

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BOR PARÇACIK KATKILI KOMPOZİT MALZEMELERİN  
MEKANİK VE TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**TANER AYDIN**

**KOCAELİ 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BOR PARÇACIK KATKILI KOMPOZİT MALZEMELERİN**  
**MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**TANER AYDIN**

**Doç.Dr. Nejat Yıldırım SARI**

**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof.Dr. Kadir TURAN**

**Eş Danışman, Dicle Üniv.**

.....

**Prof.Dr. Taner YILMAZ**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof.Dr. Muharrem YILMAZ**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Dr.Öğr.Üyesi Gurbet ÖRÇEN**

**Jüri Üyesi, Dicle Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde kompozit malzemeler çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kullanım alanları ve kullanım miktarları her geçen gün artan kompozit malzemelerden istenen ve beklenen özellikler, bu paralelde artmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin partikül katkısı ile geliştirilebilmesini araştırmaktır.

Tez çalışmam süresince engin bilgisini ve fikirlerini esirgemeyen, desteğini her zaman yanımda hissettiğim, değerli akademik katkı ve eleştirileriyle bana ışık tutan, insanîyetinden, disiplinli ve özverili çalışmasından çok şey öğrendiğim değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Kadir TURAN ve Doç. Dr. Nejat Yıldırım SARI hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında çok değerli akademik katkılarından ve desteklerinden dolayı, değerli hocalarım Prof. Dr. Vedat ORUÇ' a, Prof. Dr. Taner YILMAZ' a, Prof. Dr. Mete Onur KAMAN' a ve Dr. Öğretim Üyesi Gurbet ÖRÇEN' e teşekkürlerimi sunarım.

Beni yetiştiren bugünlere getiren, öncelikle insana saygılı ve sevgili olmayı öğreten sonrasında insanlığa faydalı olmak için her türlü mücadeleyi vermem gerektiği bilincini aşıl原因an, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili annem Yazgül AYDIN' a, sevgili babam Burhan AYDIN' a, ayrıca bu süreçte beni sürekli motive eden ve yanımda desteklerini her zaman hissettiren ablam Çiğdem TUTAR' a, kardeşim Avukat Esmanur AYDIN' a en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Yoğun çalışmalarım sırasında sabır gösterdiği ve bana katlandığı için, beni her aşamada cesaretlendiren, engin akademik bilgisini esirgemeyen, akademik dünyanın renkli atmosferinde beni en çok bilgilendiren ve birçok aşamayı öğreten çok kıymetli eşim Dr. Öğr. Üyesi Özlem DURNA AYDIN' a ve verdiği huzur, mutluluk, motivasyon ile beni her zaman hayata bağlayan ve hayatı sevmemi sağlayan sevgili kızım Nil Tuna AYDIN' a en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2021

Taner AYDIN

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT .....	ix
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	4
1.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler .....	4
1.1.1. Poliester reçine.....	4
1.1.1.1. Doymuş poliester .....	4
1.1.1.2. Doymamış poliester.....	4
1.1.1.3. Karakteristik özellikleri.....	4
1.1.1.4. Kullanım alanları .....	5
1.1.2. Borik Asit.....	5
1.1.2.1. Fiziksel özellikleri .....	6
1.1.3. Cam Elyaf .....	6
1.1.4. Karbon Elyaf.....	8
1.2. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri .....	9
1.2.1. Aşınma testi .....	9
1.2.2. Çekme testi .....	11
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	13
3. MALZEMELER VE YÖNTEM .....	27
3.1. Malzemeler .....	27
3.2. Yöntem .....	28
3.2.1. Levha üretimi .....	28
3.2.2. Numuneleri hazırlanması.....	28
3.2.3. Karakterizasyon .....	31
3.2.3.1. Aşınma testi.....	31
3.2.3.2. Statik çekme deneyinin yapılışı.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	33
4.1. Aşınma Testi Sonuçları .....	33
4.1.1. Tek yön cam fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi.....	33
4.1.2. Tek yön karbon fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi.....	35
4.1.3. Çift yön cam fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi.....	36
4.1.4. Çift yön karbon fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi.....	38
4.2. Çekme Testi Sonuçları .....	39
4.2.1. Tek yön cam fiber static çekme deney sonuçları .....	39

4.2.2. Tek yön karbon fiber static çekme deney sonuçları .....	41
4.2.3. Çift yön cam fiber statik çekme deney sonuçları.....	43
4.2.4. Çift yön karbon fiber statik çekme deney sonuçları .....	45
4.2.5. Doksan derece tek yön cam fiber statik çekme deney sonuçları .....	47
4.2.6. Doksan derece tek yön karbon fiber statik çekme deney sonuçları .....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	52
5.1. Elde Edilen Sonuçların Çizelge ve Grafiklerle Açıklanması .....	52
5.1.1. Sıfır derece tek yön cam fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları.....	52
5.1.2. Doksan derece tek yön cam fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları.....	53
5.1.3. Sıfır derece tek yön karbon fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları.....	55
5.1.4. Doksan derece tek yön karbon fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları.....	56
5.1.5. Çift yön cam fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları.....	57
5.1.6. Çift yön karbon fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları.....	58
5.1.7. Sonuç ve değerlendirme .....	59
KAYNAKLAR .....	61
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Aşınma testinin şematik gösterimi .....	11
Şekil 1.2.	Bir yönünde tek eksenli yükleme .....	12
Şekil 3.1.	Levha üretimi .....	28
Şekil 3.2.	Numune kesim ölçüleri .....	29
Şekil 3.3.	Üretilen levhaların Scheppach marka elektrikli testere ile kesilmesi ...	30
Şekil 3.4.	Nanovea marka aşınma test .....	31
Şekil 3.5.	Instron marka çekme test cihazı .....	32
Şekil 4.1.	Tek yön cam fiber ortalama sürtünme katsayısı grafiği .....	34
Şekil 4.2.	Tek yön cam fiber sürtünme katsayısı grafiği .....	34
Şekil 4.3.	Tek yön karbon fiber ortalama sürtünme katsayısı .....	35
Şekil 4.4.	Tek yön karbon fiber sürtünme katsayısı grafiği .....	36
Şekil 4.5.	Çift yön cam fiber ortalama sürtünme katsayısı.....	37
Şekil 4.6.	Çift yön karbon fiber sürtünme katsayısı grafiği.....	37
Şekil 4.7.	Çift yön karbon fiber ortalama sürtünme katsayısı grafiği.....	38
Şekil 4.8.	Çift yön karbon fiber sürtünme katsayısı grafiği.....	39
Şekil 4.9.	[0°] <sub>4</sub> neutral tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	39
Şekil 4.10.	[0°] <sub>4</sub> %1 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	40
Şekil 4.11.	[0°] <sub>4</sub> %5 tek yön cam fiber yük (N) , uzama (mm) eğrisi .....	40
Şekil 4.12.	[0°] <sub>4</sub> %10 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	42
Şekil 4.13.	[0°] <sub>4</sub> neutral tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	42
Şekil 4.14.	[0°] <sub>4</sub> %1 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	43
Şekil 4.15.	[0°] <sub>4</sub> %5 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	43
Şekil 4.16.	[0°] <sub>4</sub> %10 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	43
Şekil 4.17.	Neutral çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	43
Şekil 4.18.	%1 çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	44
Şekil 4.19.	%5 çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	44
Şekil 4.20.	%10 çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	45
Şekil 4.21.	Neutral çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	45
Şekil 4.22.	%1 çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	46
Şekil 4.23.	%5 çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	46
Şekil 4.24.	%10 çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	47
Şekil 4.25.	[90°] <sub>4</sub> neutral tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	47
Şekil 4.26.	[90°] <sub>4</sub> %1 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	48
Şekil 4.27.	[90°] <sub>4</sub> %5 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	48
Şekil 4.28.	[90°] <sub>4</sub> %10 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	49
Şekil 4.29.	[90°] <sub>4</sub> neutral tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi .....	49
Şekil 4.30.	[90°] <sub>4</sub> %1 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	50
Şekil 4.31.	[90°] <sub>4</sub> %5 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi.....	50
Şekil 4.32.	[90°] <sub>4</sub> %10 tek yön karbon fiber yük (N) , uzama (mm) eğrisi.....	51
Şekil 5.1.	[0°] <sub>4</sub> tek yön cam fiber ortalama çekme dayanımı.....	52
Şekil 5.2.	[90°] <sub>4</sub> tek yön cam fiber ortalama çekme dayanımı .....	54
Şekil 5.3.	[0°] <sub>4</sub> tek yön karbon fiber ortalama çekme dayanımı .....	55
Şekil 5.4.	[90°] <sub>4</sub> tek yön cam fiber ortalama çekme dayanımı .....	56

Şekil 5.5.	Çift yön cam fiber ortalama çekme dayanımı .....	58
Şekil 5.6.	Çift yön karbon fiber ortalama çekme dayanımı .....	59



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri .....	27
Tablo 3.2. Üretilen numunelerin kodları ve ağırlıkça borik asit katkı oranları .....	29
Tablo 5.1. $[0^{\circ}]_4$ tek yön cam fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı.....	53
Tablo 5.2. $[90^{\circ}]_4$ tek yön cam fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı.....	54
Tablo 5.3. $[0^{\circ}]_4$ tek yön karbon fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı.....	55
Tablo 5.4. $[90^{\circ}]_4$ tek yön karbon fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı.....	57
Tablo 5.5. Çift yön cam fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı .....	58
Tablo 5.6. Çift yön karbon fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı.....	59



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: Bor
BN	: Bor nitrür
E	: Elastisite modülü, (MPa)
E <sub>11</sub>	: Fiber yönündeki elastisite modülü
E <sub>22</sub>	: Fibere dik yönündeki elastisite modülü
E <sub>c</sub>	: Kompozitin elastisite modülü, (MPa)
H	: Hidrojen
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	: Borik asit
O	: Oksijen
ε	: Kopma uzaması, (%)
ε <sub>1</sub>	: Fiber Yönündeki Şekil Değişirme
ε <sub>2</sub>	: Fibere Dik Yöndeki Şekil Değişirme
σ	: Çekme dayanımı, (MPa)

## Kısaltmalar

APTES	: 3-amino-propil-3-etoksi-silan
BA	: Borik Asit
CF	: Karbon Elyaf
CF/PPS	: Karbon Fiber/ Polifenilen Sülfid
CNT	: Karbon Nanotüp
ÇYCF	: Çift Yön Cam Fiber
ÇYKF	: Çift Yön Karbon Fiber
EPDM	: Etilen Propilen Dien Termonomer
GF	: Cam Elyaf
GO	: Grafen Oksit
HBN	: Hegzagonal Bor Nitrür
PAEK	: Poli(aril-eter-keon)
PTFE	: Poli (tetrafloraetilen)
PVA	: Poli Vinil Alkol
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TYCF	: Tek Yön Cam Fiber
TYKF	: Tek Yön Karbon Fiber
UHMWPE	: Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen)

## **BOR PARÇACIK KATKILI KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

### **ÖZET**

Bu çalışmada, bor parçacıkları ile takviye edilmiş tek yön cam fiber/polyester reçineli, tek yön karbon fiber/polyester reçineli, çift yön cam fiber/polyester reçineli ve çift yön karbon fiber polyester reçineli kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özellikleri deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Bor parçacığı olarak özgül ağırlığı 1,51 g/cm<sup>3</sup> ve molekül ağırlığı 61,83 g/mol olan borik asit parçacıkları karıştırılmış polyester reçine kullanılarak, el yatırma yöntemi ile kompozit levhalar üretilmiştir. Parçacık takviyesi olarak ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında borik asit polyester reçine karışımı elde edilmiştir. Parçacık takviyesinin mekanik özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda parçacık oranının artmasına bağlı olarak aşınma direncinin bazı numunelerde neutral numunelere oranla %5 ile %50 oranları arasında arttığı ve yine bazı numunelerde çekme mukavemet dayanımının %32 seviyelerine kadar iyileştiği sonuçları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma Dayanımı, Borik Asit, Çekme Testi, Hibrit Kompozit Malzemeler, Kompozit Malzemeler.

## **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF BORIC ACID REINFORCED COMPOSITE MATERIALS**

### **ABSTRACT**

In this study, the mechanical and tribological properties of unidirectional glass fiber/polyester resin, unidirectional carbon fiber/polyester resin, bidirectional glass fiber/polyester resin and bidirectional carbon fiber/polyester resin composite materials reinforced with boron particles have been investigated by experimental methods. Composite sheets were produced by hand lay-up method using polyester resin mixed with boric acid particles ( $H_3BO_3$ ) with a specific gravity of 1.51 g/cm<sup>3</sup> and a molecular weight of 61.83 g/mol, which were utilized as boron particles. As particle reinforcement, 1%, 5% and 10% boric acid polyester resin mixture was obtained. The effects of particle reinforcement on mechanical and tribological properties were investigated. As a result of the experimental studies, it was determined that, due to the increase in the particle ratio, the wear resistance increased by between the ratios 5% and 50% in some samples compared to the samples not reinforced with boric acid particles and the tensile strength improved up to 32% in some samples.

**Keywords:** Wear Resistance, Boric Acid, Tensile Test, Hybrid Composite Materials, Composite Materials.

## GİRİŞ

Azalan kaynaklar ve artan ihtiyaçlar sebepleriyle, bu ihtiyaçlara cevap verebilmek için, gelişen teknoloji ile uyum içerisinde yeni malzemelerin keşfi ve geliştirilmesi gereksinimleri ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemeler bahsi geçen gereksinim durumlarına cevap olarak, farklı özellikte malzemelerin bir araya getirilerek, kendilerinden farklı yeni özelliklere sahip malzeme olarak ortaya çıkmıştır. Kompozitlerin en önemli özelliklerinden biri sınırsız taleplere sınırsız üretim seçenekleriyle karşılık verebilmesidir. Güçlü, sert fiberlerin nispeten daha zayıf ve daha az katı matris malzemeler içerisinde oldukça sıkı bir şekilde sarılmasıyla üretilir (Mallick, 2007).

Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısında endüstriyel pazarda kullanımı giderek artan teknik performansı ve yüksek bilgi gerekliliği fazla olan bunların yanı sıra katma değeri yüksek olan polimer, metal ve kompozit malzemelere ileri teknoloji malzemeler denilebilir. (Karaçay ve diğ., 2012).

Otomotiv, havacılık ve uzay, tekstil endüstrisi, spor malzemeleri, gıda, inşaat endüstrisi gibi alanlarda kompozit malzemeler oldukça yaygın olarak yer almaktadır. Bu sektör dünyada ve ülkemizde artmaya her geçen gün devam etmektedir. Kimyasal, fiziksel ve mekaniksel olarak çok daha farklı malzemelerin ortaya çıkmasını sağlayan, kompozit malzemeyi oluşturan, matris malzemeleri ve takviye edici olan elyaflar üzerinde de yapılan çeşitli yenilikler ve uygulanan ileri teknoloji sayesinde, kompozit malzeme sektörü çok önemli bir noktaya gelmiştir. Kompozit malzemeler içerisinde en yaygın kullanılan polimer matrisli malzemelerdir. Kullanım yerlerine göre kompozit malzemelerden birçok beklenti olabilir ve bu beklentiler önceden tespit edilmelidir. Karbon, aramid ve cam gibi elyaflar özellikle polimer matrisli kompozit malzemelerin mukavemet değerlerini arttırmak için kullanılmaktadır. Kullanılan elyafların yanı sıra polimer matrisli kompozit malzemelerin aşınma dayanımı, rijitlik ve eğilme dayanımı gibi özelliklerinin yeteri kadar iyi olmaması nedeniyle çeşitli partiküllerin eklenerek kullanılması durumu da söz konusudur. Bahsi geçen partiküllerin eklenmesi kompozit malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini

yüksek oranda etkilemektedir (Mazumdar, 2002; Strong, 2008).

Doymamış polyester ve vinil ester reçineler matris malzemeleri olarak ülkemizde üretilmekte iken epoksi ve termoplastik reçineler ithalat yoluyla tedariki sağlanmaktadır. Yine epoksi sisteminin hammaddelerinin az bir kısmı ülkemizde üretilirken çoğu ithalat yoluyla tedarik edilmektedir.

Matris malzemesinin türü, takviye malzemesinin şekli ve boyutu gibi parametrelere bağlı olarak kompozit malzemeler farklı sınıflandırma kriterlerine sahiptirler. Matris malzemesinin türüne göre kompozit malzemeler üç ana malzeme grubuna ayrılabilir, bunlar; metal matrisli kompozitler, seramik matrisli kompozitler ve polimer matrisli kompozitlerdir. Takviye malzemesinin şekline ve boyutuna göre ise yapısal kompozitler, elyaf takviyeli kompozitler ve parçacık takviyeli kompozitler olmak üzere isimlendirilerek, çeşitlik takviye edici malzemeler birlikte kullanılmaktadırlar (Friedrich ve diğ., 2005; Advani ve Hsiao, 2012; Graeme, 2003).

Polimer matrisli kompozit malzemelerin en önemli avantajlarından birisi yoğunluğunun az olmasıdır. Günümüzde bu özelliğinden dolayı ağırlığın önemli olduğu uzay ve otomobil endüstrisinde çok ciddi oranlarda kullanılmaktadır. Ağırlığın önemli ölçüde düşmesiyle otomobil endüstrisinden yakıttan çok ciddi anlamda tasarruf edilmiştir. Çeliğin yerine kullanılmasıyla %80'e varan oranlarda, alüminyumun yerine kullanılmasıyla %50'ye varan oranlarda ağırlık azalması olmuştur. Kompozit malzemeler sayesinde yüksek mukavemet, kırılma tokluğu, korozyon dayanıklılığı, termal özelliklerde iyileşme, yorulma dayanımı, maliyet, elektriksel özelliklerde iyileşme gibi birçok kazanım elde edilmiştir (Saylan, 2010).

Polimer matrisli kompozitlerin hafifliği, takviye yönü boyunca yüksek sertliği ve mukavemeti ve özellikle metallere kıyasla üstün yorulma direnci ve korozyon direnci en önemli avantajlarındanıdır. Partikül takviyeli kompozit malzemeler partikül miktarı, partikül matris ara yüzey bağı ve partikül boyutu gibi özelliklere bağlı olarak mekanik özellikleri şekillenmektedir. Partikül boyunun azalması ve özellikle nano boyuttaki partiküllerin eklenmesiyle dayanım değerleri pozitif anlamda etkilenmektedir. Partikül takviyesinin belli oranlara kadar artmasıyla bazı polimer matrisli kompozit malzemelerde mekaniksel özellikler olumlu etkilenirken, partikül takviyesinin belirli oranlardan fazla olmasıyla olumsuz olarak etkilenmektedir (Fu ve diğ., 2008).

Geleneksel nano malzemeler ile güçlendirilmiş nanokompozitlerin mekanik özellikleri literatürde iyi çalışılmıştır. Daha önceki çalışmalar, bir polimer veya metalik numuneyi marjinal miktarlarda karbon nano tüp (CNT) ile güçlendirmenin mekanik mukavemetini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Lau ve Hui, 2002; Lau ve diğ., 2004; Paiva ve diğ., 2004; Thostenson ve Chou, 2002).



## **1. GENEL BİLGİLER**

Bu bölümde çalışmada kullanılan malzemelere ait genel bilgiler yer almaktadır.

### **1.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler**

#### **1.1.1. Polyester reçine**

Polyester 1940 yılında İngiltere’de icat edilmiştir. Pet şişe, konfeksiyon, yalıtıcı madde vb. polyester ürünlerin örnekleri olarak verilebilir. Polyester birkaç ester ünitesinden oluşan uzun zincirden meydana gelir. Karboksilik asit ile alkol arasında oluşan yoğunlaşma polimerizasyon reaksiyonundan oluşur. Kimyasal olarak hazırlanmış polyesterlerle beraber pek çok doğal polyesterde mevcuttur. Polyesterlerin yapısına bağlı olarak iki kısma ayrılabilir, bunlar termoplastik veya termosettir.

Polyesterler, doymuş ve doymamış olmak üzere iki kategoriye bölünebilir.

##### **1.1.1.1. Doymuş polyester**

Bu polyesterlerin doymuş omurgası bulunmaktadır. Doymamış olanlar kadar reaktif olmamasının sebebi de bundan kaynaklanmaktadır. Düşük moleküler ağırlıkta plastikleştiriciler olarak kullanılırken, Dacron ve Mylar gibi polietilen tereftalat olan doğrusal, yüksek molekül ağırlıklı termoplastikler yapmak için endüstride yer almaktadırlar.

##### **1.1.1.2. Doymamış polyester**

Bu polyesterlerin omurgası alkil termoset reçine adı verilen doymamış bir maddeden üretilmektedir. Doymuş polyesterlerden daha reaktiftir ve takviyeli plastikler üretmek için endüstride bulunmaktadır.

##### **1.1.1.3. Karakteristik özellikleri**

Polyesterlerin önemli bir gücü bulunmaktadır. Güçlüdürler ve dolayısıyla ürünleri çok dayanıklı ve uzun ömürlü olabilmektedir.

Bunlar suyun kötü emicileri olduğu için polyester kumaş çok hızlı kuruyabilmektedir.

Kimyasallara, kalıp, küf vb. birçok biyolojik ajana karşı yüksek direnç gösterirler.

Kirler liflere girmediğinden kolaylıkla yıkanabilmektedirler.

Polyesterler kırışıklıklara, daralmaya, gerilmeye, aşınmaya vb. dirençlidirler. Yalıtım amacıyla kullanılabilir.

Oldukça yanıcıdır ve giysileri giyilirse dikkat edilmesi gerekmektedir.

#### **1.1.1.4. Kullanım alanları**

Polyester kumaş olarak kullanılabilir.

Ayrıca perde, yatak örtüsü, halı, çarşaf, yastık vb. gibi ev eşyalarında da kullanılabilirdiği gibi, bunların yıkanması kolaydır ayrıca kuruması fazla zaman almamaktadır. Polyester hidrofobik özelliği nedeniyle ıslak ve nemli ortamlar için uygundur. Suya dayanıklı kaplaması sayesinde suyu emme özelliği vardır. Tırmanma takımları, uyku tulumları, kışlık kuru takım elbiseleri vb. yapımında üretim hammaddesi olabilmektedir. Bunun nedeni polyesterin yalıtım kalitesinin oldukça iyi olmasıdır. Havanın içeri girmesini engeller ve içinde sıcak hava bulundurmaz.

Polyesterler **PET** şişe yapımında hammadde olarak bulunur. Bu şişeler geri dönüştürülebilir ve dolayısıyla doğaya zarar vermemektedir. Dekoratif balon yapımında kullanılırlar. Bu, Mylar olarak bilinen bir çeşit polyester maddeden yapılabilmektedir. Yukarıda belirtilen kullanımların yanı sıra, polyesterler yelken, disket gövdesi, yüksek mukavemetli halatlar, iplik, hortumlar, güç kemeri vb. alanlarda da hammadde olarak kullanılabilir (https://www.dunyaatlasi.com/polyester-nedir-cesitleri-ozellikleri-kullanimlari-nelerdir/).

#### **1.1.2. Borik asit**

Borik asit, (borasis asit ya da ortoborik asit olarak da adlandırılır) borun zayıf bir asididir. Kimyasal formülü  $H_3BO_3$  (ya da  $B(OH)_3$ ) şeklinde yazılır ve beyaz toz halinde suda çözünebilir. Borik asit kolemanit cevheri ile sülfürik asidin veya boraks ile bir mineral asidin reaksiyona girmesi ile oluşmaktadır. Kolemanitin



(Ca<sub>2</sub>B<sub>6</sub>O<sub>11</sub>.5H<sub>2</sub>O) sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) çözeltisinde tepkimesi sonucu borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) ve jips (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) meydana gelmektedir. Jips kristalleri çökertilir, borik asitin ise kristallendirme işlemi ile elde edilir.

Borik asit yanmaya neden olan maddelerin tutuşma derecesini azaltmak için kullanılan borat bazlı alev geciktiricilerin temel formu bir üründür. Son yıllarda reçine bazlı ahşap kompozit levhalara alev geciktirici özellik kazandırmasından, kereste ve katı ahşap ürünlerde koruyucu madde olarak kullanılmasından dolayı önemi artmıştır. Disodyum oktaborat tetrahidratla birlikte ahşap kompozit malzemelerde, deniz, yat ve havacılık boyalarında alev geciktirici malzeme olarak tercih edilmektedir. Isı veya korozyona karşı direnç oluşturmak için ateş tuğlalarına ve harçlara eklenerek kullanılmaktadır.

Borik asidin koloidal süspansiyonları petrolde ve bitkisel yağlara eklendiğinde seramik ve metal yüzeyler için iyi bir kayganlaştırıcı oluşturmakta ve sürtünme katsayısını önemli miktarda düşürmektedir. Tabakalı yapısından kaynaklanan iyi yağlama özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Tabakalar birbirine zayıf olan Van Der Waals bağları ile bağlıdır. Tabakalar izafi olarak oldukça kayarak, buldukları sisteme yağlayıcı özelliği kazandırmaktadırlar (Deshmukh ve diğ., 2006).

#### **1.1.2.1. Fiziksel özellikleri**

Özgül ağırlık: 1,51 g/cm<sup>3</sup> (20° C)

Dökme (yığın) yoğunluğu: 0,892 g/cm<sup>3</sup> (Granül) Molekül ağırlığı: 61,83 g/mol

Erime noktası: 450° C Kaynama noktası: 1860° C Isı kapasitesi: 24,7 J/g° C

Isıl iletkenlik: 0,407 W/mK

(<https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/Mar<sub>ch</sub>2019/1-borik-asit1.pdf>)

#### **1.1.3. Cam elyaf**

Camdan iplik ve çeşitli mamullerin yapımı çok eski tarihlere uzanmaktadır. 1734 yılında Rene Ferchault de Reaumur tarafından cam lifi üretilmiş ise de fabrikasyon olarak üretimi 18. yüzyıl sonlarında meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise Reaumur'un, elde ettiği bu ipek gibi ince cam liflerini dokumakta büyük zorluklarla karşılaşılmasıdır (Seventekin, 2001).

