahiya, A. ve Kamath, M. G., "Carbon fibers", *Consulted on*, 2(22), 08, (2004).

Hoa, S. V., *Principles of the Manufacturing of Composite Materials*, U.S.A: DEStech Publications Inc, (2009).

Hoque, A., Alam, M. K., Tibbetts, G. G., "Synthesis of catalyst particles in a vapor grown carbon fiber reactor", *Chemical engineering science*, 56(14), (2001).

Hoskin, B. C. ve Baker, A. A., *Composite Materials for Aircraft Structures*, New York: American Institute of Aeronautics and Astronautics, (1986).

Jamshaid, H. ve Mishra, R., "A green material from rock: basalt fiber—a review", *The Journal of The Textile Institute*, 107(7), 923-937, (2016).

John, M. J. ve Thomas, S., "Biofibers and biocomposites", *Carbohydrate polymers*, 71(3), 343-364, (2008).

Jones, R. M., *Mechanics of Composite Materials*, CRC press, (1998).

Kayrak, A. M., *Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet Maliyet Analizleri*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, (1999).

Liu, Q., Shaw, M. T., Parnas, R. S. ve McDonnell, A. M., "Investigation of Basalt Fiber Composite Mechanical Properties for Applications in Transportation", *Polymer Composites*, 27(1), 41-48, (2006).

Militky, J. ve Kovacic, V., "Ultimate mechanical properties of basalt filaments", *Textile Research Journal*, 66(4), 225-229, (1996).

Mittal, J., Bahl, O. P. and Mathur, R. B., "Single step carbonization and graphitization of highly stabilized PAN fibers", *Carbon (New York, NY)*, 35(8), 1196-1197, (1997).

Murray, A., D., *Basalt Fibers for High-Performance Composites*, Allied Composite Technologies LLC, 1-4, (2015).

Novitskii, A. G. ve Sudakov, V. V., "An Unwoven Basalt-Fiber Material for the Encasing of Fibrous Insulation: an Alternative to Glass Cloth", *Refractories & Industrial Ceramics*, 45(4), (2004).

Oksman, K. ve Sain, M., *Wood-Polymer Composites*, Cambridge: Woodhead Publ. Ltd, (2008).

Özdemir, D., Mecit, H. D., Seventekin, N., ve Öktem, T., "Glass Fibres", *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(1), 281-287, (2006).

Releases, S. A. C. M. A., "Carbon Fiber Industry Statistics", *Composites News*, 1, (1998).

Reyne, M., *Technology Des Composites*, Edition Hermes, (1990).

Ross, A., "Basalt Fibres: Alternative to Glass?", *Composites Technology*, 12(4), (2006).

Saravanan, D., "Spinning the rocks-basalt fibers", *IE (I) Journal-TX*, 86, 39-45, (2006).

Sandhya B. R., Ramesh A., Prasad B D., Mohanna C., "A Review On Carbon Fibers", *International Journal of Advanced Engineering and Global Technology*, 3(4), (2015).

Sergeev, V. P., Chuvashov, Y. N., Galushchak, O. V., Pervak, I. G. and Fatikova, N. S., "Basalt fibers – A reinforcing filler for composites", *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 33, 555–557, (1994).

Seventekin, N., *Kimyasal Lifler*, İzmir: Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayını, (2011).

Sezemanas, G., Keriene, J., Sinica, M., Lankaitis, A. and Mikulskis, D., "The alkali and temperature resistance of some fibres", *Mater Sci*, 11(1), 29-35, (2005).

Sim, J. ve Park, C., "Characteristic of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structures", *Composites Part B: Engineering*, 36(6-7), 504-512, (2005).

Sreekala, M. S., George, J., Kumaran, M. G. ve Thomas, S., "The mechanical performance of hybrid phenol-formaldehyde-based composites reinforced with glass and oil palm fibres", *Composites science and technology*, 62(3), 339-353, (2002).

Subramanian, R. V. ve Austin, H. F., ‘‘Silane coupling agents in basalt-reinforced polyester composites’’, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1(1), 50-54, (1980).

Schwartz, M. M., *Composite materials handbook*, London: McGraw-Hill inc., (1984).

Swink, M., ‘‘Continuous filament basalt a unique fiber capable of leadership in high temperature applications’’, *In Techtex North America Symposium Atlanta*, 9, USA, (2002).

Toropina, L. V., Vasyuk, G. G., Korniyushina, V. L., Dyaglev, V. M., Rassadin, Y. M. and Makarushina, M. A., ‘‘New cloth from basalt fibres’’, *Fiber Chemistry*, 27(1), 67-68, (1995).

Tunçel, K. Ş., ‘‘Karbon Lif Üretimi Açısından Poliamid 66 (Naylon 66) Liflerinin Değerlendirilmesi ve Termal Stabilizasyon Aşamasının Yerine Getirilmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 165, (2013).

Turhan, E., ‘‘1x1 Rib Örgü Yapısındaki Karbon Elyafından Elde Edilen Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak, 79, (2011).

URL\_1, Karbon Lifleri Hakkında Bilgiler, [http://www.technica.net/NF/NF2/efibreinorganiche.htm,%20\(2020\)](http://www.technica.net/NF/NF2/efibreinorganiche.htm,%20(2020)), (13 Mart 2020).

Walsh, P. J., *Carbon fibers*, Materials Park, OH: ASM International, 35-40, (2001).

Wei, B., Cao, H. ve Song, S., ‘‘Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment’’, *Materials & Design*, 31(9), 4244-4250, (2010).

Wilson, A., ‘‘Carbon Fiber- From Aero to Auto?’’, *International Fiber Journal*, 24(5), 18-22, (2009).

Wing, N. R. ve Gee, G. W., ‘‘Quest for the perfect cap’’, *Civil Engineering*, 64(10), 38, (1994).

Yaman, N., Öktem, T. ve Seventekin, N., ‘‘Manufacturing of carbon fibers’’, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(3), 164-173, (2006).

Yaman, N., Öktem, T. ve Seventekin, N., ‘‘Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları,’’ *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17 (2), 90-95, (2007).



## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aslıhan Tugan

Doğum Yeri ve Tarihi : Afyon 19.04.1992

Lisans Üniversite : Ege Üniversitesi

Y. Lisans Üniversite (varsa) : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : aslihantugan@gmail.com

İletişim Adresi : Kınıklı mah. 6085.sok no:12 d:12 Denizli