1935 yılında Owens-İllinois Glass Co., Newark/Ohio, firması tarafından iplik haline getirilebilecek ve dokunabilecek incelikte cam lifleri öncelikle üretilmiştir. 1942 yılında takviye edilmiş kompozit materyaller olarak ilk zamanlarda havacılık sektöründe kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı cam lifi (S-tipi) ise Owens Corning Tekstil Ürünleri ve Amerikan Hava Kuvvetleri'nin ortak çalışması sonucunda ilk olarak 1960'ların başında üretime alınmıştır. 1968'de S-2 tipi cam lifi çok çeşitli ticari uygulamalarda üretim hammaddesi olarak bulunmuştur. Daha sonraları birçok lif çekim yöntemlerinin geliştirilmesi ile üretim teknolojisi oldukça ilerlemiştir. Bu oran 2000'li yıllarda 2,9 milyon ton/yıl ' a kadar yükselmiştir. Bu miktar tüm teknik lifler tüketiminin %20'sini bulabilmektedir.

Cam lifleri, yüksek sıcaklık dayanımına ve stabilitesine, saydamlık ve teknik amaçlara uygunluk gibi özellikleri sahiptir. Bu nedenle bugün dünyada üretilen cam liflerinin büyük kısmı teknik amaçla ve özellikle izolasyon maddesi olarak kullanılmaktadır. Tekstil alanında tüketilen cam liflerinin payı azdır. Bu liflerden giyim eşyası olarak kullanımı yanında, mobilya yüzleri, dekoratif kumaşlar, perdeler yapımında da kullanımı görülebilmektedir (Seventekin, 2001).

Cam liflerinin fiziksel özellikleri genel olarak şu şekilde özetlenebilir. Saydam ve düzgün yüzeylidirler. Ayrıca kesit görünüşleri yuvarlaktır. İncelikleri 2-13 mikron arasında olabilmektedir.

Cam lifleri mukavemetlerinin yüksek oluşu ile bilinmektedirler ve genellikle kopma mukavemetleri 6-7,3 g/denye arasında olabilmektedir. Bununla beraber ince liflerin mukavemeti kalın liflerden daha yüksek değerlerdedir. Bunların kopma anındaki uzama yüzdeleri %2 civarında olmakla birlikte diğer tekstil liflerine nazaran oldukça az değere sahiptir. Ancak C tipi liflerde bu yetenek %3-4'e kadar artan oranlara sahip olabilmektedir.

Yoğunlukları 2,5-2,7 g/cm<sup>3</sup> dür. Bu bakımdan alüminyuma benzer özelliğe sahiptirler. Fakat cam liflerinden yapılan yün camının özgül ağırlıkları 0,025'dir ki normal cam liflerine oranla oldukça düşüktür. Çünkü bu lifler büyük çapta geniş hacimli havadan meydana gelmektedirler (Harmancıoğlu, 1981).

#### 1.1.4. Karbon elyaf

Karbon fiber veya karbon elyaf, teknoloji ürünü ipliksi bir tür maddeden meydana gelmektedir. Ana bileşimleri karbonlaşmış akrilik elyaf(orlon), katran ve naylondan oluşmaktadır. Karbon fiberin yapısı, çelikten 4,5 kat daha hafif olmasına rağmen 3 kat daha dayanıklı olabilmektedir. Karbon fiber, naylon gibi esnek ve orlon gibi de orta derecede dayanıklı değil, daha sert ve çok daha dayanıklı olabilmektedir.

Karbonelyaflar yüksek dayanım, yüksek modül ve aşınma direncine sahip malzemelerdir ve polimer matrisli kompozit malzemelerde yaygın şekilde üretim parametresi olarak bulunmaktadır. Kompozit malzemeye üstün mekanik özellikler ve düşük yoğunluk kazandırabilmektedirler. Karbon elyaflar tüm elyaflar arasında en yüksek spesifik modül ve en yüksek spesifik dayanım değerlerine sahip olan elyaf türüdür. Karbon elyafların yapısındaki grafit tabakaları ve karbon atomları arasındaki güçlü kimyasal bağ, onlara yüksek elastisite modülü ve çekme dayanımı kazandırabilmektedir.

Karbon fiber üretimi dünya üzerinde gittikçe yükselmektedir. Dünyada sadece 8 ülke, karbon fiber üretebilme teknolojisine sahiptir. Bu ülkeler; Japonya, ABD, Almanya, İran, Fransa, İngiltere, Macaristan ve Tayvan'dır. Ancak dünyada karbon fiber üretimi yapan iki firma vardır ve bu firmaların biri Japon, diğeri de Amerika firmalardır. Dolayısıyla karbon fiber üretim teknolojisine sadece Japonya ve ABD sahiptir. Türkiye, karbon fiber üretimini kendisi yapabilmekte olan 3. Ülke konumundadır ve karbon fiber üretim miktarında dünya

8.'sidir. 2009 yılında Türkiye, 40 bin ton kadar karbon fiber üreterek bundan 1.5 milyar dolar seviyelerinde kâr elde edebilmiştir.

Karbon elyaflar, dayanım, bükülmezlik, hafiflik ve üstün yorulma karakteristiği gibi kritik gereksinimlerin olduğu yerler için son derece uygun malzeme özelliklerine sahiptirler. Bununla birlikte yüksek sıcaklık, kimyasal inörtlük ve yüksek titreşim sönümlemesinin önemli olduğu yerlerde de kullanılabilirler. Karbon elyaf üretimi için gerekli olan kimyasal reaksiyonlar maliyetli ve zor bir süreçten oluşmaktadır. Karbon elyafın üretilmesi için inert bir atmosfer ve 1200 °C ile 3000 °C arasındaki sıcaklık değerlerinin olması gerekmektedir. Karbon elyafların kullanıldığı

iki temel sektör, uzay ve nükleer mühendislik sektörü ile genel mühendislik ve ulaşım sektörüdür. Karbon elyafların büyük bir kısmı maksimum performans ve yakıt tasarrufu istenen ancak üretim maliyetlerinin ilk planda olmadığı havacılık ve uzay sektöründe kendilerine yer bulmaktadır. Karbon elyafların genel mühendislikte ve ulaşım sektöründe kullanılmaları yüksek maliyetleri sebebiyle tercih edilmemektedir. Kritik performans istenilen uzay, havacılık, savunma ve otomotiv endüstrisinin önemli uygulama alanlarında üretim hammaddesi olarak bulunmaktadırlar (Chand, 2000; Yao ve diğ., 2018; TÜBİTAK, Bilim ve Teknik (dergi), Kasım 2009, sayı 504, s.68-73).

## **1.2. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri**

### **1.2.1. Aşınma testi**

Aşınma, temas eden yüzeylerden mekanik etkiler sebebiyle mikro parçacıkların ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen bir değişikliğin oluşmasıdır. Temas halindeki yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına neden olmakta, aşınma ise çalışma toleranslarının bozulmasına ve makine parçalarının fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmesini önlemektedir. Aşınma olayı genellikle; hareket aktarım elemanı olarak kullanılan millerde, kaymalı ve rulmanlı yataklarda, fren balatalarında, motor pistonu ve silindirlere, dişlilerde ve türbin kanatlarında görülmektedir. Farklı türdeki mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının verimli ömürlerine önemli oranda etki eden aşınma kaybı, aşınma ortamı, aşınma mekanizması, malzeme cinsi, yük miktarı, aşınma hızı, sürtünme esnasında oluşan yüzey film özellikleri ve sıcaklık gibi birçok faktör etki etmektedir. Aşınma olayını bir malzeme özelliği olarak düşünmektense olayı bir bütün olarak sistem içinde değerlendirilmesi doğrudur. Bu sisteme tribolojik sistem adı verilmektedir. Triboloji sürtünme, yağlama ve aşınma olaylarını barındırır. Tribolojik sistem ise karşılıklı etkileşen elemanlarda hız, termal şartlar ve yükün bileşimiyle meydana gelen aşınma olayını mercek altına alır (Czichos, 1987).

Adhezif aşınmayı aşağıda belirtildiği şekilde tanımlayabiliriz.

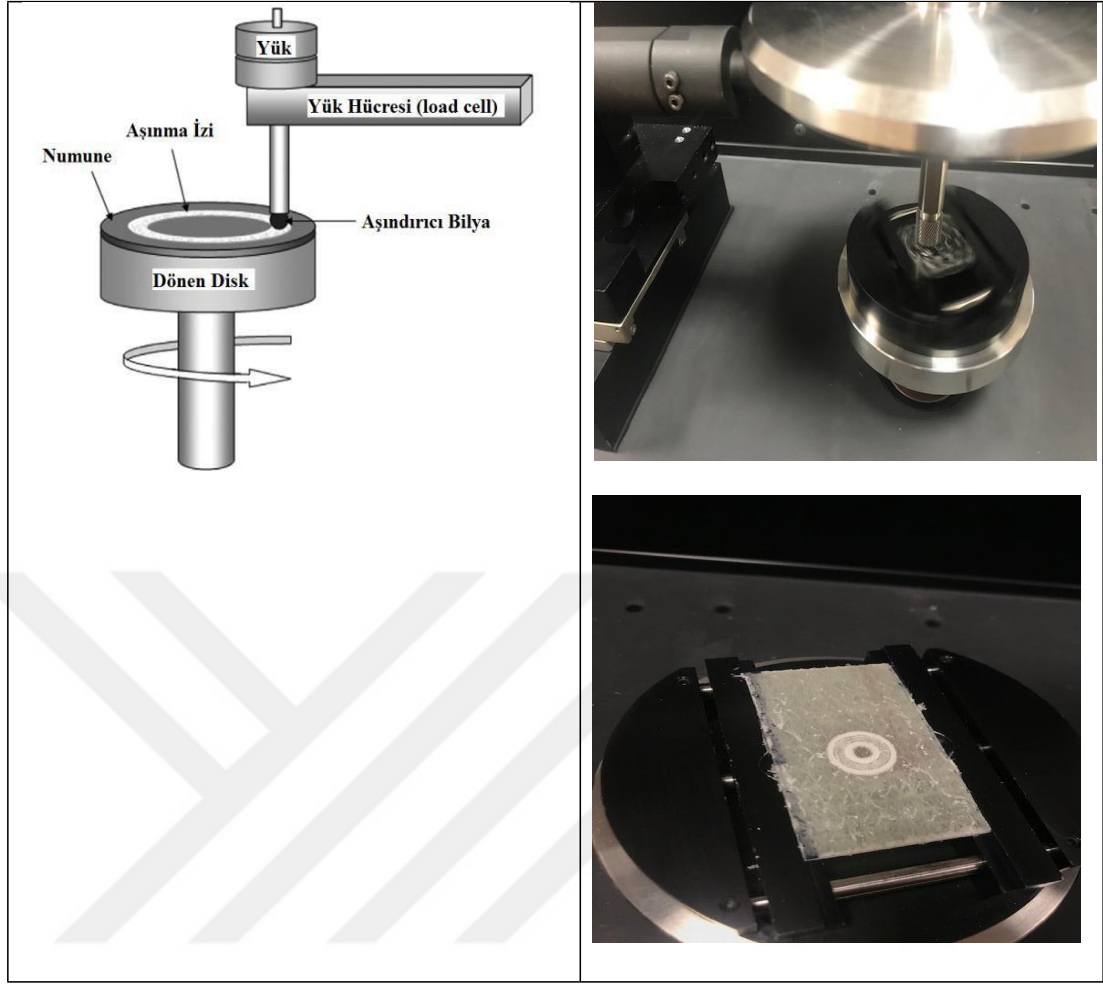
Adhezyon, temas halinde bulunan yüzeyler arasındaki çekim kuvvetlerinden oluşmaktadır. Bu çekim kuvvetleri kovalent, iyonik, metalik veya Van der Waals

kuvvetleri olabilir. Karşılıklı yüzeyler düzgün olarak işlenmiş ya da parlatılmış olsa da hiçbir zaman moleküler seviyede düzgün değildir. Bu şekilde teknik düzgünlükteki yüzeylerde görünüşteki temas alanından daha az olan gerçek temas etme noktalarında, taşınma halinde olan yükün etkisiyle malzemenin akma sınırı aşılmakta ve gerçek temas alanı bu yükü taşıyabilecek genişliğe ulaşmaya dek yükselmektedir. Böyle bir plastik deformasyon ile beraber yüzeysel kaymalar meydana gelebilir.

Abrasiv aşınmayı ise aşağıda belirtildiği şekilde tanımlayabiliriz.

Çizilme yâda yırtılma aşınması olarak da adlandırılabilen abrasiv aşınma, birbiri ile eş çalışan malzeme çiftinde hızlı ve büyük oranda hasar oluşturabilecek oldukça önemli bir aşınma çeşididir. Bu aşınma türü, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçacık kaldırılması şeklinde söylenebilir. Bu aşınma türüne yatak malzemesi içerisine olumsuz çalışma koşulları nedeniyle giren toz parçacıklarının oluşturduğu aşınma örnek verilebilir. Eğer aşınma olayı malzeme çifti arasındaki sertlik farkından meydana geliyorsa iki cisimli aşınma, diğer taraftan ilave aşındırıcı partiküller de aşınmayı etkiliyorsa bu aşınma türü de üç cisimli aşınma olarak ifade edilmektedir (Varol, 2016; Bhushae, 2000; Sarı, 1998).

Polimer hibrit kompozit malzemelerin olduğu bu çalışmada aşınma karakteristiklerinin belirlenmesi için 'pin-on-disc' tipi aşınma test cihazında testler yapılmıştır. Numune dönen bir disk üzerine yerleştirilir. Yük kolu numunenin üstüne gelecek şekilde sabitlenir. Yük kolunun üzerine çalışılmak istenen ağırlık konulur. Yük kolunun ucundaki aşındırıcı bilya test numunesine temas ettirilir. Test sırasında bilya ile numune arasındaki sürtünme katsayısı değerleri ölçülerek, bilgisayara otomatik olarak kaydedilir. Kayma mesafesi, uygulanan ağırlık, kayma hızı, numune yüzeyindeki sürtünme yarıçapı gibi değerler parametrik olarak farklı değerlerde seçilebilir.

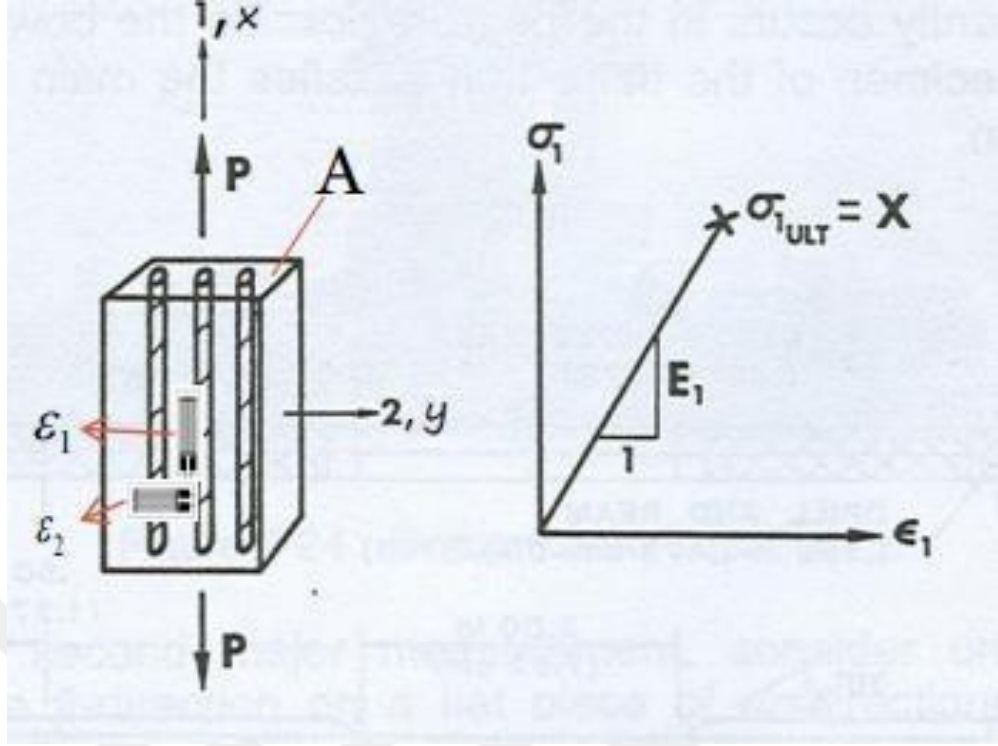


Şekil 1.1. Aşınma testinin şematik gösterimi (Hashemi ve diğ., 2019)

### 1.2.2. Çekme testi

Fiber Doğrultusunda (1, x) Özelliklerin Deneysel Olarak Tespiti

Fiber takviye açısı doğrultusunda polimer hibrit kompozit malzemelere çekme testi uygulanır.



Şekil 1.2. Bir yönünde tek eksenli yükleme (Kaw, 2014)

Bu test sonucunda  $P$ ,  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  değerleri bulunur.

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1} = \frac{P}{A \epsilon_1}, \nu_{12} = -\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}, X_T = P_{ULT} / A$$

Yukarıdaki formüller ve test esnasında bulunan değerlerin ortalamaları alınır. Çekme yükünün ( $P$ ) 1 doğrultusunda  $X_T$  çekme mukavemeti, kopmanın gerçekleştiği anda hesaplanır (Kaw, 2014).

Mekanik testler mühendislik malzemelerinin temel özelliklerini değerlendirmede, yeni malzemelerin geliştirilmesinde ve kalite kontrolünde oldukça önemlidirler. Çekme testinde mekanik özellikleri belirlemek için standart test numunesi, çekme testi cihazına yerleştirilerek tek eksen doğrultusunda çekme testi uygulanır. Malzeme kopuncaya kadar gösterdiği uzama miktarı ve kuvvet değerleri kaydedilir. Çekme testi sonucunda elde edilen yük-uzama eğrisinden malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı, young modülü ve kopma uzaması gibi özellikleri tespit edilir (Nielsen ve Landel, 1994).

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Zheng ve Park, (2019) bakır ve altıgen bor nitrür dolgu maddesini (Cu/hBN), karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozitlere termal iletkenliklerini en üst düzeye çıkarmak için elektroforetik biriktirme yöntemiyle eklemişlerdir. Sonuçlar, biriktirme çözeltisindeki hBN partiküllerinin konsantrasyonu 5 g / L'ye yükseltildiğinde termal iletkenliğin geçiş kalınlığı ve düzlem içi yönlerde sırasıyla 1.68 ve 5.15 W/mK'ya yükseldiğini göstermiştir. Ayrıca, çeşitli kompozitlerin laminasyon arası kayma mukavemeti sonuçları, termal iletkenlik ile aynı eğilimi sergilemiştir. Bununla birlikte, gerilme testi sonuçları, hBN konsantrasyonu arttıkça gerilme mukavemetinin azaldığını göstermişlerdir.

Navaneethakrishnana ve diğ., (2020) farklı yüzdelerde BN partikülleri içeren bor nitrür (BN)/epoksi nanokompozitleri sıvı döküm işlemi ile hazırlamışlardır. Kompozitlerin sertlik, çekme, eğilme ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini analiz etmişlerdir. Epoksi matris içindeki BN parçacıklarının eşit dağılımını, taramalı elektron mikroskopu ile doğrulamışlardır. BN'nin daha düşük kesme, daha yüksek yağlama ve yük taşıma özellikleri gibi gelecek vaat eden özellikleri nedeniyle, daha düşük aşınma hızı ve sürtünme katsayısı amacını karşılamak için polimer matrisli kompozitlerde takviye olarak kullanmışlardır.

Vijayaraghavan ve Zhang, (2019) BN-C nano levha ile güçlendirilmiş polietilen (PE) nanokompozitlerin çekme yükleme mekaniğinin moleküler dinamik analizi yardımıyla kapsamlı bir çalışmayı sunmuşlardır. BN – C nano levhaların geometri ve kafes düzenlemesi, nanokompozitlerin çekme yükü özelliklerini etkilediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca nano tabakadaki kusurların, bu kusurların boyutları ve nereden olduklarına bağlı olarak , gerilme yükleme direncini ciddi şekilde etkilediğini göstermişlerdir. Çalışmalarıyla ayrıca, nanokompozitlerin gerilme yükleme direncinin yüksek sıcaklıklarda zayıflama eğiliminde olduğunu bulmuşlardır. BN-C nanokompozitlerin ara yüz mekaniğini de ayrıca incelemişlerdir. Bu incelemenin, karbon konsantrasyonu ile BN-C nano levhaların güçlü bir bağımlılığını ortaya çıkardığını göstermişlerdir.



Ashrafi ve diğ., (2017) yapısal olarak CNT' lere benzeyen bor nitür nano tüplerin (BNNT'ler) bir dizi çekici özellik sunduklarını belirtmişlerdir. Daha geniş çapta araştırılan CNT' ler gibi, bireysel BNNT' ler de dikkate değer mekanik özellikler ve yüksek termal iletkenlik sergilerler, ancak önemli ölçüde daha yüksek termal kararlılık, yüksek elektrik yalıtımı, polarize edilebilirlik, yüksek nötron emilimi ve görünür ışığa şeffaflık gibi zıt fonksiyonel özelliklere sahip olduklarını söylemişlerdir. Çalışmalarında, uzay yapılarında CNT' lere ek olarak BNNT' lerin uygulanmasına yönelik, Kanada Ulusal Araştırma Konseyi'nde (NRC) BNNT üretimindeki son gelişmeleri ilk kez ve ayrıca ticarileştirmeyi sağlamak için yeterince büyük miktarlarda üretilen yüksek kaliteli BNNT' ler ve BNNT' lerin gelişimine bağlı olarak kimya, kompozitler ve uygulamaların gelişimini hızlandıracak araştırma olduğunu belirtmişlerdir. BNNT' ler içeren cam elyaf takviyeli kompozit paneller dahil olmak üzere polimer matris kompozitlerin üretimini ve sınırlı yapısal testini gösteren erken çalışmaları tartışmışlardır.

Rahmat ve diğ., (2019) epoksinin yarı statik ve dinamik performanslarını Bor nitür nano tüpler (BNNT s) içeren ve içermeyen olmak üzere iki farklı sınıfta incelemiştir. Makalelerinde EPON 828 / Epikure 3223'ün ince film kesme ve bulk tensile özelliklerini araştırmışlardır. Saf epoksi malzemeye ek olarak, ağırlıkça% 1 ve% 2 BNNT konsantrasyonlarına sahip numuneleri de test etmişlerdir.  $4.0 \times 10^{-4}$  ile  $3.7 \times 10^3$  s<sup>-1</sup> arasında değişen gerinim oranlarında çift turlu kesme testleri gerçekleştirilmişlerdir ve sonuç olarak, ne BNNT' lerin dahil edilmesinin ne de gerinim oranının artırılmasının ince yapışkan tabakanın kesme özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını bulmuşlardır. Bununla birlikte, bulk tensile özelliklerinin, gerinim hızındaki değişikliklere duyarlı olduğu görmüşlerdir. Gerinim oranında ki  $5.5 \times 10^{-4}$ 'ten  $1.2 \times 10^2$  s<sup>-1</sup>'e artış olması gerilme mukavemetini ve Young modülünü sırasıyla %39 ve %113 artırdığını; hasar uzamasının %49 azaldığını bulmuşlardır. Ek olarak, BNNT ile modifiye edilmiş gerilme numunelerinin, gerilme mukavemetinde %7'ye kadar artış, modülde %16'ya kadar artış ve hasar uzamasın da %9'luk bir azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Zhangl ve Zhengl, (2019) çalışmalarında, sıcak pres yöntemi ile bir BN / PVDF kompoziti hazırlamışlardır. BN' nin dağılımı homojen, yoğunluklu ve PVDF' ye (Poly vinylidene fluoride) yönelik olduğunu söylemişlerdir. Kompozitin ısı iletkenliği ve

gerilme performansının büyük ölçüde geliştirildiğini söylemişlerdir. Termal iletkenlik, saf PVDF' ye kıyasla %307 artarak 0,57 W / (mK) olarak ölçüldüğünü belirtmişlerdir.

Burroughs ve diğ., (1999) paslanmaz çelik ile kayma teması bulunan PTFE ve epoksi kompozit malzemelerdeki borik asit partiküllerinin faydasını araştırmışlardır. Borik asidin dolgu maddesi olarak kullanılması durumunda aşınma oranında yirmi yıllık bir azalma sağlayarak  $10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/N-m seviyesine ulaştığını söylemişlerdir. Yeterli ortam nemi ile, karşı yüzey aşınmasına neden olmadan azaltılmış aşınma oranı elde edilebileceğini ve PTFE' nin sürtünmesinin biraz daha azaltılacağını bildirmişlerdir. Bu tür ortamlarda borik oksit dolguların, epoksinin sürtünme katsayısını  $\mu > 0.7$ 'den  $\mu = 0.07$ 'ye kadar düşürebileceğini söylemişlerdir. Bu yağlama mekanizmasının, borik oksidin ortam suyu ile reaksiyona sokulmasıyla kayan ara yüze sağlanan kaygan borik asit katmanlı katının yeniden doldurulmasından kaynaklanır demişlerdir. Yağlama etkisinin sürdürülmesini, aşınmayla daha sonra uzaklaştırılmaya göre yeterli miktarda borik asit oluşumuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu oluşum / uzaklaştırma dengesinin, borik oksit dolgunun bağıl nem ve hacim fraksiyonunun yanı sıra normal yük ve kayma hızından etkilendiğini gösterildiğini bildirmişlerdir.

Baysal ve diğ., (2007) ahşap polimer kompoziti (WPC), stiren (ST), metilmetakrilat (MMA) gibi vinil monomerler ve bunların karışımları (50:50; hacim: hacim) İskoç çamının (*Pinus sylvestris* L.) işlenmiş diri odunundan elde edildiğini söylemişlerdir. Borik asit (BA) ve boraks (BX) karışımını, monomer işleminden önce %1 konsantrasyonda ahşaba empenye etmişlerdir. BA ve BX karışımı ön işleme içeren ve içermeyen ahşap polimer kompoziti bazı fiziksel, biyolojik, mekanik ve yangın özellikleri açısından değerlendirmişlerdir.

Cavdar ve diğ., (2015) çalışmalarının amacı olarak, bor bazlı alev geciktiriciler (BbFR'ler) ve elyaf yüklemesinin dolgulu yüksek yoğunluklu polietilen kompozit olan empenye ladin odunu (WF) nun mekanik, ateş ve termal performanslarına etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla WF i, borik asit çözeltisi, boraks ve bunların karışımları ile empenye etmişler ve kompozit imalatı öncesinde kurutmuşlardır. Ayırıştırmanın BbFR'li numunelerin sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) seviyeleri üzerindeki etkisini de araştırılmışlardır. Test sonuçlarına göre, borakslı numuneler, borik asit içeren numunelere kıyasla daha iyi mekanik özellikler sağlamış ve kontrol numunelerine

kıyasla %40 fiber yüklemeli olanlarda gerilme modülünde %19 iyileşme gösterdiğini belirtmişlerdir.

Demirel ve diğ., (2009), cam elyaf katkılı polyester kompozit malzemelerin alev geciktirici özelliğini geliştirmek için çeşitli borik asit, çinko borat ve magnezyum hidroksit içeriklerini kompozit malzemeye katmışlardır. Deneysel sonuçlar, borik asidin polyester kompozit üzerinde iyi bir alev geciktirici etki sergilediğini göstermişlerdir. Borik asit içeriği ağırlıkça %15 olarak kullanıldığında kompozitin Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI) değeri 25.3'e kadar ulaşmıştır. Borik asit içeriğindeki artış ağırlıkça %15'ten %30'a, kompozitin LOI değerleri 9.2 birimle 25.3'ten 34.5'e yükseltildiğini belirtmişlerdir. Kompozit numunelerin LOI değerlerinin, artan borik asit içeriği ile arttığını söylemişlerdir. Duman yoğunluğu sonuçları, cam elyafı ve alev geciktiricilerin eklenmesinin, takviye edilmemiş polyester reçinenin duman yoğunluğunu azalttığını ifade etmişlerdir. Alev geciktiricilerin eklenmesiyle kompozitlerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilediğini söylemişlerdir. Kırık yüzeylerden alınan taramalı elektron mikrografları incelemişlerdir. Borik asit gibi alev geciktiriciler, cam elyaf takviyeli polyester kompozitler içinde iyi dağıldıklarını ve cam elyaflar ile polyester kompozitler arasındaki ara yüzey etkileşimini açıkça iyileştirdiğini bulmuşlardır.

Turan, (2016) yaptığı çalışmada yama fiber takviye açısının kompozit levhalarda yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine etkilerini deneysel yöntemlerle araştırmıştır. Yamanın fiber takviye açısını 0°, 15°, 30° ve 45° olarak seçerken, kompozit levhanın fiber takviye açısını 0° olarak seçmiştir. Yapıştırıcı kalınlığını 0.2, 0.6 ve 1.0 mm olarak belirlerken, yama uzunluğunu 25.4, 38.1 ve 50.8 mm olarak belirlemiştir. Yama fiber takviye açısının bağlantı mukavemetine önemli ölçüde etki ettiğini ifade etmiştir. Bağlantı mukavemetinde %10 ile %45 arasında değişen oranlarda artışın yakalanmasının, yama uzunluğunun artışı ile sağlandığını ifade etmiştir. Hasar yüklerinin ise, yapıştırıcı kalınlığının artmasına bağlı olarak, %11 ile %30 arasında değişen oranlarda azaldığını belirtmiştir.

Mutlu ve diğ., (2007) çalışmalarında disk üstü ped tipi aşınma test cihazı kullanılarak, dökme demirden yapılmış diskin yanındaki pedin tribolojik özelliklerini, bileşenlerin özü değiştirilerek incelemişlerdir. Ayrıca, fren balatalarının mikro yapısal

karakterizasyonunu taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ayrıca balataların sıcaklık sonuçlarını 50-400 ° C sıcaklıklarda 1050 ve 3000 kPa basınçta incelemiştir. Son olarak, ortamın pedlere etkisini su, tuzlu su, yağ ve fren sıvısı ortamında incelemiştir. Borik asitin fren balatalarında sıkça kullanılan fenolik kompozitlere etkisi noktasında inceleme yapmışlardır.

Düzcükoğlu ve Şahin, (2011) çalışmalarının amacı olarak, beklenmedik yağ drenajı sonrasında saf kanola yağı ve %5 borik asit ilaveli kanola yağının tribolojik davranışlarını incelemek olduğunu belirtmişlerdir. Testlerini 0,6 m / s kayma hızı ve 80 N temas kuvveti altında, disk üzerinde pim test standı kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Testlere tam yağlama ile başlanmışlar ve 800 m boyunca devam etmişlerdir. Daha sonra yağ tankından yağ boşaltmışlardır ve sistem yağlama olmadan 10.000 m çalıştırılmıştır. Sürtünme katsayısının, temas sıcaklığının ve aşınmanın değişimini, saf ve borik asit ilaveli yağ için karşılaştırmışlardır. Borik asit ilaveli yağın, tanktan yağ boşaltıldıktan sonra bile yağlamaya devam edebileceğinin görüldüğünü söylemişlerdir.

Örçen ve diğ., (2013) dokuma cam elyaf takviyeli epoksi reçine kompozit plakaların, iki paralel pimli birleştirilmiş ve deniz suyu etkisi altındaki hasar davranışlarını araştırmışlardır. Deniz suyundaki yapışma geometrisi ve daldırma süresinin etkilerini deneysel ve sayısal yöntemlerle analiz etmişlerdir. Deniz suyunun etkilerini gözlemlemek için numuneleri deniz suyunda sıfır, üç ve altı ay süreyle bekletmişlerdir. İlerlemeli hasar analizinin kullanıldığı sayısal çalışmalarını, ANSYS 11.0 sonlu elemanlar programında çalışan bir alt program aracılığıyla gerçekleştirmişlerdir. Sayısal analizde hasar yüklerini ve hasar türlerini tahmin etmek için malzeme bozunma kuralları ile birlikte Tsai-Wu hasar kriterini kullanmışlardır. Çalışma sonunda, deniz suyuna daldırma süresinin artmasının, numunelerin mekanik özelliklerinin zayıflamasına ve hasar yüklerinde azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. İlerlemeli hasar analizi sonuçlarının da deneysel sonuçlarla tutarlı olduğunu bulmuşlardır.

Özdemir ve diğ., (2016) bor içerikli malzemelerin termal nötron absorpsiyonunda çok etkili olduğu ve yüksek hidrojen içeriğinin de termal nötron perdeleme için arzu edilen bir durum olduğunun iyi bilindiğini belirtmişlerdir. Etilen Propilen Dien Termonomer

(EPDM) kauçuğunun, hidrojen içeriği nedeniyle nötron koruması için iyi bir aday malzeme olduğunu söylemişlerdir. Çalışmalarında borik asitli EPDM kauçuğunu hazırlamışlar, ısı ve mekanik testleri yapmışlar, ısı ve mekanik özelliklerdeki değişimleri açık bir şekilde incelemişlerdir. Ayrıca borik asit ilavesi ile vulkanizasyon davranışındaki değişimi anlamak için vulkanizasyon kinetiğini araştırmışlardır. Polimer kompozitin jel içeriğini belirlemek için mikrodalga destekli sol-jel analizi ve geleneksel Soxhlet ekstraksiyon testlerini tamamlamışlardır. Teorik ve deneysel nötron absorpsiyon testi sonuçlarını karşılaştırılmışlar ve sonuçları göstermişlerdir ve birbirleriyle karşılaştırılabilir nitelikte olduğunu belirtmişlerdir. Borik asitli EPDM' nin etkili bir nötron düzenleyici malzeme olduğu sonucuna varmışlardır.

Panda ve diğ., (2019) kumaş- (BD-çift yönlü) takviyeli yüksek performanslı polimer kompozitlerin, olağanüstü mekanik, termal ve tribolojik özellikleriyle tanındığını söylemişlerdir. Ancak bunların işlenmesinin, özellikle Polieteretherketon (PEEK), Poliariletherketon (PAEK) vb. Gibi özel polimerler için, esas olarak çözelti emdirme tekniğinin kullanımını kısıtlayan doğru türde bir çözücünün bulunmaması nedeniyle oldukça zor olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek erime viskozitesi ve yüksek oksidasyon eğilimi ile birlikte çok yüksek erime noktalarına sahip olmanın eriyik emdirme olasılığını da ortadan kaldırdığını söylemişlerdir. Ayrıca, lifli formda bulunamamanın, karıştırma tekniğiyle işleme olasılığını sınırladığını ifade etmişlerdir. Bu tür kompozitleri geliştirmek için bırakılan olası seçeneklerin, belki de film istifleme ve toz serpmeye teknikleri olduğunu, ancak çapraz noktalarda ısılatmama sorununa değinilmediğini söylemişlerdir. Makalelerinin, grafit kumaşla güçlendirilmiş PAEK kompozitlerinin geliştirilmesi, karakterize edilmesi ve derinlemesine performans analizi konusundaki ilk çabayı bildirdiğini söylemişlerdir. Çalışmalarında aynı işleme parametreleri ve kumaş miktarı korunarak toz serpmeye ve film istifleme teknikleri kullanmışlardır. Karşılaştırmalı performans değerlendirmesinin, film istifleme tekniğinin, termal iletkenliği ve termo-mekanik performansı engelleyen neredeyse tüm performans özelliklerinde mükemmel olduğu sonucuna varmışlardır. Performans analizinin, termal iletkenlik, cilalı kesitlerde alan emisyonu taramalı elektron mikroskobu (FESEM), termal ve termo-mekanik analiz, mekanik test, mikro bilgisayarlı tomografi, aşındırıcı aşınma çalışmaları vb. gibi çeşitli tekniklere dayandığını söylemişlerdir.

Polat ve Kaynak (2016) çalışmalarının amacı olarak, poliamid-6'daki (alüminyum dietil fosfinat) -tipi organofosfor bileşiğinin alev geciktiriciliğini artırmak için bor oksit ve borik asidin ve bunun ağırlıkça %15 kısa (cam elyaf) takviyeli kompozitin kullanılabilirliğini araştırmak olduğunu belirtmişlerdir. Malzemelerin, ikiz vidalı bir ekstrüder aracılığıyla eriyik karıştırma yöntemiyle birleştirildiğini ve test ve analizler için numunelerin, enjeksiyon ve sıkıştırma kalıplama ile şekillendirildiğini söylemişlerdir. Saf poliamid-6 numuneleri için, kütle kaybı koni kalorimetrisi analizlerinin, belirli bir miktarda alüminyum dietil fosfinatın bor oksit veya borik asit ile değiştirilmesinin, birçok alev geciktirme parametresinde önemli gelişmelerle sonuçlanabileceğini göstermiştir. Örneğin, poliamid-6'nın en yüksek ısı salım oranı değeri bor oksit ve borik asit için sırasıyla %84 veya %86 olabilirken, alüminyum dietil fosfinat tek başına kullanıldığında sadece %32 olduğunu ifade etmişlerdir. Kömür mikroskobu, termogravimetrik analizler, X-ışını kırınımı ve gelişen gaz analizleri, bor oksit ve borik asidin alüminyum dietil fosfinatın bariyer mekanizmasına temel katkısının, ilave camsı bor oksit tabakaları ve bor fosfat tabakalarının oluşumu olduğunu ortaya çıkardığını bulmuşlardır.

Örçen ve diğ., (2020) termal yaşlanmanın kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, sekiz katmanlı dokuma cam elyaf takviyeli epoksi kompozit levha kullanmışlardır. Termal yaşlandırmayı, zaman ve sıcaklık değişim parametrelerini kullanarak bir elektrikli fırında gerçekleştirmişlerdir. Zaman değişimleri 1, 3 ve 5 saat olup, sıcaklık değişimleri için 50 °C, 100 °C ve 150 °C kullanmışlardır. Belirtilen zaman ve sıcaklık değerlerinde termal olarak yaşlandırılmış kompozit plakaların; fiber takviye yönünde elastisite modülü, poisson oranı, çekme dayanımı, basma dayanımı, kayma modülü ve kayma dayanımını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçları, oda sıcaklığında bekletilen örneklerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda termal yaşlanma sıcaklığı ve sıcaklık arttıkça kompozit plakaların mekanik özelliklerinin değiştiğini tespit etmişlerdir.

Soutis ve Zu, (1997) yapıştırılmış yama ile tamir edilmiş kompozit laminatların basınç davranışını incelemişlerdir. Kritik bağlantı parametrelerini belirlemek ve verimli bir harici yama onarımını tasarlamak için çift bindirmeli bir bağlantı üzerinde doğrusal olmayan bir gerilim analizi gerçekleştirmişlerdir. Büyük boyutlu yamaların sadece

yapının ağırlığını arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda onarılmış bölgedeki erken bozulmaya neden olabilecek gerilim konsantrasyonlarını da arttırdığı bulmuşlardır. Örtüşme kenarlarının yakınında yama kalınlığının azaltılmasının ve yerel yapışkan kalınlığının artırılmasının, hem kesme hem de sıyrılma gerilimlerinde gerilim konsantrasyonunu azaltacağını söylemişlerdir. Daha sonra, optimum tamir edilmiş konfigurasyondaki gerilmeleri belirlemek için üç boyutlu bir sonlu eleman analizi gerçekleştirmişler ve nihai arıza yükünü tahmin etmek için bir gerilim kırılma kriteri ile birlikte kullanmışlardır. Deneysel ölçümlerin, dikkatlice tasarlanmış yapıştırılmış yama onarımlarının, hasar görmemiş laminat mukavemetinin neredeyse yüzde 80'ini geri kazanabileceğini gösterdiğini söylemişlerdir.

Hou ve diğ., (2014) yüzey birleştirme ajanı 3-aminopropil trietoksi silan (APTES) ile modifiye edilen altıgen bor nitrür (h-BN) mikropartiküllerini, termal olarak iletken epoksi / BN kompozitlerini imal etmek için kullanarak ve modifiyeli BN içeriğinin termal ve yalıtım özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Epoksi matrisine h-BN partiküllerinin dahil edilmesinin, kompozitlerin termal iletkenliğini önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır. Ağırlıkça %30 modifiye BN yüklemesi ile kompozitlerin termal iletkenliği, saf epoksiye göre 6,14 kat daha yüksek olarak  $1.178 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  değerinde bulundu. Fabrikasyon epoksi / BN kompozitlerin, artırılmış BN içeriği ile gelişmiş termal stabilite, depolama modülü ve camsı geçiş sıcaklığı sergilediğini belirttiler. Kompozitlerin ayrıca mükemmel elektriksel yalıtım özelliklerine sahip olduğunu söylemişlerdir. Bu sonuçların, epoksi/ BN kompozitlerinin, termal yönetim ve mikroelektronik kapsülleme için verimli ısı salan malzemeler olarak umut verici olduğunu ortaya koyduğunu belirtmişlerdir.

Yi ve diğ., (2011) tamamen pul pul dökülmüş grafen oksit (GO) levhalar ve çok duvarlı karbon nano tüpler (CNT' ler) kullanılarak poli (vinil alkol) (PVA) bazlı bir nanokompoziti basit bir prosedürle hazırladılar. PVA matrisinde CNT' lerin dağılımının GO tabakaları eklenerek önemli ölçüde iyileştirilebileceğini optik görüntülemeyle doğrulamışlardır. Moleküler dinamik (MD) simülasyonlarının, GO-CNT etkileşiminin güçlü olduğunu ve kompleksin CNT aglomeralarına göre termodinamik olarak elverişli olduğunu gösterdiğini söylemişlerdir. CNT ve GO kombinasyonundan kaynaklanan sinerjistik bir etkinin ortaya çıktığını, GO – CNT / PVA kompozit filmlerin yalnızca GO veya CNT ile geliştirilmiş PVA kompozit

filmlere kıyasla üstün mekanik özellikler gösterdiğini ve sadece gerilme mukavemeti ve Young modülünü önemli ölçüde iyileştirmesi değil sünekliğin çoğunun da korunduğunu ifade etmişlerdir. GO – CNT / PVA kompozit filmin gelişmiş mekanik özelliklerinin, iyi dağılım yoluyla GO ve CNT' den tamamen yararlanılmış güçlendirme etkisine bağlanabileceğini söylemişlerdir.

Jia ve diğ., (2005) dört karbon fiber takviyeli polimer kompozitin, damıtılmış su ile yağlanmış ve paslanmaz çeliğe karşı kuru kayma altında aşınma ve transfer özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Kompozit mikro yapıları ve hata modlarını incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanmışlardır. Paslanmaz çelik üzerindeki transfer filminin tipik element kimyasal durumlarını X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile incelemişlerdir. Tüm kompozitlerin düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu ve su altında yağlanmış paslanmaz çeliğe karşı kaymanın kuru kaymaya göre çok daha iyi aşınma direnci gösterdiğini bulmuşlardır. Kompozitlerin aşınmasını, hem kuru hem de suyla yağlanan koşullar altında plastik deformasyon, sürtünme, mikro çatlama ve dökülme ile karakterize etmişlerdir. Bununla birlikte, bu tür plastik deformasyonun, sürtünme, mikro çatlama ve dökülmenin, suyla yağlanmış koşullar altında önemli ölçüde azaltılabileceğini ifade etmişlerdir. Transfer filminin kompozitlerin tribolojik davranışı üzerinde su ile yağlanmış koşullar altında kuru kaymaya göre daha küçük bir etkisi olduğunu, çünkü su ile yağlanmış koşullar altında su ortamının soğutma ve sınır yağlama etkileri tribolojik davranışa hakim olduğunu belirtmişlerdir.

Pedrazzoli ve diğ., (2014) çalışmalarında kısa cam elyaf (GF) ile güçlendirilmiş epoksi ve pul pul grafit nanoplateletler (GNP) ile yapılan hibrit kompozitlerin özelliklerini GF yüklemesinin bir fonksiyonu olarak belirlemişlerdir. GNP'nin matris içine veya GF yüzeyine (GFc) eklenmesinin, tek lifli mikrodobonlama testi ile değerlendirildiğinde daha güçlü bir GF-epoksi ara yüzünün oluşumunu sağladığını ve bununda ağırlıkça %5 GNP ile güçlendirilmiş hibrit epoksi kompozitin ara yüzey kayma mukavemetinde %60'lık bir artışla sonuçlandığını göstermişlerdir. Nano ve mikro boyutlu donatıların birleşik etkisinin, düşük ve yüksek gerilme oranları altında makroskopik mekanik özellikleri nasıl etkilediğini keşfetmek için yarı statik çekme testleri ve darbe testleri yapmışlardır. Hibrit kompozitler tarafından sergilenen geliştirilmiş gerilme modülünün, nihai gerilme mukavemetinin ve darbe direncinin, nano malzemelerin



fiber/matris arayüzüne sokulmasının ve arayüz özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmenin mümkün olduğunu ortaya çıkardığını, bunun da daha hafif ve daha güçlü kompozitleri ortaya çıkardığını söylemişlerdir. Ayrıca, GF/epoksi kompozitlerinin depolama modülü ve viskoelastik davranışının, GNP' nin eklenmesi ile birlikte önemli ölçüde arttığını, bunun da güçlü GNP-polimer etkileşimlerini ve polimer zincirlerinin hareketsizliğini gösterdiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, nano malzemelerin ve mikro boyut takviyelerinin birleşik etkisinden, geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip hafif ağırlıklı hibrit kompozitler üretmek için yararlanılabileceğini bulmuşlardır.

Turan ve diğ., (2012) çalışmalarında tek yönlü karbon fiber/epoksi reçine kompozit laminatlarda seri pim yüklü iki delik için deneysel ve sayısal hasar analizlerini sunmuşlardır. Kompozit laminatların hasar yükleri ve hasar modlarını, farklı geometrik parametreler ve farklı istifleme sıraları için belirlemişlerdir. Üç boyutlu ANSYS Parametrik Tasarım Dil kodlarını, ANSYS® sonlu elemanlar yazılımında geliştirmişlerdir. Sayısal analizde hasar yüklerini ve hasar modlarını belirlemek için Hashin Hasar Kriterleri ve malzeme bozunma kurallarını kullanmışlardır. Deneysel ve sayısal sonuçların, geometrik parametrelerin hasar yüklerini ve hasar modlarını etkilendiğini göstermiştir.

Myshkin ve diğ., (2006) çalışmalarında polimerlerin tribolojik davranışının, 20. yüzyılın ortalarından günümüze kadar gözden geçirildiğini belirtmişlerdir. Yeni temaslı yapışma ölçer ile farklı kaplamaların yüzey enerjisinin belirlenebileceğini söylemişlerdir. Sürtünmeyi yapışma ve deformasyon bileşenleri ile tartışmışlardır. Yükün, kayma hızının ve sıcaklığın sürtünmeyi nasıl etkilediğini göstermişlerdir. Polimerlerin farklı aşınma modlarını ve sürtünme aktarımlarını dikkate almışlardır.

Dong ve Bell, (1999) çalışmalarında iyon ışını yüzey modifikasyonunun, polimerik malzemelerin tribolojik davranışının yanı sıra yüzey mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için büyük bir potansiyel gösterdiğini söylemişlerdir. Sonuç olarak, çalışma dönemlerinde son birkaç yılda, çeşitli polimer türlerine geleneksel iyon ışını tekniklerinin uygulanması ve yenilikçi plazma ile güçlendirilmiş iyon implantasyon tekniklerinin tanıtılması açısından polimerik malzemelerin iyon ışını yüzey modifikasyonu alanında birçok ilerleme görüldüğünü ifade etmişlerdir. Yazılarında,

önce polimerik malzemelerin ana aşınma mekanizmaları gözden geçirmişlerdir; Tribolojik ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için polimerik malzemelerin son teknoloji iyon ışını yüzey modifikasyonunu, referanslı bir literatür taraması yoluyla değerlendirmişlerdir; polimerlerin iyon demeti modifikasyonunda yer alan iyon-polimer etkileşim mekanizmalarını kısaca tartışmışlardır; son olarak, gelecekteki gelişim için kilit alanları önermişlerdir.

Karsli ve diğ., (2016) çalışmalarında, cam elyaf (GF) ve karbon elyaf (CF) takviyeli poli (eter eter keton) PEEK kompozitlerine ısıl yaşlandırma işlemi uygulanmışlar ve bu işlem ve takviye tipinin ısı, termomekanik, tribolojik, fiziksel ve morfolojik özelliklere olan etkisini araştırmışlardır. Buldukları tüm sonuçlar, uygulanan termal yaşlandırma koşullarında kompozitlerde fiber ve matris arasında bir transkristalin katman oluştuğunu ve bu katmanın fiber matris yapışmasını etkilediğini, bu bölgedeki enerji dağılımını azalttığını ve kompozitlerin özelliklerini iyileştirdiğini göstermişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda ısıl yaşlandırma işleminin kompozitlerin ısıl, termomekanik, tribolojik ve fiziksel özelliklerinin kontrolünde etkili bir yöntem olduğu ve bu yöntemle kompozitlerin bu özelliklerinin iyileştirilebileceğini kanıtlamışlardır.

Sinha ve Briscoe, (2009) çalışmalarında polimerlerin, sürtünme, aşınma direnci ve diğer yüzeye ilgili özelliklerin etkin bir şekilde kullanıldığı uygulamalarda yığın, film ve kompozitler gibi çeşitli biçimlerde kullanıldığını belirtmişlerdir. Yazdıkları kitaplarında polimerler için sürtünme, aşınma ve yüzeye ilgili diğer ilgili mekanik olayları ele almışlardır.

Sarı ve Sınmazçelik, (2007) yaptıkları çalışmada, tek yönlü karbon fiber takviyeli polieterimid (PEI) matrisli kompozitlerin eroziv aşınma davranışını, düşük partikül hızı altında temas hızı, partiküllerin temas açıları ve erozyon süresinin etkileri açısından incelemişlerdir. Tek yönlü karbon fiber takviyeli PEI kompozitlerin, düşük hızlı aşındırma çalışmaları altında yarı sünek davranış gösterdiğini söylemişlerdir. En yüksek aşınma oranlarını 1,96 m / s için 45 ° ve 2,88 m / s için 50–55 ° ile incelemişlerdir. Daha yüksek partikül hızında, düşük hızlara kıyasla, daha yüksek tepe temas açıları daha yüksek aşınma oranlarını bulmuşlardır. Eroziv aşınma oranları ve yüzey pürüzlülüğünün, erozyonun temas açısı ve hız ile yakın bir ilişkiye sahip

olduğunu belirtmişlerdir. Daha yüksek partikül hızının, keskin elyaf kırılması ve matris erozyonunun bir sonucu olarak daha pürüzlü yüzeyle sonuçlandığını bulmuşlardır.

Brostow ve diğ., (2010) çalışmalarında akademi ve endüstrinin malzeme özelliklerine olan ilgisi büyük ölçüde mekanik üzerine odaklanırken, aşınma endüstride en azından mekanik deformasyonun neden olduğu kırılmalardan daha küçük olmayan kayıplara neden olacağını söylemişlerdir. Polimer bazlı malzemeler (PBM' ler) için tribolojinin önemini tartışmışlardır. Orijinal olarak metaller için geliştirilen geleneksel triboloji, en az iki nedenden dolayı PBM' lere uygulanamayacağını ifade etmişlerdir. İlk olarak, PBM' lerin viskoelastik olduğunu ve özelliklerinin zamana bağlı olduğunu- metallerin ve seramiğin aksine. İkinci olarak, diğer malzeme sınıfları için iyi çalışan harici sıvı yağlayıcıların, PBM' ler tarafından kolayca emildiğini; sonucun şişlik olacağını bildirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar ile viskoelastisitede 2006'da tanımlanan malzeme kırılabilirliği ve kayma aşınması tespitinde kırılabilirliğin geri kazanıma bağlantıları, sürtünme ve çizilme direncinin yüzey gerilimiyle ilişkisi ve manyetik alanların polimer tribolojisi üzerindeki etkileri dikkate alınarak PBM' lerin tribolojisini geliştirmişlerdir. Oluşan döküntü miktarına dayalı geleneksel deneysel aşınma belirleme yöntemlerinin, PBM' ler için pek iyi kullanılamaz olduğunu bunun sebebinin önemli miktarda malzeme deplasmanı varken (üst sırt oluşumu, yoğunlaştırma) çoğu zaman hiçbir kalıntının olmayışdır. Daha uygun test prosedürleri tartışmışlardır. Polimerlerin çizilmesinin moleküler dinamik bilgisayar simülasyonlarının sonuçlarını da tartışmışlardır. Ayrıca, PBM' lerin çizilme ve aşınmaya karşı direncini artırma yöntemlerini tartışmışlardır. Bu yöntemler arasında yüzey geriliminin modifiye edilmesi, mikrohibrit oluşumu, nanohibrit oluşumu, ışınlama ve ayrıca manyetik alanların daha önce bahsedilen uygulamalarının yer aldığını ifade etmişlerdir. Geliştirilen kavram ve modellerin yanı sıra deneysel ve simülasyon sonuçlarının toplamı temelinde, PBM' lerin tribolojisiyle - öğretimsel, hem de endüstriyel ve araştırma ortamında - başa çıkmak için bazı öneriler yapmışlardır.

Li ve diğ., (2013) makalelerinin temel amacı olarak polytetrafluroethylene (PTFE), ultra- yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) ve ikisinin kombinasyonu gibi katı yağlayıcılar kullanarak yüksek performanslı sürtünme malzemeleri için cam elyaf takviyeli PA6'nın (ağırlıkça GF / PA6,15 / 85) tribolojik özelliklerini daha da optimize

etmek olduğunu açıklamışlardır. Bu malzemelerin tribolojik özelliklerinin PTFE ve UHMWPE' nin dahil edilmesiyle ortaya çıkan sinerjilerini araştırmışlardır. Sonuçların, 40 N' lik bir yükte ve 200 rpm 'lik bir hızda, PTFE' nin matris malzemesinin tribolojik yeteneklerini geliştirmede etkili olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir. PTFE ve UHMWPE kombinasyonu, yalnızca PTFE veya UHMWPE ile karıştırılmış kompozitlerin sürtünme katsayısını daha da azalttığını bulmuşlardır. Yük ve hızın tribolojik davranış üzerindeki etkilerini de tartışmışlardır. Aşınma mekanizmasını daha iyi anlamak için, aşınmış yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ile incelemişlerdir.

Scharf ve Prasad, (2013) çalışmalarında katı yağlayıcıların temel mekanizmalarını, geçiş metali dikalkojenitler ve elmas benzeri karbon kaplama aileleri gibi iyi bilinen katı yağlayıcılardan örneklerle incelenebileceğini söylemişlerdir. Katı yağlayıcılar, yüzey kaplaması olarak veya kendinden yağlamalı kompozitlerde dolgu maddesi olarak uygulandığını belirtmişlerdir. Katı yağlayıcı kaplamalarla tribolojik (sürtünme ve aşınma) temasların, tipik olarak ince bir malzeme tabakasının kaplamanın yüzeyinden karşı yüzeye, genellikle bir transfer filmi veya tribofilm olarak bilinen transferiyle sonuçlandığını ifade etmişlerdir. Aşınma yüzeylerinin, çevreleyen çevre ile yüzey kimyasal reaksiyonları nedeniyle toplu kaplamadan farklı kimya, mikro yapı ve kristalografik doku sergileyebileceğini yazmışlardır. Sonuç olarak, bir ortamda son derece düşük sürtünme ve uzun aşınma ömrü sağlayan katı yağlayıcı kaplamalar, farklı bir ortamda bunu başaramayabileceğini söylemişlerdir. Katı yağlayıcıların çoğunun, artan temas gerilimi ile azalan sürtünme katsayıları ile Amontonian olmayan sürtünme davranışı sergilediğini belirtmişlerdir. Düşük sürtünmeden sorumlu ana mekanizmayı, tipik olarak, aşınmış kaplama ve transfer filmi arasındaki ara yüzey kayması ile ilişkilendirmişlerdir. Farklı ortamlara uyum sağlamak için yeni kaplama mimarilerinin tasarımı için stratejiler tartışmışlardır.

Sarı ve diğ., (2010) çalışmalarında rasgele yönlendirilmiş kısa cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli polietereterketon (PEEK) kompozitlerin katı parçacık erozyon aşınma davranışını incelemişlerdir. Katı parçacık erozyon deneylerini, aşındırıcı olarak kahverengi kaynaşmış alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) parçacıkları (500-710  $\mu m$ ) kullanılarak altı farklı temas açısında ( $15-90^\circ$ ) ve düşük parçacık hızında gerçekleştirmişlerdir. PEEK kompozitlerinin,  $45^\circ$  temas açısında maksimum aşınma miktarı ile yarı sünek erozyon davranışı gösterdiğini belirtmişlerdir. Elyaf tipi ve temas

açısının, erozyon davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Cam elyaf takviyeli PEEK kompozitlerinin, karbon elyaf takviyeli kompozitlere göre daha iyi aşınmaya karşı direnç gösterdiğini bulmuşlardır. Eroziyon aşınma sırasında ortaya çıkan aşınma mekanizmalarını anlamak için taramalı elektron mikroskobu çalışmaları yapmışlardır.

Karatas ve diğ., (2019) poliamid 6,6 (PA6,6) yaygın olarak kullanılan mühendislik polimerlerinden biri olduğunu ve çeşitli uygulamalar için kullanılmakta olduğunu söylemişlerdir. Dahası, PA6,6'nın tribolojik ve mekanik performansının, liflerin veya partiküllerin eklenmesiyle geliştirilebileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, güçlendirilmiş PA6,6 matris kompozitlerin özelliklerinin birçok faktörden etkileneceğini ifade etmişlerdir. Takviye ve matris malzemesi arasındaki ara yüzeysel yapışmanın bu faktörlerden biri olduğunu ve iyi nihai özellikler elde etmek için iyi bir ara yüzey yapışması olması gerektiğini açıklamışlardır. Çalışmalarında grafen nanoplatelet (GNP) ve 1,4-fenilen-bis-oksazolin (PBO) kullanılarak fiber-matris etkileşimini iyileştirerek karbon fiber takviyeli PA6,6 kompozitlerin tribolojik ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Yapıştırıcı aşınma testi, çekme testi, dinamik mekanik, diferansiyel taramalı kalorimetri ve taramalı elektron mikroskobu analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak, tüm test sonuçları, CF\_0.5GNP\_PBO kodlu kompozitlerin tüm kompozitler arasında gelişmiş tribolojik ve mekanik özellikler sergilediğini göstermiştir.

### 3. MALZEMELER VE YÖNTEM

#### 3.1. Malzemeler

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan malzemeler

Malzeme	Ticari Ad/ Üreten Firma	Özellikleri
Polyester	TP220 / Turkuaz Polyester	Tiksotropik olmayan, hızlandırıcı ihtiva etmeyen, düşük reaktif, düşük viskoziteli, ortoftalik esaslı bir doymamış polyester reçinedir. Genel amaçlı olarak kritik olmayan uygulamalar için tasarlanmıştır. El yatırması ve püskürtme uygulamaları için uygundur. Elyafı hızlı ıslatma özelliğine sahiptir.
Cam Fiber Kumaş	Camfiber kumaş 200gr/m <sup>2</sup> plain/Fibermak composites	Çok sağlam ince plakalar için uygundur. Hafifliğin ve dayanımın çok önemli olduğu kanat pervane vs uygulamalar için idealdir. Deniz Araçları, Havacılık Sektörü ve bir çok alanda kullanım için üretilmiş malzeme türüdür  Alansal ağırlık: 200 Gr/m <sup>2</sup> Dokuma stili: Plain
Karbon Fiber Kumaş	Karbonfiber kumaş 3k 200gr/m <sup>2</sup> plain / fibermak composites	Yüksek mekanik mukavemet  Düşük yoğunluk , 1,8 g/cm <sup>3</sup>  İyi ısı iletkenlik, 20 W/M*K (Standart modül için)  Yüksek germe-çekme dayanımı, Germe Modülü: 220-240 GPa Germe Dayanımı; 3450-4850 Mpa  Düşük lif çapı, 5-8 µm Elektriksel öz direnç, 1650 µΩ Kopma uzaması , % 1,6-2,2 Sınırsız raf ömrü  Korozyona karşı dayanım, inorganik, asit ve bazlardan etkilenmez.
Borik Asit	Borik Asit (H3BO3)/ETİMADEN İşletmeleri Genel Müdürlüğü	Özgül ağırlık : 1,51 g/cm <sup>3</sup> (20° C) Dökme (yığılm) yoğunluğu: 0,892 g/cm <sup>3</sup> (Granül) Molekül ağırlığı: 61,83 g/mol Erime noktası: 450° C Kaynama noktası: 1860° Isı kapasitesi: 24,7 J/g° C

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Levha Üretimi

Bu çalışmada kompozitler tek yön cam elyaf, tek yön karbon elyaf, çift yön cam elyaf ve çift yön karbon elyaf içeren levhalar şeklinde ve her biri kendi içerisinde ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 olarak borik asit takviyeli olarak hazırlanmıştır. Polyester reçine içerisine ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında borik asit karıştırılarak mikser yardımı ile homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Elde edilen borik asit takviyeli polyester reçine her fiber katına el yatırma yöntemi ile emdirilmiş ve sonuçta soğuk preste 5 MPa basınç altında 12 saat kürleşmeye bırakılmıştır. Şekil 3.1.'de üretim yöntemi görülmektedir.

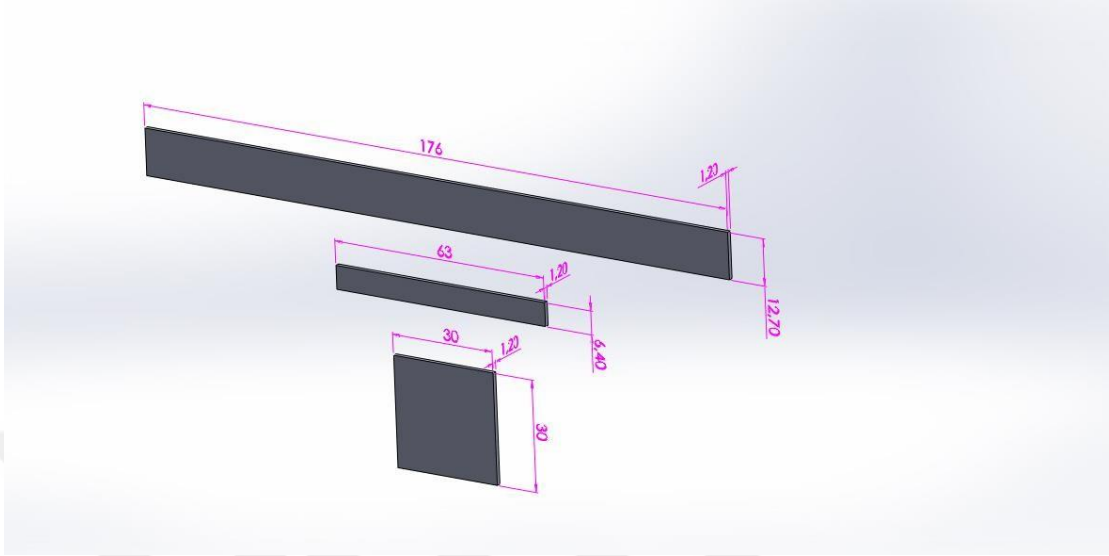


Şekil 3.1. Levha üretimi

### 3.2.2. Numunelerin hazırlanması

Deneysel çalışma için numuneler statik çekme testleri için 176 mm x 12.7 mm x 1.2 mm olarak ve aşınma testi için 30 mm x 30 mm x 1.2 mm olarak seçilmiştir. Şekil

3.2’de gösterildiği şekilde kesilen numuneler , takviye açısı 0° ve 90° olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Numune kesim ölçüleri

Deneysel çalışma için numuneler 6 farklı gruba ayrılmıştır. Her bir grup kendi içerisinde 4 ayrı alt gruba ayrılmıştır. 0° TYCF (sıfır derece tek yön cam fiber), 0° TYKF (sıfır derece tek yön karbon fiber), 90° TYCF (doksan derece tek yön cam fiber), 90° TYKF (doksan derece tek yön karbon fiber), ÇYCF (çift yön cam fiber), ÇYKB (çift yön karbon fiber) olarak 6 ana grup vardır. Her bir grup kendi içerisinde borik asit içeriğine bağlı olarak neutral , % 1 , %5 ve %10 olarak alt gruba ayrılmıştır.

Tablo 3.2. Üretilen numunelerin kodları ve ağırlıkça borik asit katkı oranları

Numune İsmi	Borik Asit İçeriği	Simgesel Gösterim
Sıfır derece tek yön cam fiber	Neutral	N-0-TYCF
	1%	1-0-TYCF
	5%	5-0-TYCF
	10%	10-0-TYCF
Doksan derece tek yön cam fiber	Neutral	N-90-TYCF
	1%	1-90-TYCF
	5%	5-90-TYCF
	10%	10-90-TYCF
Sıfır derece tek yön karbon fiber	Neutral	N-0-TYKF
	1%	1-0-TYKF
	5%	5-0-TYKF
	10%	10-0-TYKF
Doksan derece tek yön karbon fiber	Neutral	N-90-TYKF
	1%	1-90-TYKF
	5%	5-90-TYKF
	10%	10-90-TYKF



Tablo 3.2. (Devam) Üretilen numunelerin kodları ve ağırlıkça borik asit katkı oranları

Numune İsmi	Borik Asit İçeriği	Simgesel Gösterim
Çift yön cam fiber	Neutral	N-ÇYCF
	1%	1-ÇYCF
	5%	5-ÇYCF
	10%	10-ÇYCF
Çift yön karbon fiber	Neutral	N-ÇYKF
	1%	1-ÇYKF
	5%	5-ÇYKF
	10%	10-ÇYKF

Deneyde kullanılacak numuneler için üretilen 300 mm x 220 mm x 1.2 mm levhalardan 176 mm x 12.7 mm x 1.2 mm ve 30 mm x 30 mm x 1.2 mm olacak şekilde elektrikli testere ile kesilme işlemleri yapılmıştır.

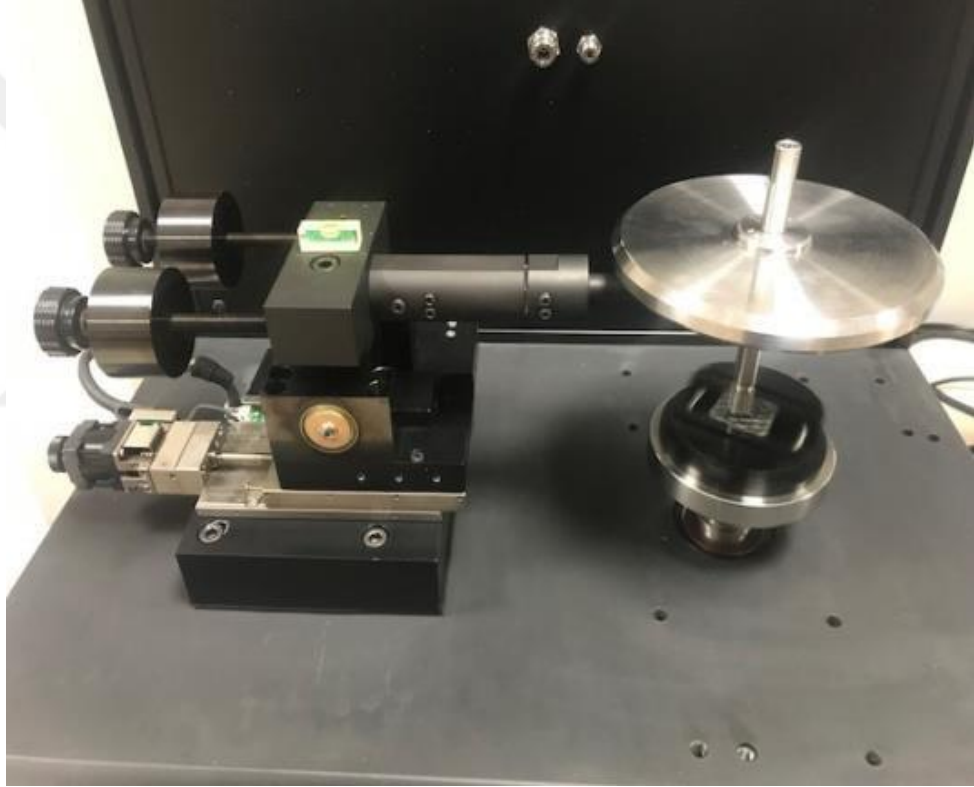


Şekil 3.3. Üretilen levhaların Scheppach marka elektrikli testere ile kesilmesi

### 3.2.3.Karakterizasyon

#### 3.2.3.1.Aşınma testi

Ağılıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit içeren tek yön ve çift yön cam elyaf ve karbon elyaf katkılı kompozit malzemelerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla aşınma testi uygulanmıştır. İlgili test Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı Konstrüksiyon Laboratuvarında bulunan 'Nanovea' marka 'pin-on-disc' tipinde tribometre cihazı kullanılarak yapılmıştır.

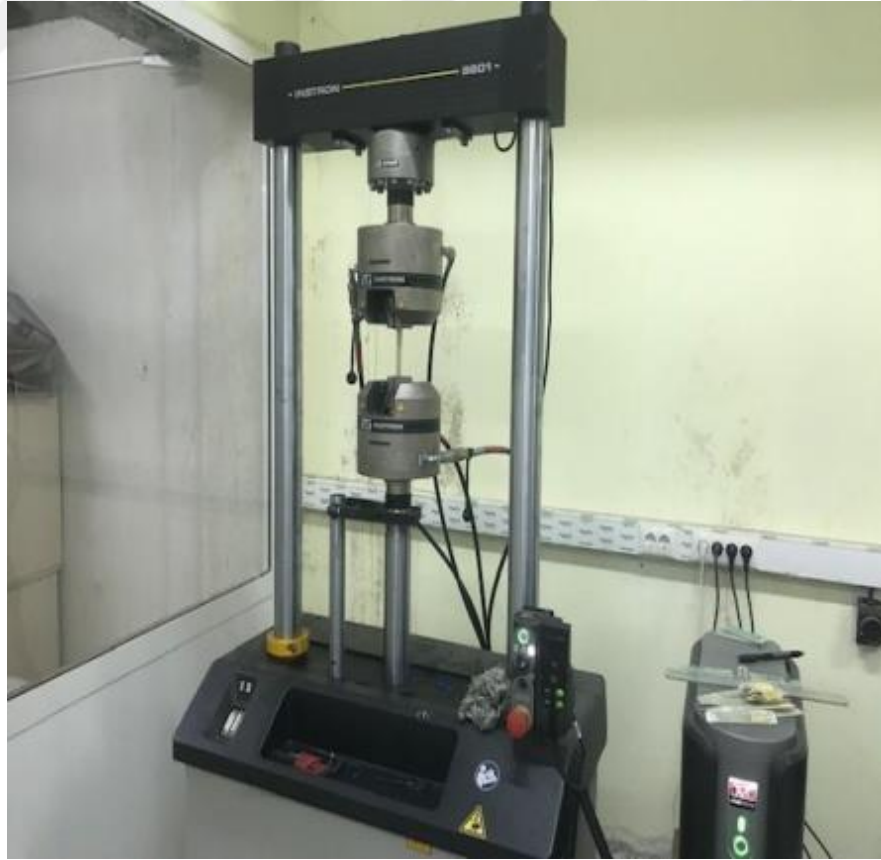


Şekil 3.4. Nanovea marka aşınma test cihazı

Test esnasında 3 mm yarıçapında AISI 52100 çelik metal bilya, yük koluna sabitlenmiştir. Numune sürtünme yarıçapı 5 mm olan dönen bir disk üzerine konulmuştur. Tüm aşınma testleri 150 RPM dönüş hızında, 20 N değerinde temas yükü altında ve kayma mesafesi 50 m olarak ayarlanarak uygulanmıştır. Test süresince numuneler üzerinde oluşan deformasyon gözlemlenerek kayıt edilmiştir. Aşınma testinin sonuçları bilgisayar tarafından otomatik olarak kaydedilerek, daha sonra hazırlanacak olan grafik ve tablolar bu verilere dayanarak oluşturulmuştur.

### 3.2.3.2. Statik Çekme Deneyinin Yapılışı

Numunelerin hazırlanması ve çekme deneyinin yapılması Dicle Üniversitesi Mekanik laboratuvarı ve Dicle Üniversitesi Merkez laboratuvarları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir hazırlanan numuneden 3 adet olacak şekilde testler yapılmıştır. Testler aşamasında şekil... görülen 100 kN kapasitesi olan, Instron BS 8801 servohidrolik çekme test cihazı kullanılmıştır. Testler ASTM standartlarına uygun olarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir (ASTM-D, 1982). Ortam neminin etkisi olmadığı varsayımıyla testler yapılmıştır. Çekme hızı 1 mm/dak olacak şekilde cihaz set edilmiştir. Test cihazının alt çenesi hareketli, üst çenesi sabittir. Numuneler cihaza konumlandırılırken alt çene ve üst çene arasında açılmal kayma olmamasına dikkat edilerek, her iki tarafa da uygulanan kuvvetin eşit dağılması sağlanmıştır. Test esnasında numunelerin hasara uğrama şekilleri gözlemlenerek, gerekli bilgi notları alınmıştır. İlgili test uygulandıktan sonra elde edilen hasar yükleri ve uzamalar bilgisayara otomatik olarak kaydedilmiş ve bu veriler kullanılarak grafik ve tablolar oluşturulmuştur.



Şekil 3.5. Instron marka çekme test cihazı

## **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Bu bölümde çalışma içerisinde yapılan testlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Tek yön sıfır derece cam fiber, tek yön doksan derece cam fiber, tek yön sıfır derece karbon fiber, tek yön doksan derece karbon fiber, çift yön cam fiber, çift yön karbon fiber kullanılarak ve ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit katkısıyla hazırlanan kompozit numunelerin ilk olarak aşınma test sonuçları ve daha sonrasında çekme test sonuçları sunulmuştur. Bulunan sonuçlar grafik ve tablolar yardımıyla ayrıntılı bir şekilde irdelenmiş ve tartışılmıştır.

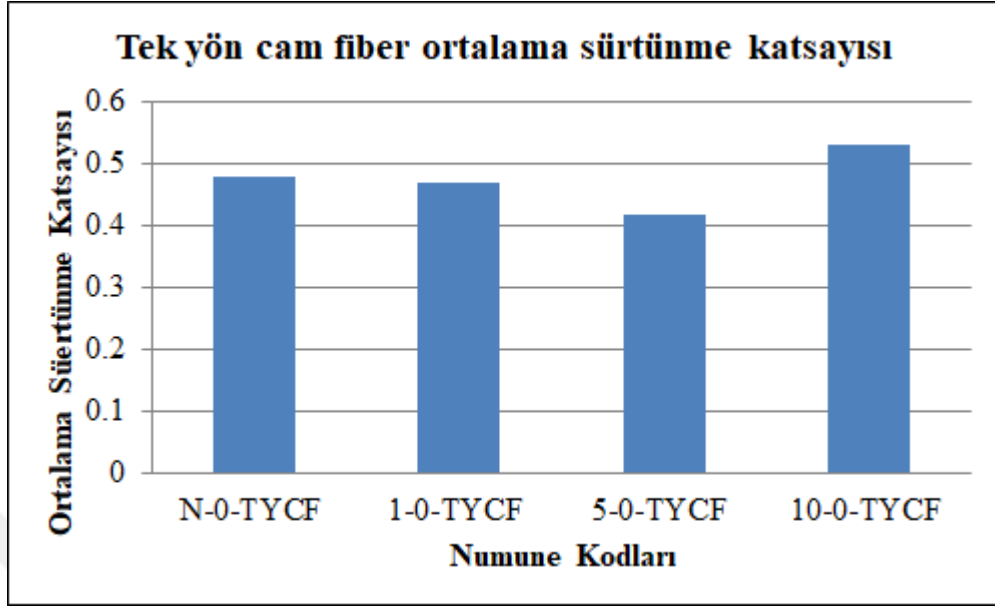
### **4.1.Aşınma Testi Sonuçları**

Adhezyon aşınması, birbiri ile temas halinde olan yüzeylerin, normal kuvvet etkisi altında görülebilen aşınma olarak tanımlanmıştır. Temas halinde olan yüzeylerin gerçekte yüzey alanlarının çok küçük olması nedeniyle, kuvvet sabit olsa dahi, uygulanan basınç değeri oldukça yüksek olmaktadır. Bu durumda olan yüzeyler plastik deformasyona uğramaktadır. Bu aşınma esnasında polimerik film bir yüzeyden diğerine transfer olmaktadır. Bu transfer esnasında moleküller arası etkileşimlerle bağ kırılması, bağ oluşumu ve büyümesi gibi mekanizmalar ortaya çıkmaktadır. Temas eden yüzeylerin izafi hareketler sonucunda bahsi geçen bağların kopmasıyla yumuşak olan malzemeden üretilen cismin yüzeyinde boşluklar oluşarak, iki yüzey arasından parçacıklar dökülmeye başlar. Polimer transferi sırasında, transfer miktarının artışına bağlı olarak, aşınma hacminin ve sürtünme katsayısının arttığı, bunlara paralel olarak aşınma direncinin azaldığı görülmektedir. Kompozit malzemelerde matris malzemesine yapılabilecek çeşitli katkıların, yüzeyden yüzeye olan transfer miktarını azaltabileceği ve dolayısıyla aşınma direncini arttırabileceği değerlendirilmektedir (Brostow ve diğ., 2010; Dong ve Bell, 1999; Sinha ve Briscoe, 2009; Karsli ve diğ., 2016; Myshkin ve diğ., 2005).

#### **4.1.1.Tek yön cam fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi**

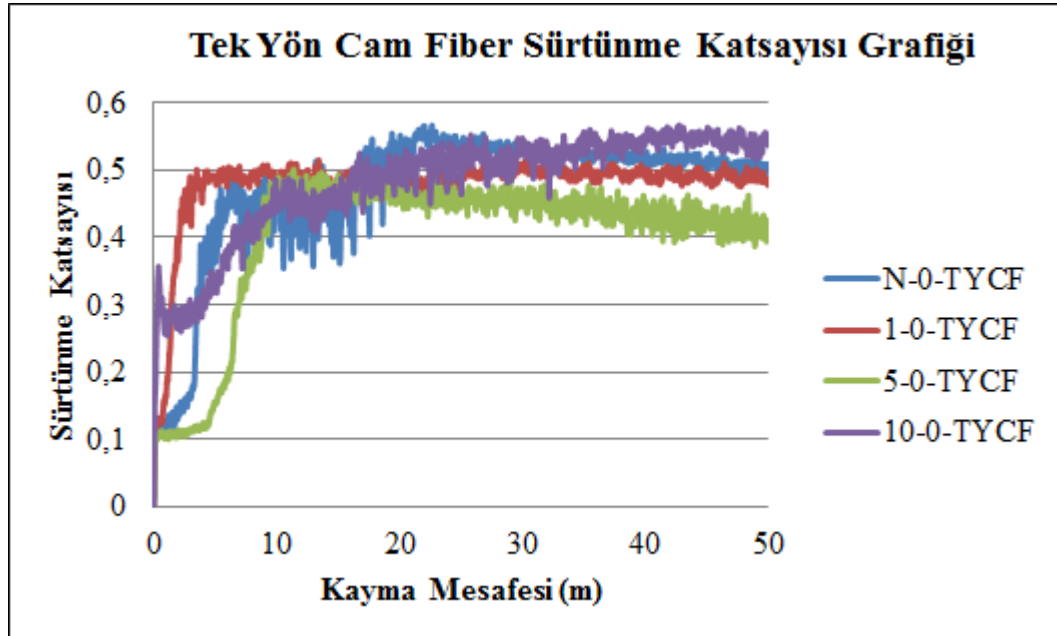
Ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit ilave edilmiş polimer kompozit malzemenin aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayılarını

gösterir grafik şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Tek yön cam fiber ortalama sürtünme katsayısı grafiği

Saf polyester polimer kompozit malzemeye çeşitli oranlarda katılmış borik asit ilavesinin sürtünme katsayısı kayma mesafesi parametrelerine bağlı olarak etkisini gösteren grafik şekil 4.2’de gösterilmiştir.

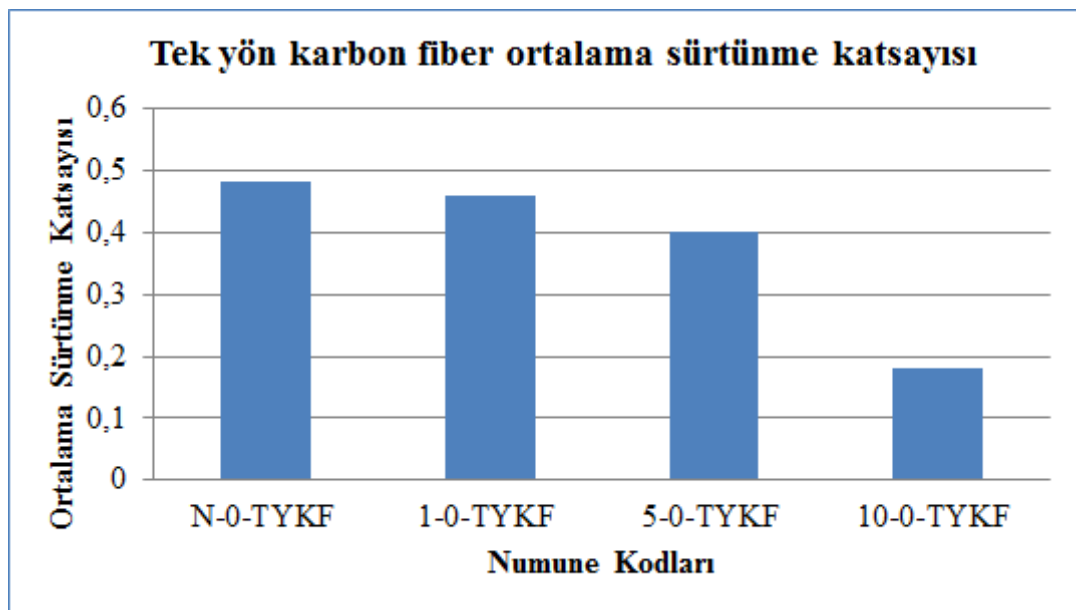


Şekil 4.2. Tek yön cam fiber sürtünme katsayısı grafiği

Literatürden de bilindiği gibi, borik asit katı yağlayıcı olarak kullanılabilir. Tribolojik temaslar (sürtünme ve aşınma) tipik olarak ince bir malzeme tabakasının katı yağlayıcı kaplamanın yüzeyinden karşı yüzeye, genellikle bir transfer filmi veya tribofilm olarak bilinen transferle sonuçlanmaktadır. Matris malzeme ve katı yağlayıcının oluşturduğu iyi bir transfer film, sürtünme katsayısını düşürerek aşınma direncini arttırmaktadır. Borik asitin de tabakaları arasında birbirine göre iyi kayabilme özelliği sayesinde yağlayıcı etkiye sahiptir. Bu etki dolayısıyla, aşınma prosesi süresince polimer kompozit malzemenin sürtünme katsayısında azalma olmasını sağlamaktadır. Bu değerlendirmeler ışığında, şekil 4.1. ve şekil 4.2. incelediğinde borik asit oranı arttıkça tek yön cam fiber kompozit malzemenin aşınma direncinin arttığı görülmektedir (Burroughs ve diğ., 1999; Scharf ve Prasad, 2013). %10 borik asit katkılı polimer kompozitin sürtünme katsayısının diğer katkılı kompozit malzemelere göre yüksek çıkmasının sebebi borik asitin bu kompozit numunede topraklanma yapmış olması olabilir (Yang ve diğ., 2013; Pedrazzoli ve diğ., 2014; Yang ve diğ., 2011).

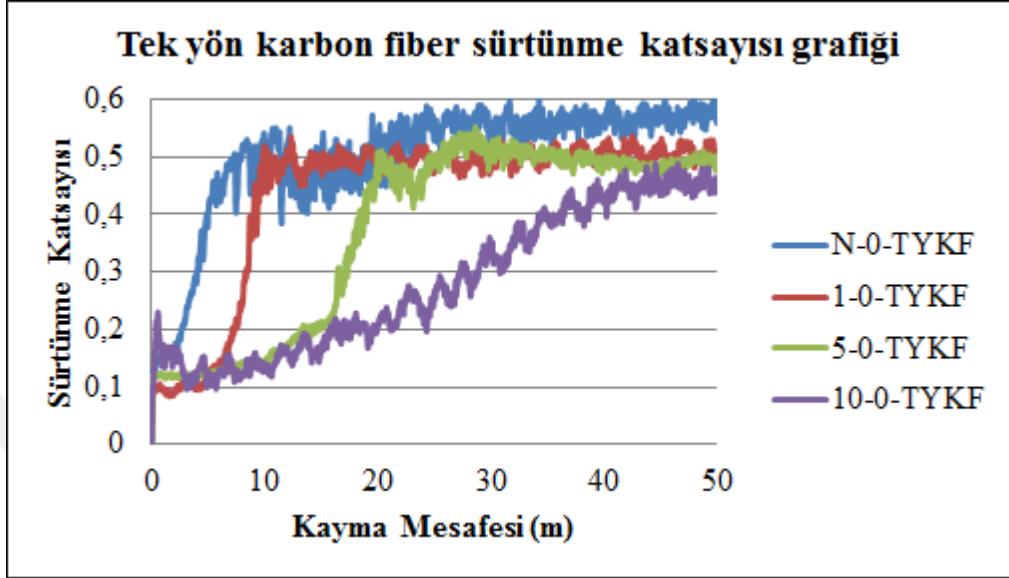
#### 4.1.2. Tek yön karbon fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi

Ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit ilave edilmiş polimer kompozit malzemenin aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları grafik olarak şekil 4.3'te belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Tek yön karbon fiber ortalama sürtünme katsayısı

Hazırlanan polimer kompozit malzemeye çeşitli oranlarda katılan borik asitin kayma mesafesine göre sürtünme katsayısına olan etkisi grafik olarak şekil 4.4'te gösterilmiştir.



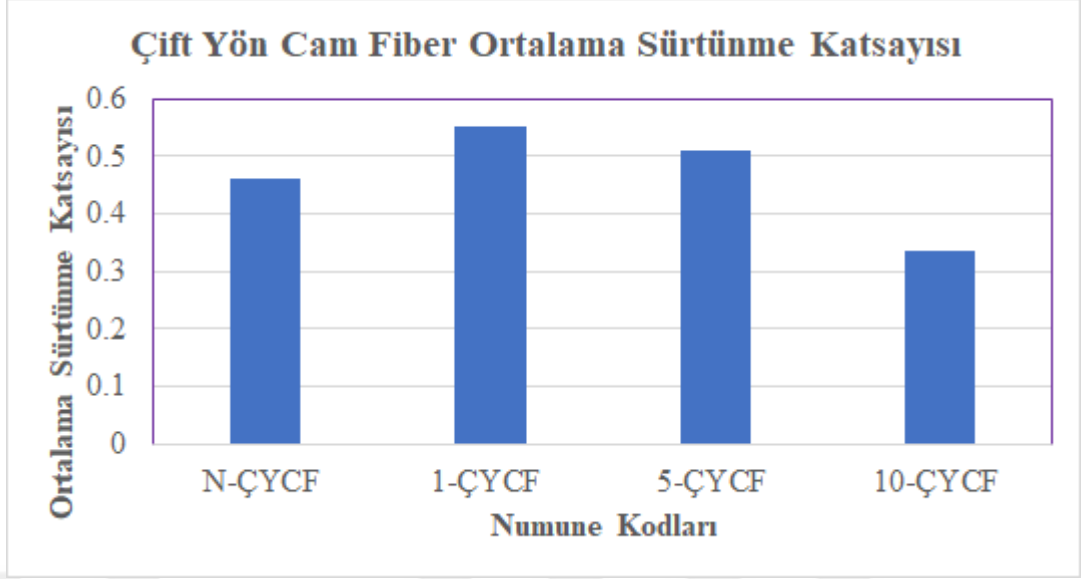
Şekil 4.4. Tek yön karbon fiber sürtünme katsayısı grafiği

Katı yağlayıcıların zayıf Van der Waals bağları sebebiyle iki boyutlu katmanları arasındaki bağlar, aşınma testi süresi boyunca katmanlar arası kolay kaymaya sebebiyet verir. Bu durumda borik asitin yağlama etkisinin ortaya çıkmasına ve dolayısıyla sürtünme katsayısını azaltmaya yol açmaktadır. Polimerlerin sürtünme katsayısı değerleri elyaf gibi daha sert takviyelerle doldurulduğunda azaltılabilir. Bu proses daha sert olan elyaf malzemenin aşınma testi boyunca, aşınma test cihazında olan aşındırıcı top ile polimer yüzey arasındaki temas alanını azaltması ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısını azaltmasıyla sonuçlanır. Şekil 4.3 ve şekil 4.4 incelendiğinde borik asit oranının artmasına bağlı olarak aşınma testi sonucunda, sürtünme katsayısı azalmış ve buna bağlı olarak aşınma direnci artmıştır.

#### 4.1.3. Çift yön cam fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi

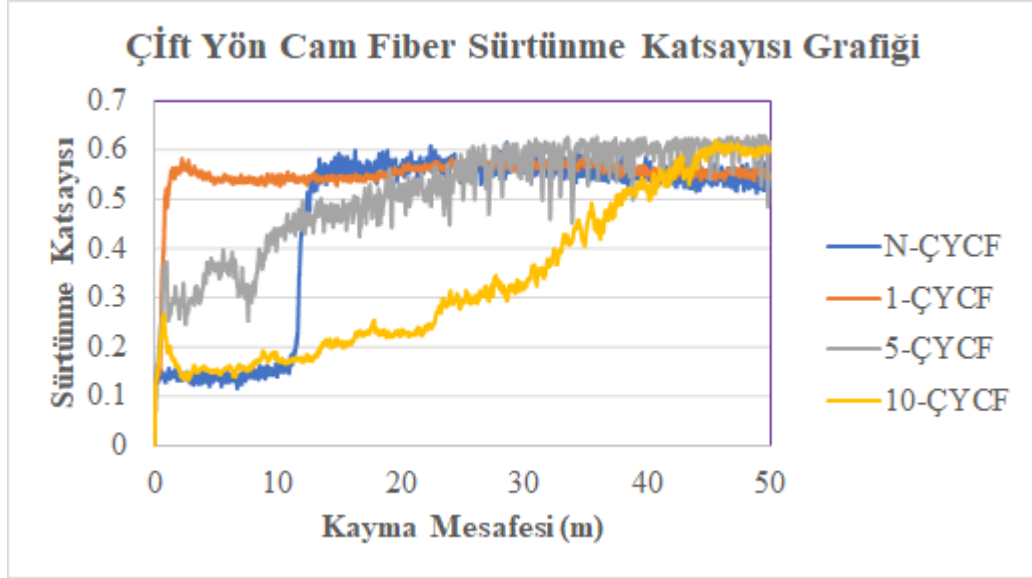
Çift yön cam fiber kompozit malzemeye ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit ilave edilmesinin uygulanan aşınma testi sonucuna olan etkisi, ortalama sürtünme katsayıları gösteren grafikte şekil 4.5'de görülebilir.





Şekil 4.5. Çift yön cam fiber ortalama sürtünme katsayısı

Çift yön cam fiber hibrit kompozit malzemeye borik asit ilave edilmesiyle kayma mesafesine göre sürtünme katsayısını gösteren grafik şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çift yön karbon fiber sürtünme katsayısı grafiği

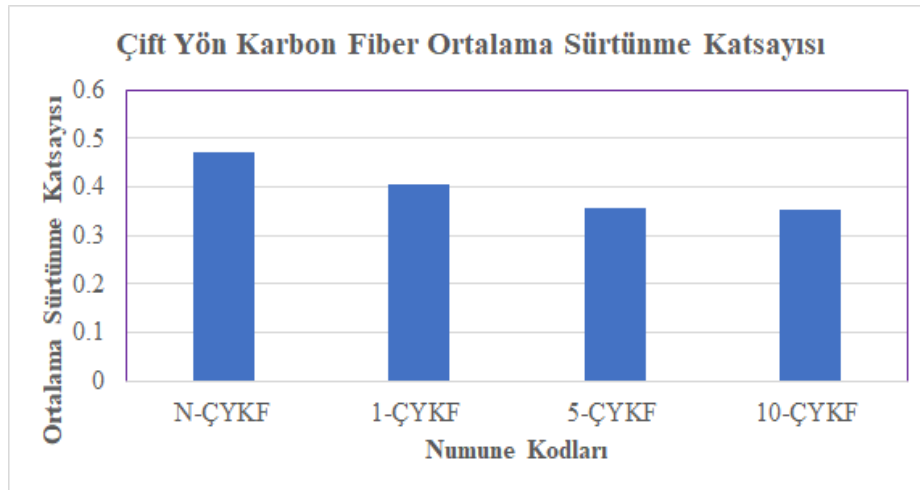
Polimerik malzemeler için katı yağlayıcı olarak borik asit kullanılabilir. Borik asit iyi bir transfer filmi oluşturarak aşınma direncini arttırarak, sürtünme katsayısını ve aşınma oranını azaltır. Bu özelliğine tabakaları arasında zayıf etkileşim ve bu etkileşim sonucunda, tabakaların birbirlerine göre kolay kayabilme yeteneği sayesinde sahiptir. Böylelikle borik asit takviye edildiği polimer kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarını düşürmektedir. Katı yağlayıcıların takviye edildikleri kompozit



malzemelerin sürtünme dirençlerinin arttırmasının en önemli parametrelerinden biri de matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlayabilmektir. Homojen bir şekilde dağılmanın sağlanabilmesi için takviye malzemesi ile matris malzemesinin ara yüzey etkileşimlerinin iyi olması gerekmektedir. Ara yüzey etkileşiminin iyi olmasını sağlamanın yollarından birisi de takviye malzemesinin yüzeyine silanlama işlemi uygulanmasıdır. Ara yüzey etkileşimi yeteri kadar sağlanamadığı durumlarda aglomera olma durumu (topaklanma) söz konusu olabilir. Bu durumda takviye malzemesinin aşınma direncini negatif olarak etkileyebilmektedir (Li ve diğ., 2013; Scharf ve Prasad, 2013; Burroughs ve diğ., 1999). Bu tez çalışmasında takviye malzemesi olarak kullanılan borik asite silanlama işlemi uygulanmamıştır. Bu bilgiler ışığında şekil 4.5 ve şekil 4.6 incelendiğinde %1 ve %5 borik asit katkılı hibrit kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değerleri neutral numunelere göre artmış (topaklanma durumu söz konusu olabilir), %10 borik asit katkılı hibrit kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değerleri ise azalmıştır.

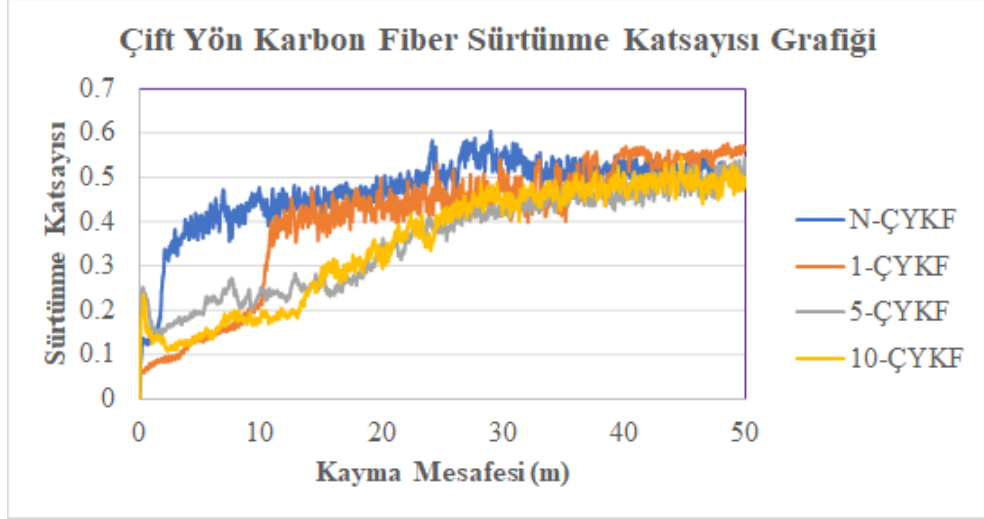
#### 4.1.4. Çift yön karbon fiber kompozit malzemeye borik asit ilavesinin etkisi

Ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit ilave edilmiş çift yön karbon fiber polimer kompozit malzemenin aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları grafik olarak şekil 4.7’de belirtilmiştir.



Şekil 4.7. Çift yön karbon fiber ortalama sürtünme katsayısı grafiği

Çift yön karbon fiberli hibrit kompozit malzemeye ilave edilen borik asitin kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayılarını gösteren grafik şekil 4.8’de gösterilmiştir.

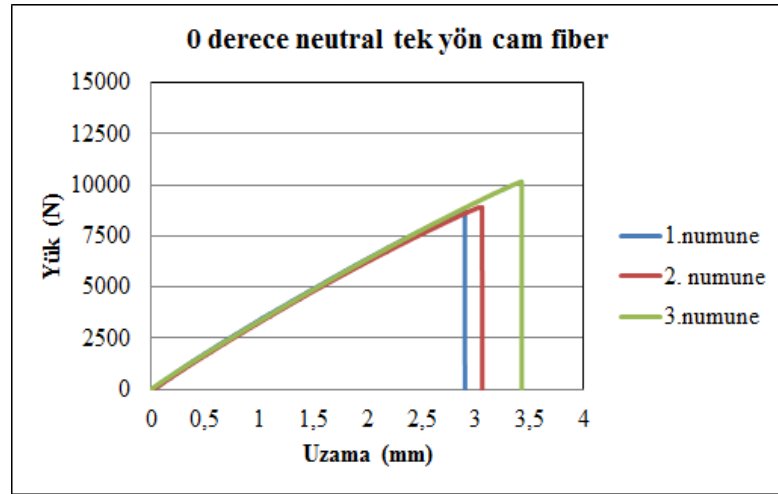


Şekil 4.8. Çift yön karbon fiber sürtünme katsayısı grafiği

Şekil 4.7 ve şekil 4.8’de görüldüğü gibi borik asit oranının artışına bağlı olarak ortalama sürtünme katsayısı değerleri, çift yön karbon fiber numuneleri için azalmıştır.

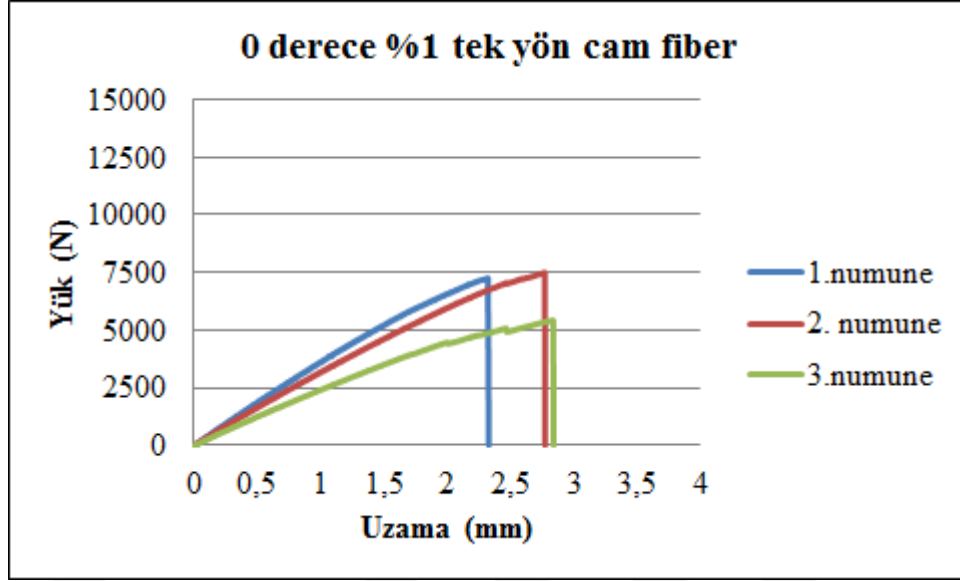
## 4.2. Çekme Testi Sonuçları

### 4.2.1. Tek yön cam fiber statik çekme deney sonuçları



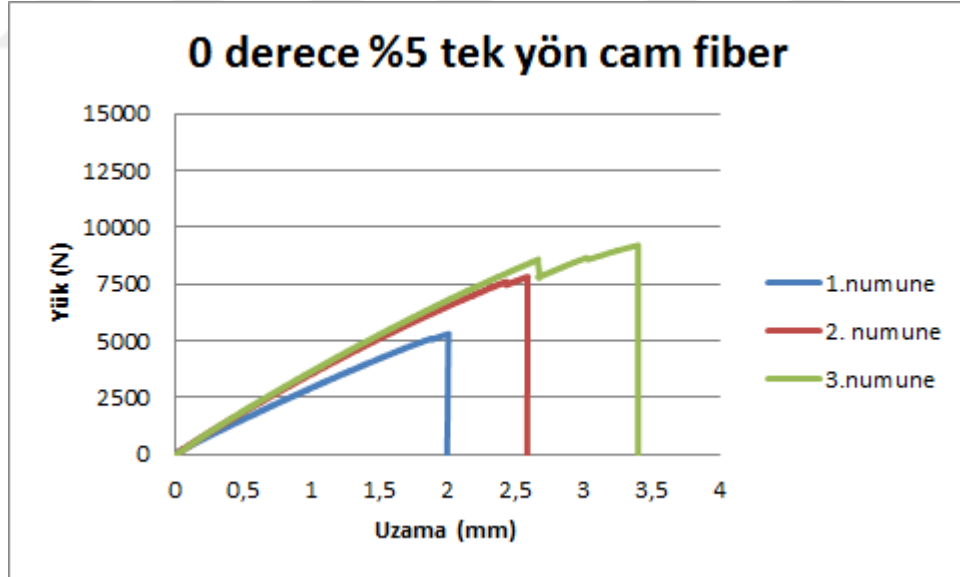
Şekil 4.9.  $[0^\circ]_4$  neutral tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

0 derece neutral tek yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmaktadır. Anlık kırılmayla hasar oluştuğu görülmektedir.



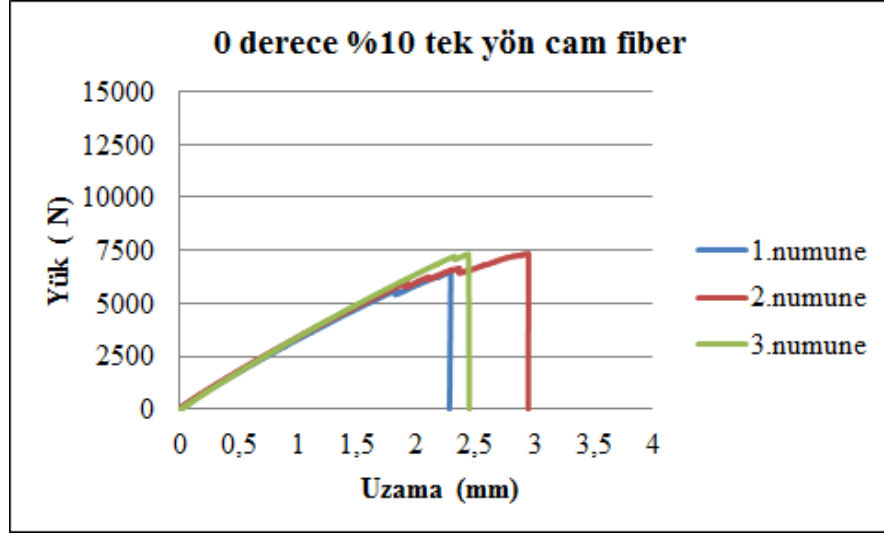
Şekil 4.10. [0°]<sub>4</sub> %1 tek yön cam fiber yük (N) , uzama (mm) eğrisi

0 derece %1 tek yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmaktadır. Anlık kırılmayla hasar olduğu görülmektedir. Neutral tek yön cam fibere göre hasar yükü azalmıştır. Uzama da ise önemli değişim olmamıştır.



Şekil 4.11. [0°]<sub>4</sub> %5 tek yön cam fiber yük (N) , uzama (mm) eğrisi

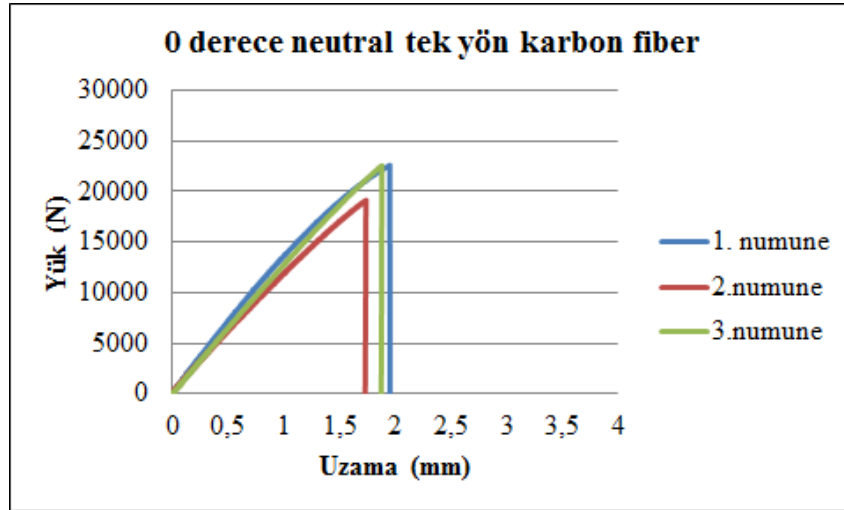
0 derece %5 tek yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmaktadır. Anlık kırılmayla hasar olduğu görülmektedir. %1 tek yön cam fibere göre hasar yükü yaklaşık aynı kalmıştır. Uzama da ise ortalama olarak önemli değişim olmamıştır.



Şekil 4.12.  $[0^\circ]_4$  %10 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

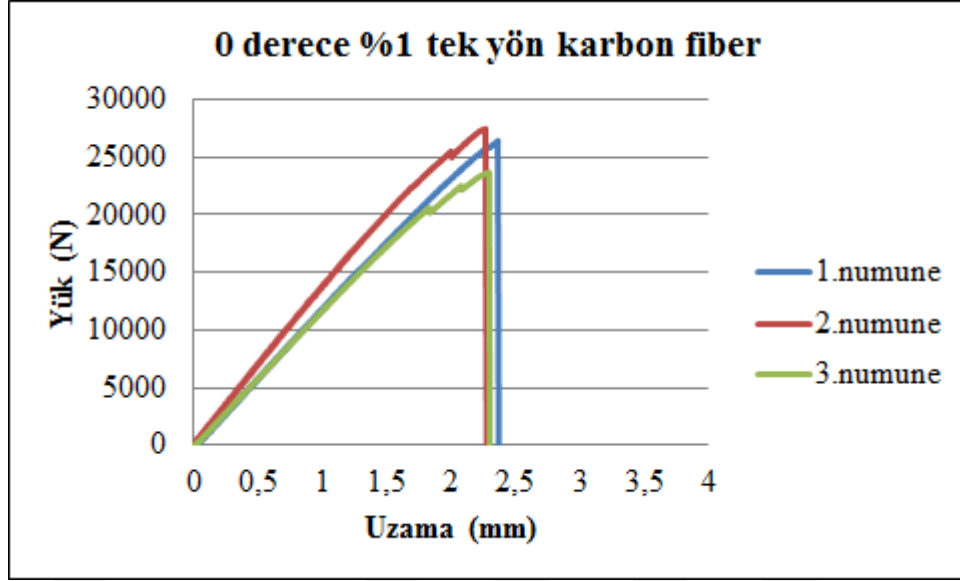
0 derece %10 tek yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmaktadır. Anlık kırılmayla hasar olduğu görülmektedir. %5 tek yön cam fibere göre hasar yükü aynı kalmıştır. Uzama da ise ortalama olarak önemli değişim olmamıştır.

#### 4.2.2. Tek yön karbon fiber statik çekme deney sonuçları



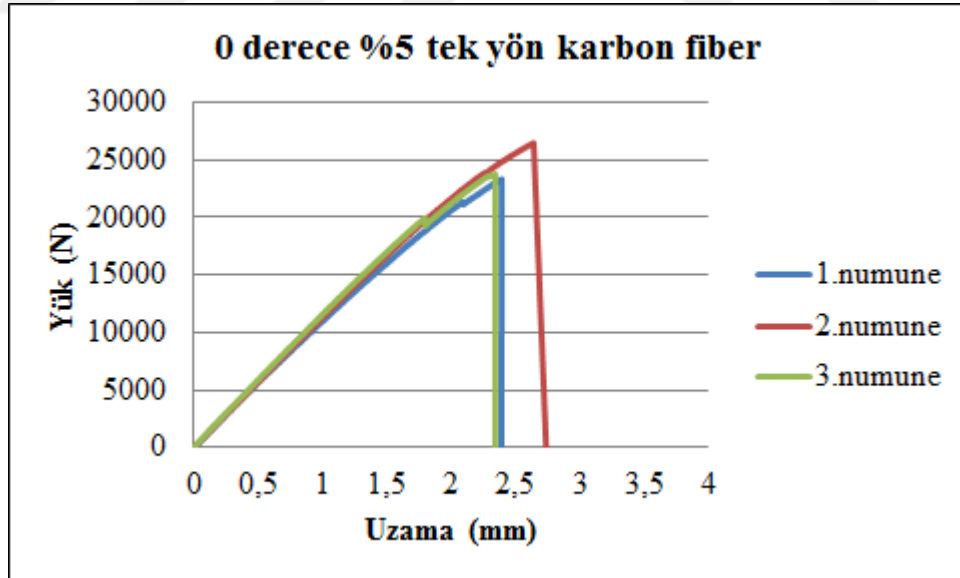
Şekil 4.13.  $[0^\circ]_4$  neutral tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

0 derece neutral tek yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmaktadır. Hasar anlık kırılma olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 4.14. [0°]<sub>4</sub> %1 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

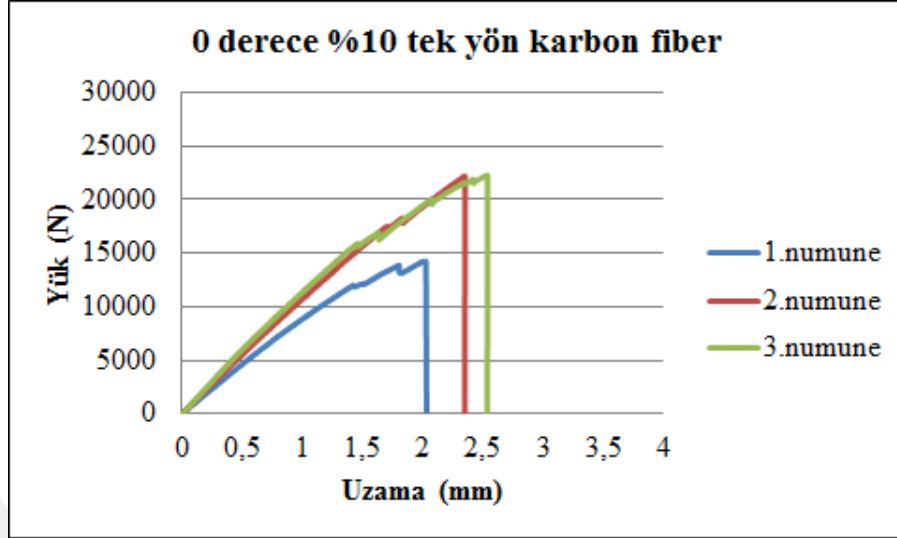
0 derece %1 tek yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artış göstermektedir. Anlık kırılma şeklinde hasar oluştuğu gözükmemektedir. 0 derece neutral tek yön karbon fiber numunelerine göre hasar yükü artmıştır. Uzama miktarında artış meydana gelmiştir.



Şekil 4.15. [0°]<sub>4</sub> %5 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

0 derece %5 tek yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artış göstermektedir. Anlık kırılma şeklinde hasar oluştuğu görülmektedir. 0 derece neutral karbon fiber numunelerine göre hasar yükü ve uzama değerleri artmış ancak 0 derece

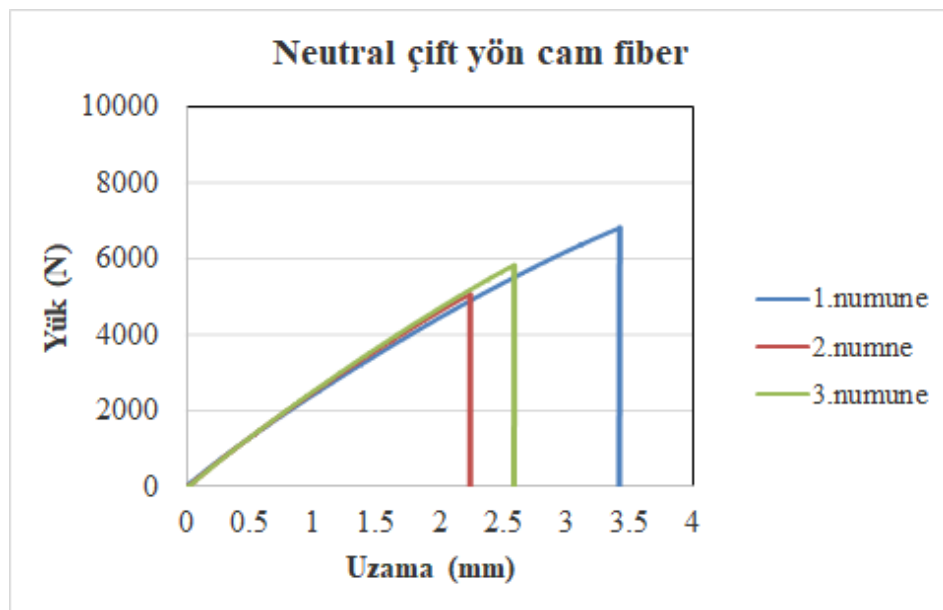
%1 karbon fiber numunelerine göre hasar yükü azalmış, uzaması ise yaklaşık olarak aynı kalmıştır.



Şekil 4.16. [0°]4 %10 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

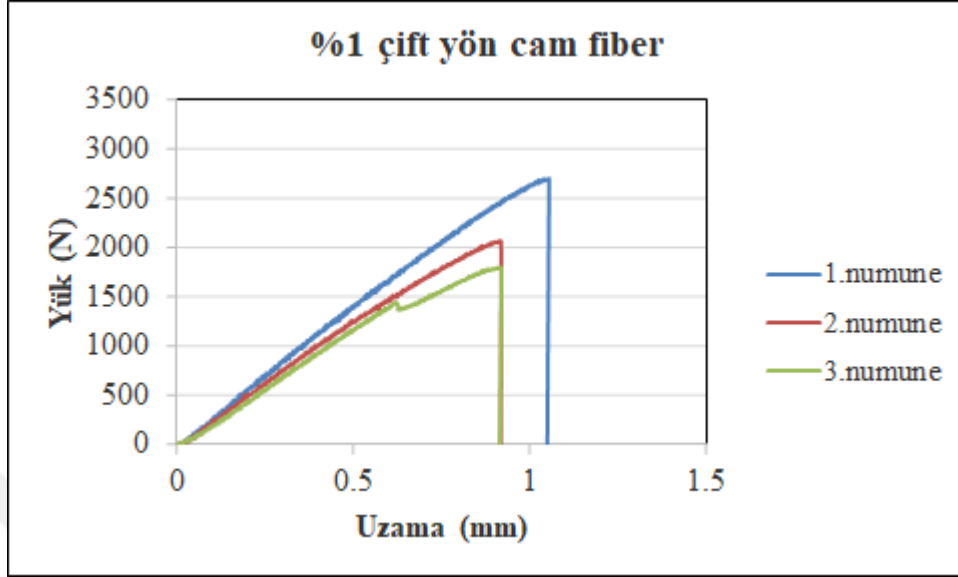
0 derece %10 tek yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrilerinin lineer olarak arttığı görülmektedir. Hasar anlık kırılma şeklinde oluşmuştur. 0 derece neutral tek yön karbon fiber numunelerine kıyasla hasar yükü yaklaşık olarak aynı kalmış, uzama değeri artmıştır. %1 ve %5 katkılı hibrit kompozit numunelere göre hasar yükü değeri azalmış, uzaması ise ortalama olarak değişmemiştir.

#### 4.2.3. Çift yön cam fiber statik çekme deney sonuçları



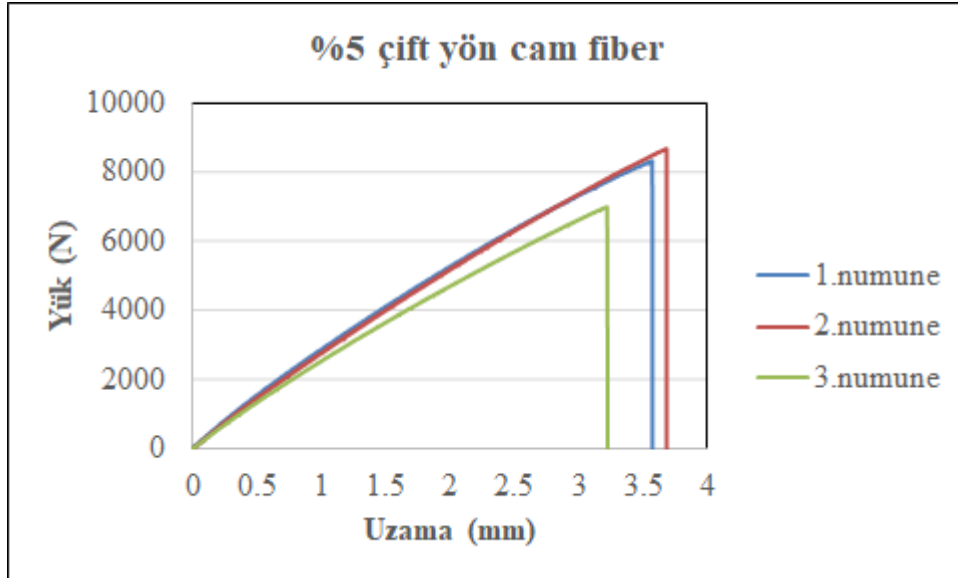
Şekil 4.17. Neutral çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

Neutral çift yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmaktadır. Hasarın anlık kırılmayla oluştuğu görülmektedir.



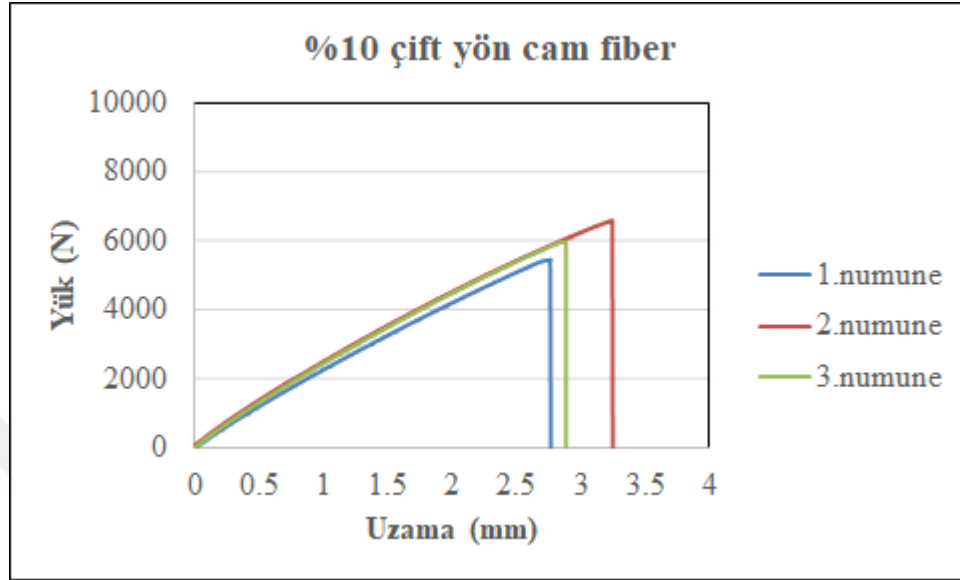
Şekil 4.18. %1 çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

%1 çift yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri, anlık kırılma gerçekleşene kadar doğrusal olarak artmaktadır. Neutral numunelere göre hasar yükü ve uzama değerleri azalmıştır.



Şekil 4.19. %5 çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

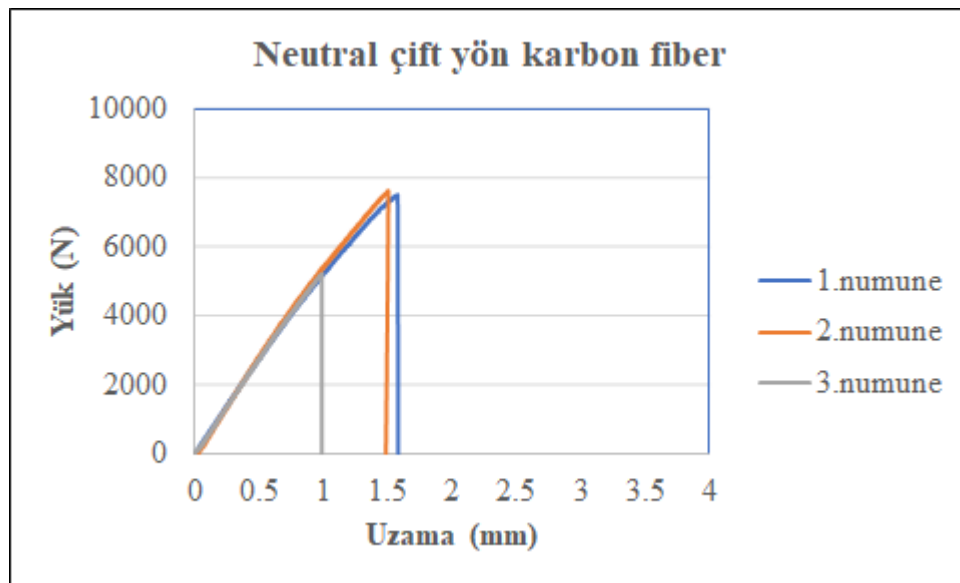
%5 çift yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmıştır. Anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur. Neutral ve %1 çift yön cam fiber numunelerine göre hasar yükü ve uzama değerleri artmıştır.



Şekil 4.20. %10 çift yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

%10 çift yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artarak, anlık kırılmayla hasar oluşmuştur. Neutral numunelere göre yaklaşık olarak hasar yükü aynı kalmış, %1 numunelere göre artmış ve %5 numunelere göre ise azalmıştır.

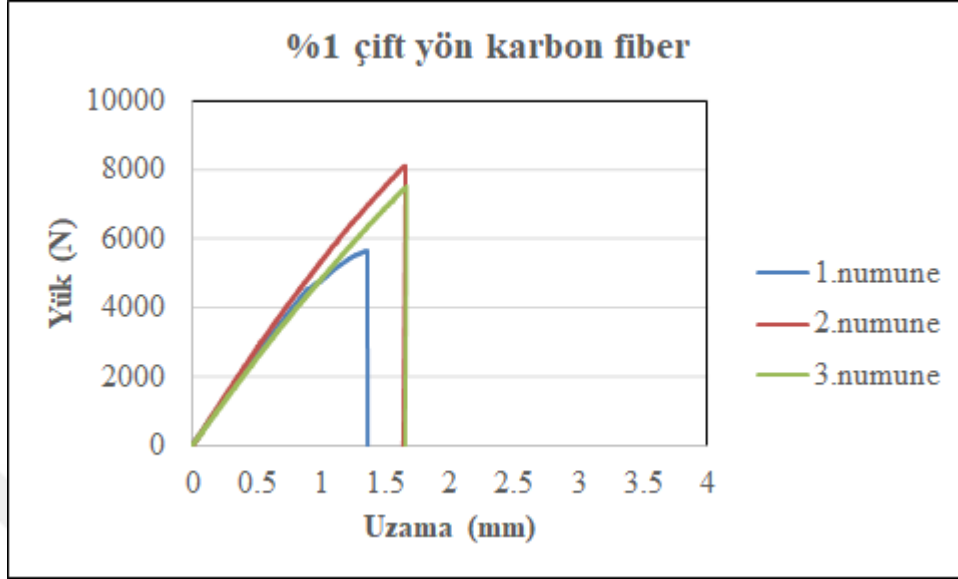
#### 4.2.4. Çift yön karbon fiber statik çekme deney sonuçları



Şekil 4.21. Neutral çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

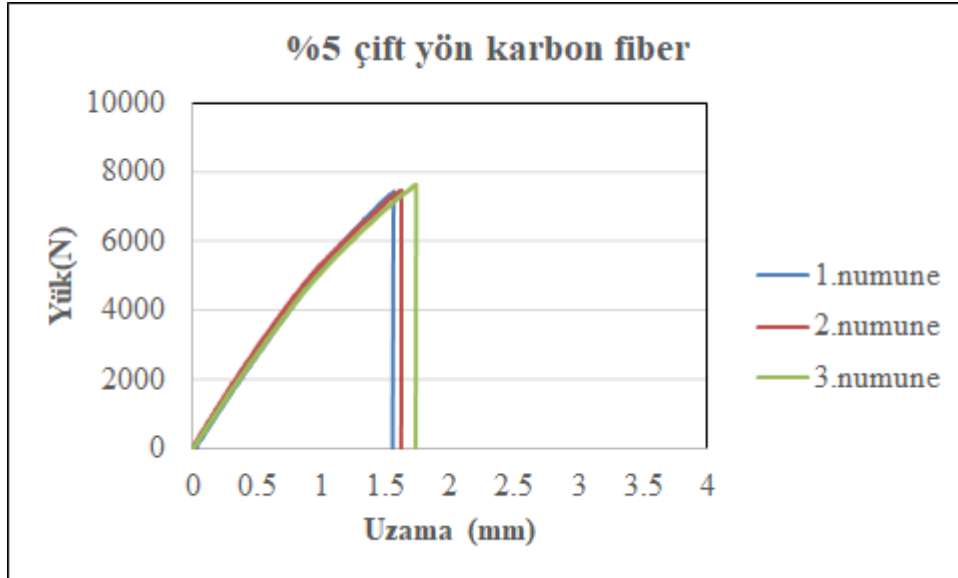


Neutral çift yön karbon fiber numunelerinde hasar yükü ve uzama değerlerini gösteren grafik eğrileri doğrusal olarak artarak, anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur.



Şekil 4.22. %1 çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

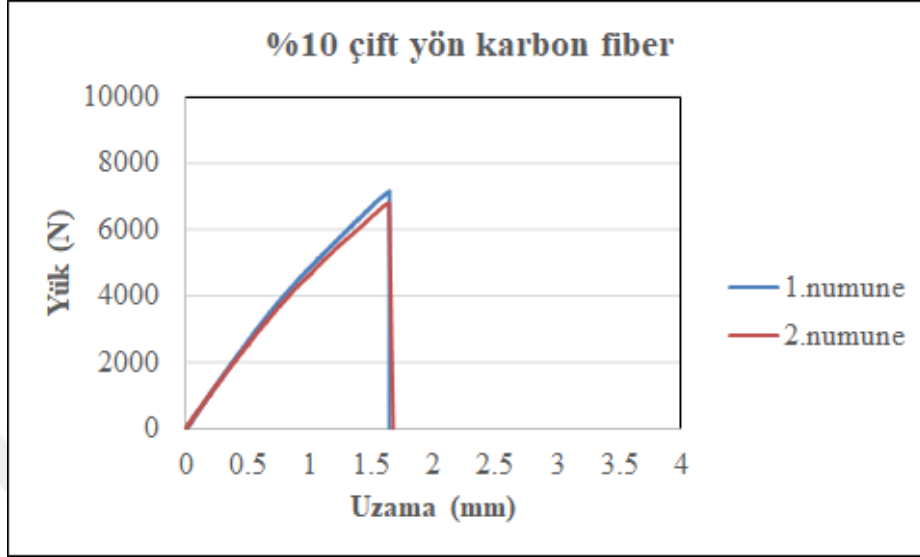
%1 çift yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri lineer olarak artmaktadır. Hasar anlık kırılma şeklinde oluşmuştur. Neutral çift yön karbon fiber numunelerine göre hasar yükü ve uzama değerleri yaklaşık olarak aynı kalmıştır.



Şekil 4.23. %5 çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

%5 çift yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri lineer olarak artmaktadır ve anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur. Neutral çift yön karbon fiber numunelerine

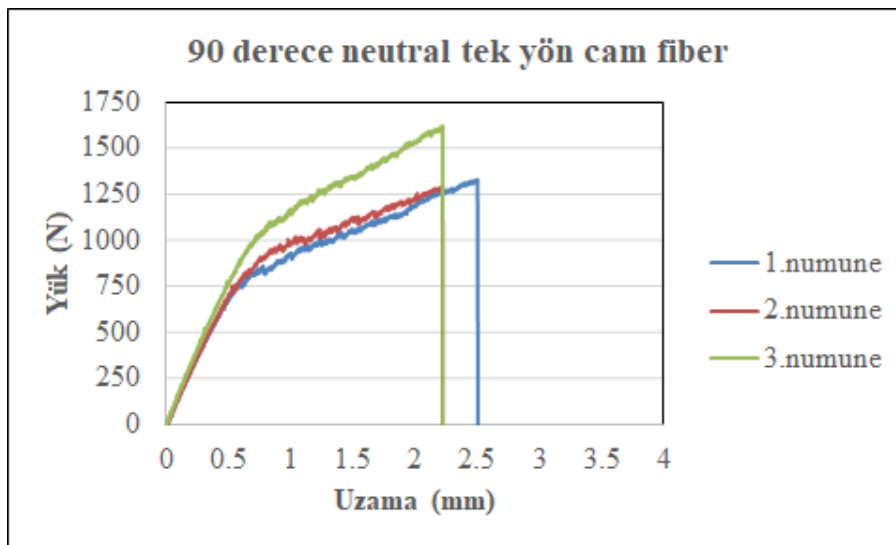
göre hasar yükü artmış, uzama ise yaklaşık olarak aynı kalmıştır. %1 çift yön karbon fiber numunelerine göre ise hasar yükü ve uzama değerleri yaklaşık olarak aynı kalmıştır.



Şekil 4.24. % 10 çift yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

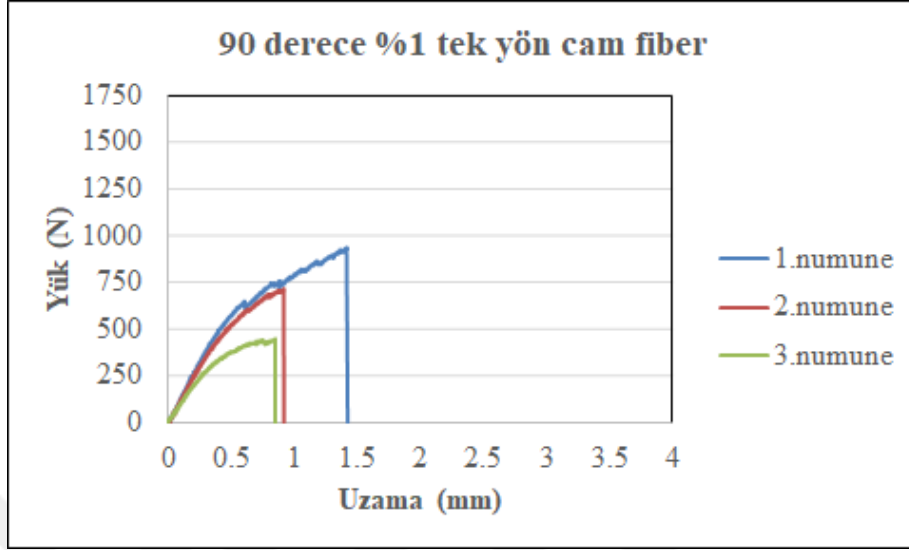
% 10 çift yön karbon fiber numunelerinde (bu deney 3. Numunenin zarar görmesinden dolayı 2 numune olarak gerçekleştirilmiştir) hasar yükü, uzama değerlerini gösteren grafik eğrileri doğrusal olarak artarak, anlık kırılma şeklinde hasar oluştuğu gözlemlenmiştir. %1 ve %5 çift karbon fiber numunelerine göre hasar yükü azalmış, uzama ise yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

#### 4.2.5. 90 derece tek yön cam fiber statik çekme deney sonuçları



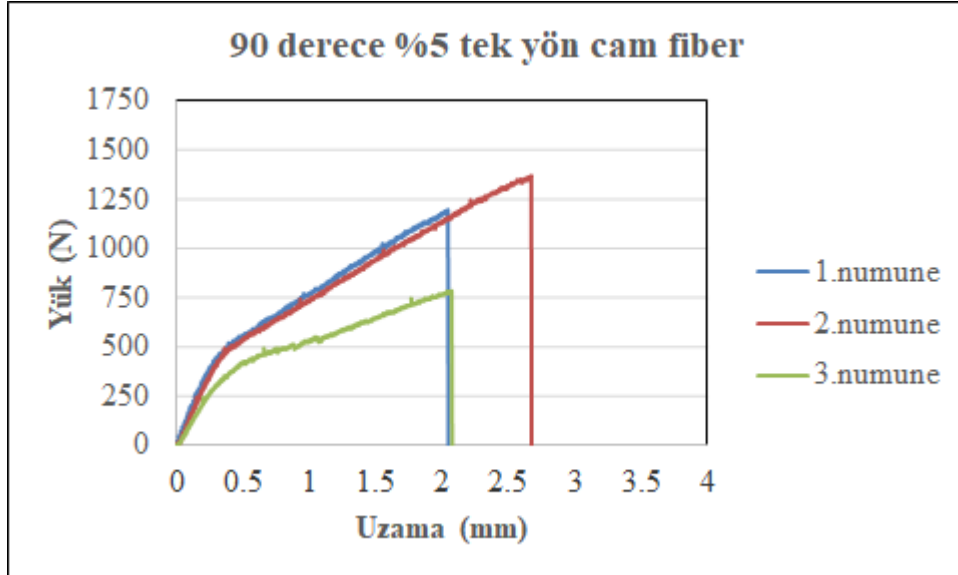
Şekil 4.25.  $[90^\circ]_4$  neutral tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

90 derece neutral tek yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri yaklaşık 800 N değerine kadar doğrusal olarak artmaktadır. Anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur.



Şekil 4.26.  $[90^{\circ}]_4$  %1 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

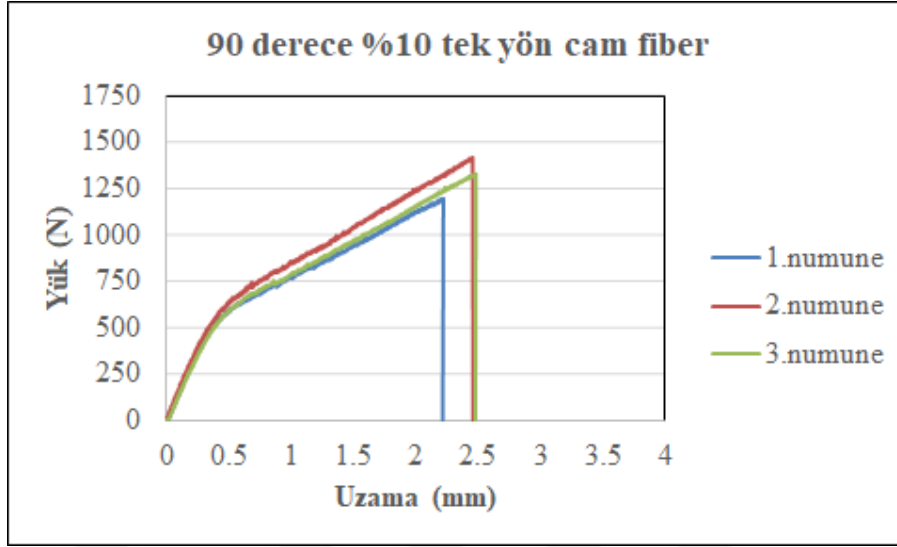
90 derece %1 tek yön cam fiber numunelerinde hasar yükü lineer olarak artarak, anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur. 90 derece neutral tek yön cam fiber numunelerine göre hasar yükü ve uzama değeri azalmıştır.



Şekil 4.27.  $[90^{\circ}]_4$  %5 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

90 derece %5 tek yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri yaklaşık 500 N değerine kadar lineer olarak artmakta olup, anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur. Neutral numunelere göre hasar yükü azalmış, uzama yaklaşık olarak aynı kalmıştır. %1

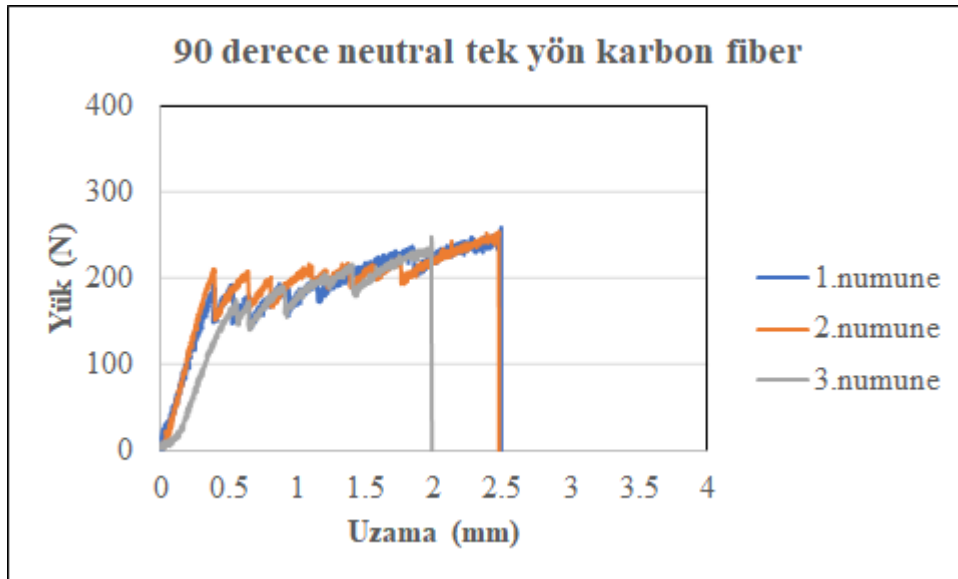
numunelere göre hasar yükü ve uzama değeri artmıştır.



Şekil 4.28.  $[90^\circ]_4$  %10 tek yön cam fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

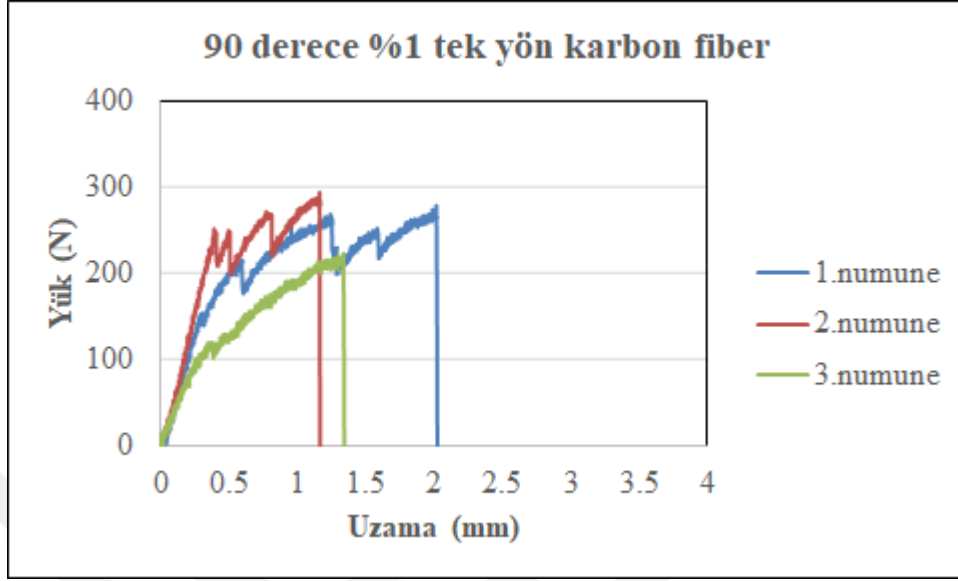
90 derece %10 tek yön cam fiber numunelerinde grafik eğrileri yaklaşık 600 N değerine kadar lineer olarak artmaktadır. Anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur. Neutral numunelere hasar yükü azalmış, %1 ve %5 numunelere göre hasar yükü artmıştır. %1 numunelere göre uzama değeri artmış, neutral ve %5 tek yön cam fiber numunelere göre uzama değeri yaklaşık aynı kalmıştır.

#### 4.2.6. 90 derece tek yön karbon fiber statik çekme deney sonuçları



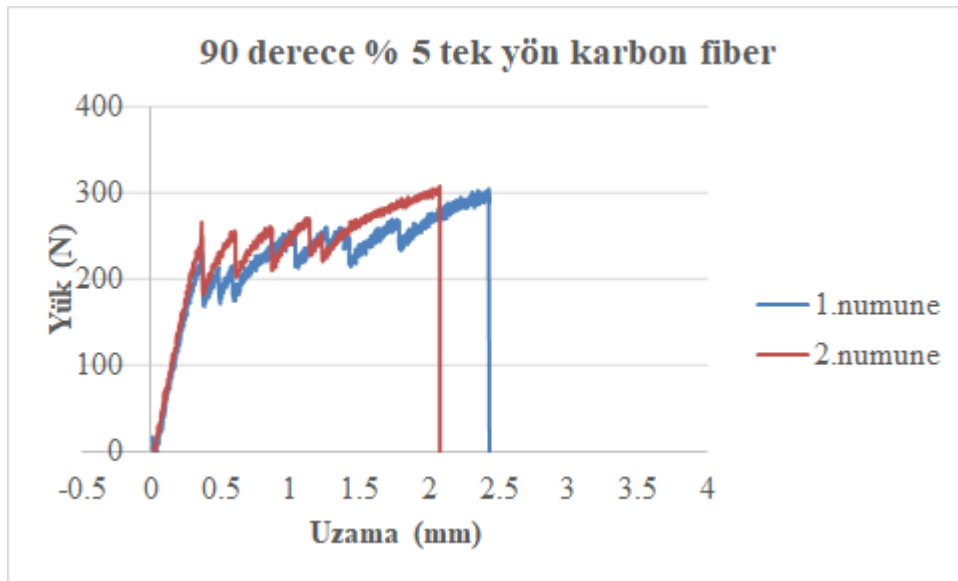
Şekil 4.29.  $[90^\circ]_4$  neutral tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

90 derece neutral tek yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri yaklaşık 180 N değerine kadar lineer olarak artmıştır. Hasar anlık kırılma şeklinde meydana gelmiştir.



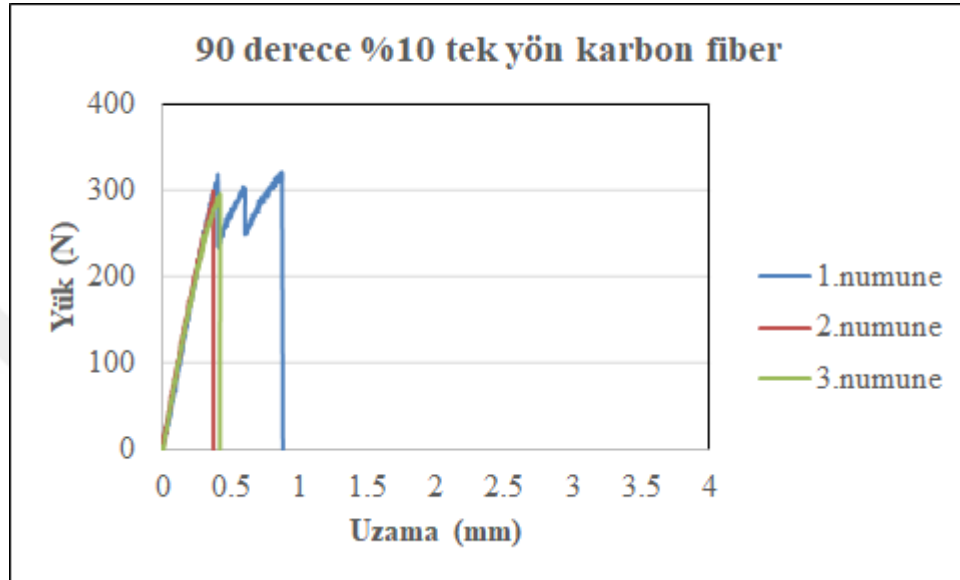
Şekil 4.30.  $[90^\circ]_4$  %1 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

90 derece %1 tek yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri yaklaşık 200 N değerine kadar doğrusal olarak artarak, anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur. 90 derece neutral tek yön karbon fiber numunelerine göre hasar yükü artmış, uzama değeri ise azalmıştır.



Şekil 4.31.  $[90^\circ]_4$  %5 tek yön karbon fiber yük (N), uzama (mm) eğrisi

90 derece %5 tek yön karbon fiber numunelerinde hasar yükü, uzama değerlerini gösteren grafik eğrileri yaklaşık 220 N değerine kadar doğrusal olarak artmış, anlık kırılma şeklinde hasar oluşmuştur. 90 derece neutral tek yön karbon fiber numunelere göre hasar yükü artmış, uzama değerleri yaklaşık aynı kalmıştır. 90 derece %1 tek yön karbon fiber numunelere göre ise hasar yükü ve uzama değeri artmıştır.



Şekil 4.32.  $[90^\circ]_4$  %10 tek yön karbon fiber yük (N) , uzama (mm) eğrisi

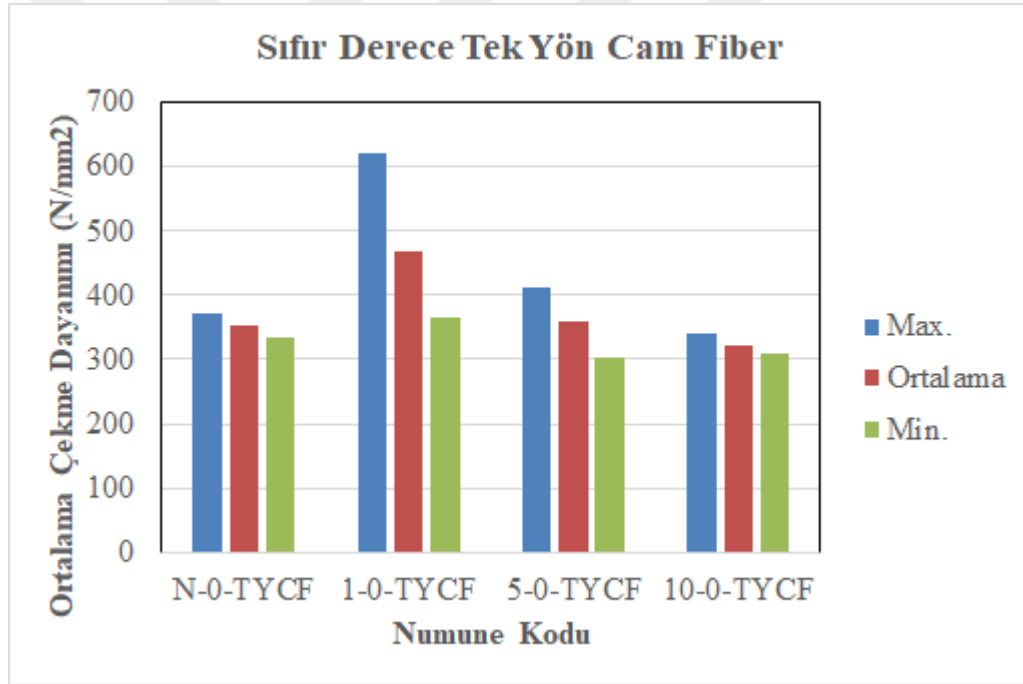
90 derece %10 tek yön karbon fiber numunelerinde grafik eğrileri 300 N değerine kadar doğrusal olarak artmakta ve anlık kırılma şeklinde hasar oluşmaktadır. 90 derece Neutral ve %1 tek yön karbon fiber numunelerine göre hasar yükü artmış, uzama değeri azalmıştır. 90 derece %5 numunelere göre hasar yükü yaklaşık aynı kalmış, uzama değeri ise azalmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Elde Edilen Sonuçların Çizelge ve Grafiklerle Açıklanması

#### 5.1.1. Sıfır derece tek yön cam fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları

Ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit katkılı polimer hibrit kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı değerlerini gösteren grafik şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1.  $[0^{\circ}]_4$  tek yön cam fiber ortalama çekme dayanımı

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi %1 ve %5 borik asit katkılı polimer hibrit kompozit malzemelerin ortalama çekme dayanım değerleri neutral malzemeye göre artmıştır.

%10 borik asit katkılı hibrit kompozit malzemenin ise ortalama çekme dayanım değeri neutral malzemeye göre azalmıştır.

Tablo 5.1.  $[0^{\circ}]_4$  tek yön cam fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı

Numune İsmi	Borik Asit İçeriği	Simgesel Gösterim	Ortalama Çekme Dayanım Değeri ( N/mm <sup>2</sup> )	Değişim Oranı (%)
	Neutral	N-0-TYCF	354	
	1%	1-0-TYCF	469	(+) 32,4
	5%	5-0-TYCF	360	(+) 1,69
	10%	10-0-TYCF	322,33	(-) 9,03

\*(+ değişim oranının pozitif, -negatif olduğunu göstermektedir)

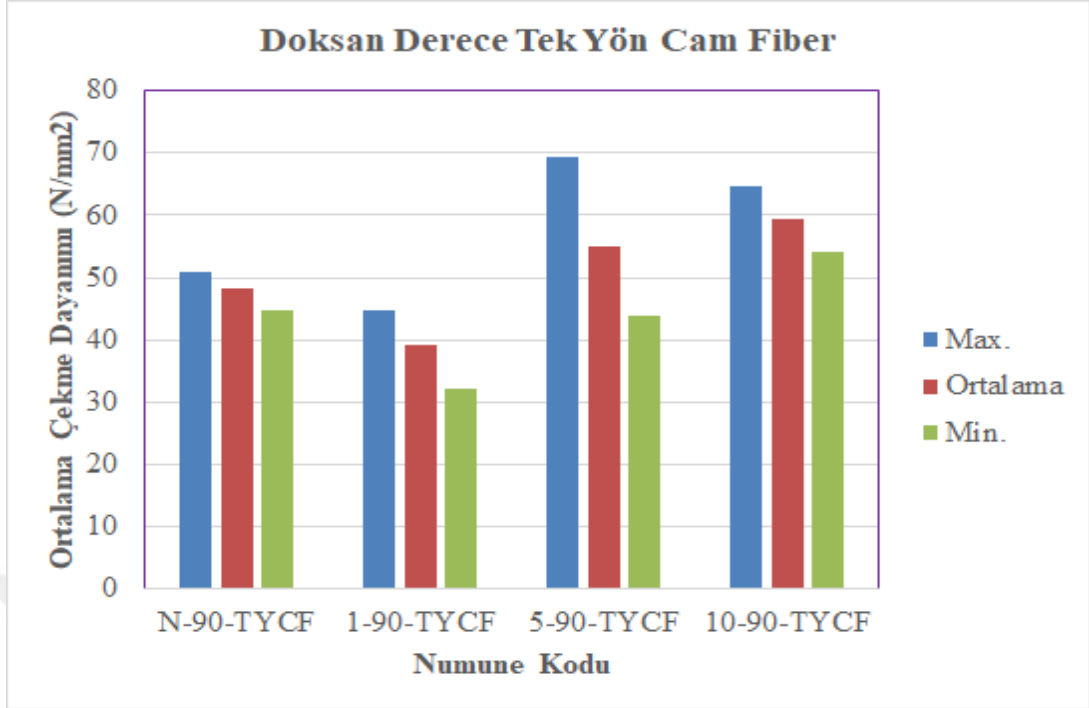
Matris ile takviye bileşeni arasındaki gerilim transferi, partikül takviyeli kompozit malzemelerde çekme özelliklerini belirleyen en önemli parametredir. Gerilim transferini önemli ölçüde etkileyen bir başka parametre ise matris ile takviye bileşeni arasındaki arayüzey etkileşimidir. Takviye bileşeninin matris içerisinde homojen olarak dağılmaması, matristen takviye bileşenine olan gerilim transferini negatif olarak etkileyerek çekme dayanımı değerlerini düşürmektedir (Xie ve diğ., 2010; Shookoohi ve diğ., 2008).

Bu bilgiler ışığında Tablo 5.1. incelendiğinde belirli seviyede borik asit katkı oranlarına kadar ortalama çekme dayanım değerlerinin neutral numunelere göre arttığı görülmektedir. En yüksek artışın %32,4 oranla %1 borik asit katkılı numunelerde olduğu görülmektedir. %5 borik asit katkılı numunelerin değişim oranı ise %1,69 olarak bulunmuştur. Ortalama çekme dayanım değerinin %10 borik asit katkılı numunelerde ise düştüğü bulunmuştur. Azalma oranı ise %9,03 olarak tespit edilmiştir.

### 5.1.2. Doksan derece tek yön cam fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları

Doksan derece tek yön cam fiber numuneleri için ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit katkısına bağlı olarak elde edilen ortalama çekme değerlerini gösteren grafik şekil 5.2’de gösterilmiştir.





Şekil 5.2.  $[90^\circ]_4$  tek yön cam fiber ortalama çekme dayanımı

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi %1 katkılı numunelerin, neutral numunelere göre ortalama çekme dayanım değerleri azalmıştır. %5 ve %10 katkılı numunelerin ortalama çekme dayanım değeri ise artış göstermiştir.

Tablo 5.2.  $[90^\circ]_4$  tek yön cam fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı

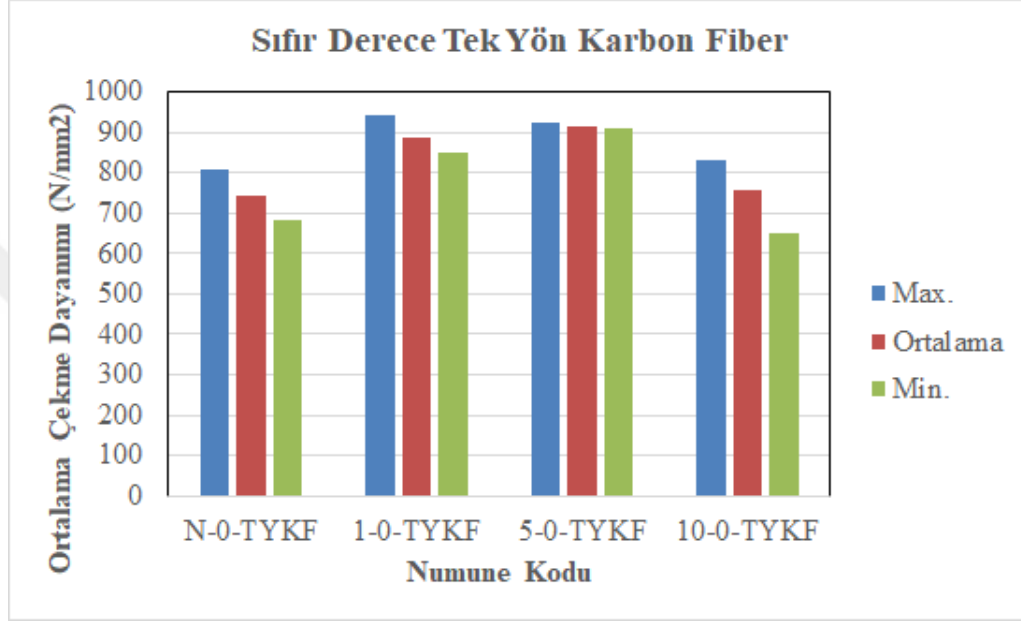
Numune İsmi	Borik Asit İçeriği	Simgesel Gösterim	Ortalama Çekme Dayanım Değeri (N/mm <sup>2</sup> )	Değişim Oranı (%)
Doksan derece tek yön cam fiber	Neutral	N-90-TYCF	48.31	
	1%	1-90-TYCF	39.14	(-) 18.98
	5%	5-90-TYCF	55	(+) 13.85
	10%	10-90-TYCF	59.52	(+) 23.21

\*(+ değişim oranının pozitif, -negatif olduğunu göstermektedir)

Tablo 5.2. incelendiğinde doksan derece tek yön cam fiber numunelerinde %1 katkılı numunelerin, neutral numunelere göre %18,98 oranında ortalama çekme dayanım değerinin düştüğü görülmektedir. %5 katkılı numunelerde %13,85 oranında, %10 katkılı numunelerde ise %23,21 oranında artış meydana gelmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi doksan derece tek yön cam fiber numunelerinde borik asit takviye bileşeninin matris ile arasında oluşan gerilim transferi ve takviye bileşeninin matris içerisinde homejen dağılması %5 ve %10 borik asit katkılı numunelerde gerçekleşmiştir yorumu yapılabilir.

### 5.1.3. Sıfır derece tek yön karbon fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları

Sıfır derece tek yön karbon fiber numuneleri için ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit katkılı polimer hibrit kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı değerlerini gösteren grafik şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3.  $[0^\circ]_4$  tek yön karbon fiber ortalama çekme dayanımı

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi %1 ve %5 borik asit katkılı polimer hibrit kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı değerleri neutral malzemeye göre artmıştır. %10 borik asit katkılı polimer hibrit kompozit malzemenin ise ortalama çekme dayanım değeri yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

Tablo 5.3.  $[0^\circ]_4$  tek yön karbon fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı

Numune İsmi	Borik Asit İçeriği	Simgesel Gösterim	Ortalama Çekme Dayanım Değeri (N/mm²)	Değişim Oranı (%)
Sıfır derece tek yön karbon fiber	Neutral	N-0-TYKF	743	
	1%	1-0-TYKF	884,66	(+) 19,06
	5%	5-0-TYKF	915,66	(+) 23,24
	10%	10-0-TYKF	757,66	(+) 1,97

\*(+ değişim oranının pozitif, -negatif olduğunu göstermektedir)

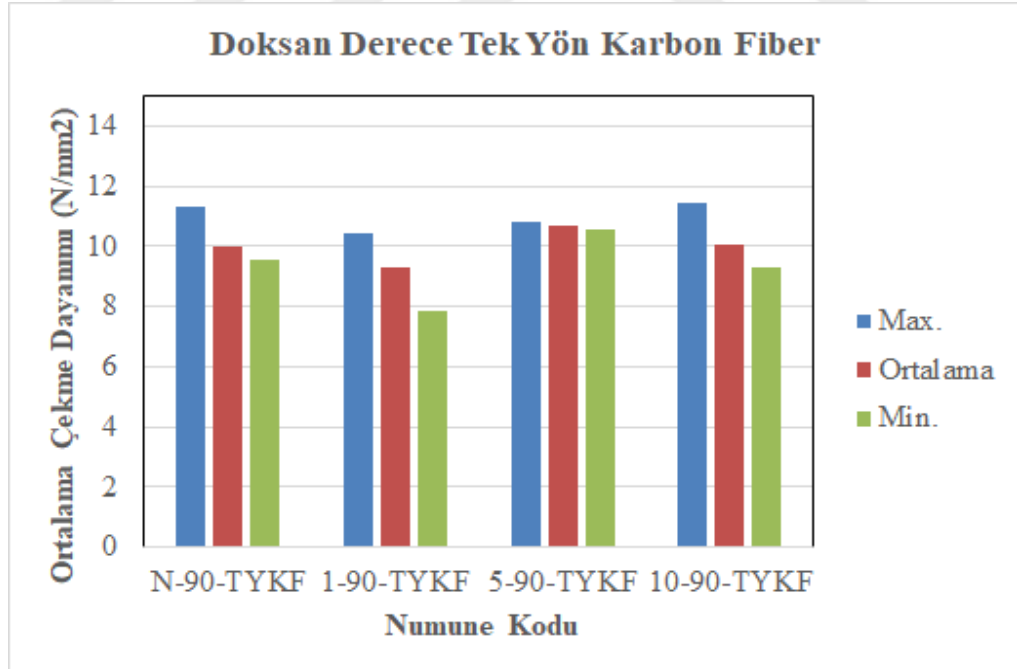
Literatürden de bilindiği gibi polimerlere partikül takviyesinin artmasına paralel olarak çekme dayanımı değerleri de artmaktadır. Polyester matris malzemesi ile borik asit

arasında iyi bir etkileşim olması sebebiyle yapışma kalitesinin de iyi olması beklenir. Böylelikle yük transferi matris malzemesi ile takviye bileşeni arasında sağlanmış olur. Bu sayede çekme dayanımı değerlerinin de artması sağlanmış olur şeklinde çıkarım yapılabilir (Zhou ve diğ., 2014).

Tablo 5.3. incelendiğinde borik asit katkı oranına bağlı olarak ortalama çekme dayanım değerlerinin arttığı görülmektedir. %1 katkıli numunelerde, neutral numunelere göre %19,06 oranında, %5 katkıli numunelerde %23,24 oranında, %10 katkıli numunelerde ise %1,97 oranında ortalama çekme dayanım değerlerinde artış olmuştur.

#### 5.1.4. Doksan derece tek yön karbon fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları

Doksan derece tek yön karbon fiber numunelerinin ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit katkısına bağlı olarak ortalama çekme dayanım değerlerini gösteren grafik şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4.  $[90^0]_4$  tek yön karbon fiber ortalama çekme dayanımı

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi %1 katkıli numunelerin ortalama çekme dayanımı, neutral numunelere göre azalmıştır. %5 katkıli numunelerin ortalama çekme dayanım değerleri artarken, %10 katkıli numunelerin yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

Tablo 5.4.  $[90^0]_4$  tek yön karbon fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı

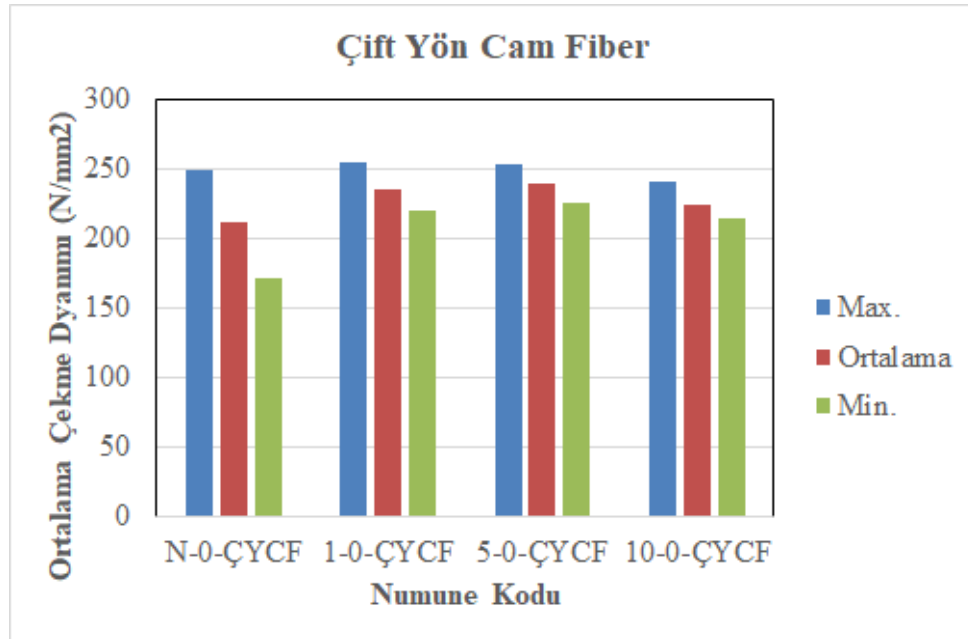
Numune İsmi	Borik İçeriği	Asit	Simgesel Gösterim	Ortalama Çekme Dayanım Değeri ( N/mm <sup>2</sup> )	Değişim Oranı (%)
Doksan derece tek yön karbon fiber	Neutral		N-90-TYKF	10.02	
	1%		1-90-TYKF	9.32	(-) 6.98
	5%		5-90-TYKF	10.69	(+) 6.69
	10%		10-90-TYKF	10.04	(+) 0.2

\*(+ değişim oranının pozitif, -negatif olduğunu göstermektedir)

Tablo 5.4. incelendiğinde doksan derece tek yön karbon fiber numunelerinde, %1 katkılı olan numunelerde ortalama çekme dayanım değeri, neutral numunelere göre %6,98 oranında azalmıştır. %5 katkılı olan numunelerde %6,69 oranında artış olurken, %10 katkılı olan numunelerde ortalama çekme dayanım değeri yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

#### 5.1.5. Çift yön cam fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları

Çift yön karbon fiber numunelerinin ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit katkısına bağlı olarak ortalama çekme dayanım değerlerini gösteren grafik şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Çift yön cam fiber ortalama çekme dayanımı

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi %1 ve %5 katkıli numunelerde ortalama çekme dayanım değeri artarken, %10 katkıli numunelerde yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

Tablo 5.5. Çift yön cam fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı

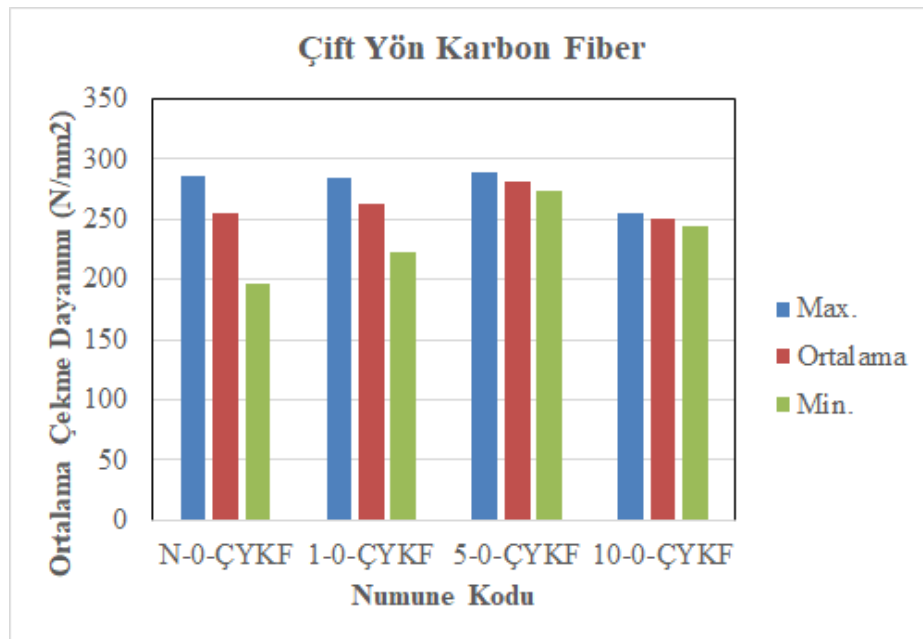
Numune İsmi	Borik Asit İçeriği	Simgesel Gösterim	Ortalama Çekme Dayanım Değeri (N/mm <sup>2</sup> )	Değişim Oranı (%)
Çift yön cam fiber	Neutral	N-ÇYCF	212	
	1%	1-ÇYCF	236.66	(+) 11.63
	5%	5-ÇYCF	240	(+) 13.20
	10%	10-ÇYCF	225.33	(+) 6.29

\*(+ değişim oranının pozitif, -negatif olduğunu göstermektedir)

Tablo 5.5. incelendiğinde çift yön cam fiber numunelerinde %1 katkıli numunelerin ortalama çekme dayanım değerleri, neutral numunelere göre %11,63 oranında artarken, bu oran %5 katkıli numunelerde %13,20 olarak gerçekleşmiştir. %10 katkıli numunelerde ortalama çekme dayanım değeri, %6,29 oranında artış göstermiştir.

#### 5.1.6. Çift yön karbon fiber numunelerinin çekme dayanım değerleri değişimi sonuçları

Ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 borik asit katkıli çift yön karbon fiber polimer hibrit kompozit malzemenin ortalama çekme dayanımı değerlerini gösteren grafik şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Çift yön karbon fiber ortalama çekme dayanımı

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi %1 ve %5 borik asit katkılı çift yön karbon fiber numunelerinin ortalama çekme dayanım değerleri artmıştır. %10 borik asit katkılı çift yön karbon fiber numunelerinin ortalama çekme dayanım değerleri ise yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

Tablo 5.6. Çift yön karbon fiber borik asit katkı oranına bağlı ortalama çekme dayanımı değişim oranı

Numune İsmi	Borik Asit İçeriği	Simgesel Gösterim	Ortalama Çekme Dayanım Değeri ( N/mm <sup>2</sup> )	Değişim Oranı (%)
Çift yön karbon fiber	Neutral	N-ÇYKF	255	
	1%	1-ÇYKF	262.66	(+) 3
	5%	5-ÇYKF	282	(+) 10.59
	10%	10-ÇYKF	250	(-) 1.96

\*(+ değişim oranının pozitif, -negatif olduğunu göstermektedir)

Tablo 5.6. incelendiğinde çift yön karbon fiber numunelerinde, %1 borik asit katkılı numunelerin neutral numunelere göre, ortalama çekme dayanım değeri %3 oranında artarken, %5 borik asit katkılı numunelerde ortalama çekme dayanım değeri %10,59 oranında artmıştır. %10 borik asit katkılı çift yön karbon fiber numunelerinde ise ortalama çekme dayanım değeri, neutral numunelere göre %1,96 oranında azalmıştır.

### 5.1.7. Sonuç ve değerlendirme

Bu tez çalışmasında polyester matrisli cam fiber takviyeli ve polyester matrisli karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin mekanik ve aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sıfır derece tek yön cam fiber, doksan derece tek yön cam fiber, sıfır derece tek yön karbon fiber, doksan derece tek yön karbon fiber, çift yön cam fiber ve çift yön karbon fiber kompozit malzemelere ağırlıkça neutral, %1, %5 ve %10 oranlarında borik asit takviyesi yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin tribolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Uygulanan aşınma testi sonucunda, kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerinde borik asitin yağlayıcı özelliği sayesinde düşüş meydana gelmiştir. Tek yön cam fiber numuneler de en düşük sürtünme katsayısı değeri %5 borik asit katkılı numuneler de tespit edilirken, tek yön karbon fiber numunelerinde %10 borik asit katkılı numuneler de en düşük sürtünme katsayısı tespit edilmiştir. Çift yön cam fiber ve çift yön karbon fiber numunelerinde en düşük sürtünme katsayısı değerine %10 borik asit katkılı

numunelerde ulaşılmıştır.

Uygulanan çekme testi sonucunda, borik asit takviye edilmesiyle kompozit malzemelerin çekme dayanım değerleri iyileştirilmiştir. Sıfır derece tek yön cam fiber numunelerinde en yüksek çekme dayanım değerine %1 borik asit katkılı numunelerde ulaşılmıştır. Doksan derece tek yön cam fiber numunelerinde %10 borik asit katkılı kompozitlerde en yüksek çekme dayanım değerleri tespit edilmiştir. Sıfır derece tek yön karbon fiber ve doksan derece tek yön karbon fiber numunelerinde en yüksek çekme dayanım değeri %5 borik asit katkılı numunelerde görülmüştür. Yine çift yön cam fiber ve çift yön karbon fiber numunelerinde en yüksek çekme dayanım değerinin %5 borik asit katkılı numunelerde olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, cam fiber ve karbon fiber takviyeli kompozit malzemelere belirli oranlarda borik asit katkısının, kompozit malzemelerin genel olarak daha üstün özellikler sergileyen birer malzeme olmasını sağlamıştır diyebiliriz. Yapılan tez çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında araştırmacılara aşağıda belirtilen öneriler yapılabilir:

- Çalışma kapsamında kompozit malzemelere katılan borik asit takviye malzemesinin, yüzey modifikasyonu işleminin silanlama prosesi uygulanması, matris ile takviye malzemesinin arayüzey etkileşimini olumlu olarak etkileyeceğinden, bu proses takviye malzemesine uygulanabilir.
- Hibrit kompozit malzeme elde ederken, takviye malzemelerinin sinerjik etkilerinin görülmesi için, borik asit yanında matris malzemesine çeşitli elyaf takviye malzemeleri eklenebilir.
- Tez çalışması kapsamında borik asit partikülleri belirli oranlarda matris malzemesine katılmıştır. Farklı partikül boyutları ve farklı oranlarda takviye işlemleri yapılarak, bu işlemlerin kompozit malzemeler üzerine etkileri araştırılabilir.
- El yatırma ve soğuk pres yöntemiyle üretimi yapılan kompozit malzemelerin, farklı üretim yöntemleri tercih edilerek, üretim yönteminin partikül takviyeli hibrit kompozit malzemeler üzerine etkileri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

Advani S. G., Hsiao K. T., *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)*. Elsevier, 2012.

Baysal E., Yalinkilic M. K., Altinok M., Sonmez A., Peker H., Colak M., Some Physical, Biological, Mechanical, and Fire Properties of Wood Polymer Composite (WPC) Pretreated with Boric Acid and Borax Mixture, *Constr Build Mater*, 2007, **21**, 1879–1885.

Behnam A., Michael J., Yadienka M. R., Meysam R., Drazen D., Kurtis L., Daesun P., Keun-Su K., Benoit S., Ali Y., Multifunctional Fiber Reinforced Polymer Composites Using Carbon and Boron Nitride Nanotubes. *Acta Astronaut*, 2017, 141, DOI:10.1016/j.actaastro.2017.09.023

Bhushan B., Principles of tribology , *Modern Tribology Handbook*, 2000.

Brostow W., Kovačević V., Vrsaljko D., Whitworth J., Tribology of Polymers and Polymer-Based Composites, *J Mater Educ*, 2010, **32**(5-6), 273-290.

Burroughs B. R., Kim J. H., Blanchet T. A., Boric Acid Self-Lubrication of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Filled Polymer Composites, *Tribol Trans*, 1999, **42**(3), 592-600.

Cavdar A. D., Mengeloğlu F., Karakus K., Effect of Boric Acid and Borax on Mechanical, Fire and Thermal Properties of Wood Flour Filled High Density Polyethylene Composites, *Measurement*, 2015, **60**, 6-12.

Chand S., Review Carbon Fibers for Composites, *J Mate Sci*, 2000, **35**, 1303-1313.

Czichos H., *Tribology-A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, Elsevier, Amsterdam, 1987.

Demirel M., Pamuk V., Dilsiz N., Investigation of Flame Retardancy and Physical–Mechanical Properties of Zinc Borate/Boric Acid Polyester Composites, *J Appl Polym Sci*, 2009, **115**, 2550-2555.

Deshmukh P., Lovell M., Sawyer G., Mobley A., On the Friction and Wear Performance of Boric Acid Lubricant Combinations in Extended Duration Operations, *Wear*, 2006, **260**(11-12), 1295-1304.

Dong H., Bell T., State-of-the-Art Overview: Ion Beam Surface Modification of Polymers Towards Improving Tribological Properties, *Surf Coat Tech*, 1999, **111**, 29–40.



Duzcukoglu H., Şahin Ö. S., Investigation of Wear Performance of Canola Oil Containing Boric Acid under Boundary Friction Condition, *Tribol Trans*, 2011, **54**, 57-61.

Friedrich K., Fakirov S., Zhang Z., *Polymer composites: from nano-to macro-scale*. Springer Science & Business Media, 2005.

Fu S.Y., Feng X.Q., Lauke B., Mai Y.W., Effects of Particle Size, Particle/Matrix Interface Adhesion and Particle Loading on Mechanical Properties of Particulate–Polymer Composites. *Compos B Eng Compos Part B- Eng*, 2008, **39**(6): 933-961.

Graeme M. W., Theory of Composites. Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics, *Appl Mech Rev*, 2003, 56.2 B27-B28.

Harmancıoğlu M., *Tekstil Maddeleri 2, Rejenere ve Sentetik Lifler*, Ege Üniversitesi Basımevi, 1981.

Hou J., Li G., Yang N., Qin L., Grami M. E., Zhang Q., Wang N., Qu X., Preparation and Characterization of Surface Modified Boron Nitride Epoxy Composites with Enhanced Thermal Conductivity, *Royal Society of Chemistry*, 2014, **4**, 44282-44290.

Jia J., Chen J., Zhou H., Hu L., Chen L., Comparative Investigation on the Wear and Transfer Behaviors of Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites Under Dry Sliding and Water Lubrication, *Compos Sci Technol*, 2005, **65**, 1139-1147.

Turan K., Kompozit Malzemelerde Yapışma Bağlantılarının Mukavemeti Üzerine Yama Fiber Takviye Açısı Etkisi, *Dicle Üniv Mühendis Fak Mühendis Dergisi*, **7**(1), 129-138, 2016.

Turan Kadir., Kaman M. O., Gur M., Progressive Failure Analysis of Laminated Composite Plates With Two Serial Pinned Joints, *Mech Adv Mater Struct*, 2015, **22** (10), 839-849, DOI: 10.1080/15376494.2012.761302

Karaçay E., Alp E., Cabbar H.C., Boron Carbide Production by Sol-Gel Method and Its Characterization, *J Fac Eng Archit Gaz*, **27**(2), 417-428, 2012.

Karsli N. G., Demirkol S., Yilmaz T., Thermal Aging and Reinforcement Type Effects on the Tribological, Thermal, Thermomechanical, Physical and Morphological Properties Of Poly (Ether Ether Ketone) Composites, *Compos Part B Eng*, 2016, **88**, 253-263.

Kaw Autar K., *Kompozit Malzeme Mekaniği*, 1. Basım, Efil Yayınevi, 2014.

Lau A. K. T., Hui D., The Revolutionary Creation of New Advanced Materials-Carbon Nanotube Composites. *Compos Part B Eng*. 2002, **33**, 263–277.

Lau K. T., Chipara M., Ling H. Y., Hui D., On the Effective Elastic Moduli of Carbon Nanotubes For Nanocomposite Structures. *Compos Part B Eng*. 2004, **35**, 95–101.

Li D. X., You Y. L., Deng X., Li W. J., Xie Y., Tribological Properties of Solid Lubricants Filled Glass Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites, *Mater Des*, 2013, 46, 809–815.

Li Y., Yang T., Yu T., Zheng L., Liao K., Synergistic Effect of Hybrid Carbon Nanotube–Graphene Oxide as a Nanofiller in Enhancing the Mechanical Properties of PVA Composites, *J Mater Chem*, 2011, **21**, 10844-10851.

Mallick PK., *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, Department of Mechanical Engineering University of Michigan Dearborn, Michigan, 2007.

Mazumdar S. K., *Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering*, CRC Press, London, 20-39, 2002.

Mutlu I., Oner C., Findik F., Boric Acid Effect in Phenolic Composites on Tribological Properties in Brake Linings, *Mater Des*, 2007, **28**, 480-487.

Myshkin N. K., Petrokovets M. I., Kovalev A. V., Tribology of Polymers: Adhesion, Friction, Wear, and Mass-Transfer, *Tribol Int*, 2005, **38**, 910-921.

Navaneethakrishnan G., Karthikeyan T., Saravanan S., Selvam V., Influence of Boron Nitride on Morphological, Mechanical, Thermal and Wear Characteristics of Epoxy Nanocomposites, *Mater Res Innov*, 2020, 24: 5, 257-262, DOI: 10.1080/14328917.2019.1641346

Sarı N., Sınmazçelik T., Erosive Wear Behaviour of Carbon Fibre/Polyetherimide Composites Under Low Particle Speed, *Mater Des*, 2007, **28** (1), 351-355, DOI:10.1016/j.matdes.2005.05.014.

Nielsen L. E., Landel R. F., *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, 2<sup>nd</sup> ed., Marcel Dekker Publishing, New York, 1994.

Nourbakhsh A., Karegarfard A., Ashori A., Nourbakhsh A., Effects of Particle Size and Coupling Agent Concentration on Mechanical Properties of Particulate-filled Polymer Composites, *J Thermoplast Compos Mater*, 2010, **23**, 169- 174.

Örçen G, Gür M, Turan K. Progressive Failure Analysis on Two Parallel Pinned Joint Glass/Epoxy Composite Plates Under The Effect of Seawater. *J Compos Mater*, 2014, **48** (28), 3499-3511, DOI:10.1177/0021998313510541

Örçen G., Turan K., Bingöl S., (2020). Mechanical Properties of Composite Plates At Different Conditions. *Eur J Tech (EJT)*, 2020, **10** (1), 13-24, DOI: 10.36222/ejt.634973

Özdemir T., Akbay İ. K., Uzun H., Reyhancan İ. A., Neutron Shielding of EPDM Rubber with Boric Acid: Mechanical, Thermal Properties and Neutron Absorption Tests, *Prog Nucl Energy*, 2016, **89**, 102-109.

Paiva M.C., Zhou B., Fernando K.A.S., Lin Y., Kennedy J.M., Sun Y.P., Mechanical And Morphological Characterization Of Polymer-Carbon Nanocomposites From Functionalized Carbon Nanotubes. *Carbon* 2004, **42**, 2849–2854.

Panda J. N., Bijwe J., Pandey R. K., On the Investigations of Nano and Micro-Sized Particles of Boric Acid as a Solid Lubricant in PAEK Composites, *Surf Topogr: Metrol Prop*, 2019, DOI: 10.1088/2051-672X/ab30a5.

Pedrazzoli D., Pegoretti A., Kalaitzidou K., Synergistic Effect of Exfoliated Graphite Nanoplatelets and Short Glass Fiber on the Mechanical and Interfacial Properties of Epoxy Composites, *Compos Sci Technol*, 2014, **98**, 15-21.

Polat O., Kaynak C., Use of Boron Oxide and Boric Acid to Improve Flame Retardancy of an Organophosphorus Compound in Neat and Fiber Reinforced Polyamide-6, *J Vinyl Addit Technol*, 2016, **22**(3), 300-310.

Rahmat M., Naftel A., Ashrafi B., Jakubinek M. B., Martinez-Rubi Y., Simard B., Dynamic Mechanical Characterization of Boron Nitride Nanotube-Epoxy Nanocomposites *Polymer Composites*, **40** (6), 2119-2131, DOI:10.1002/pc.24995

**Sarı N.**, Klasik Isıl İşlemler ve Modern Yüzey İşlemleri Uygulanmış Ç 1050 Çeliğinin Abratif+Erozif Aşınma Davranışının İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.

Sari NY, Sinmazcelik T, Yilmaz T. Erosive Wear Studies of Glass fiber- and Carbon Fiber-reinforced Polyetheretherketone Composites at Low Particle Speed. *J Thermoplast Compos Mater*. 2011, **24**(3), 333-350, DOI:10.1177/0892705710390154

Saylan T., PA Kompozitlerinin termal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.

Scharf T. W., Prasad S. V., Solid Lubricants: a review, *J Mater Sci*, 2013, **48**, 511–531.

Seventekin N., Kimyasal Lifler, E.Ü. Teks ve Konf Araş Uyg Merk, 2001, 128- 134.

Shookoohi S., Arefazar A., Khosrokhavar R., Silane Coupling Agents in Polymer-Based Reinforced Composites: A Review, *J Reinf Plast Compos*, 2008, **27**(5), 473-485.

Sinha S. K., Briscoe B. J., *Polymer Tribology*, 1st ed., Imperial College Press, London, 2009.

Soutis C., Hu F.Z., Design and Performance of Bonded Patch Repairs of Composite Structures, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *Proc Inst Mech Eng, Part G*, **211**(4): 263-271.1997, DOI: 10.1243/0954410971532668

Strong A.B., *Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods, and Applications*, 2<sup>nd</sup> ed.”, SME, Michigan, 1-18, 2008

Thostenson E.T. Chou T.W., Aligned Multi-Walled Carbon Nanotube-Reinforced Composites: Processing and Mechanical Characterization. *J Phys D Appl Phys*, 2002, **35**, L77–L80.

URL-1: <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/1-borik-asit1.pdf>, (Ziyaret tarihi: 06 Mayıs 2021).

URL-2: [http://www.turkcewiki.org/wiki/Karbon\\_fiber](http://www.turkcewiki.org/wiki/Karbon_fiber), (Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2021).

Varol T., Nano Partikül Takviyeli Bakır Esaslı Fonksiyonel Derecelendirilmiş Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2016.

Vijayaraghavan, V., Zhang, L., Tensile and Interfacial Loading Characteristics of Boron Nitride-Carbon Nanosheet Reinforced Polymer Nanocomposites. *Polymers*, 2019, **11**, 1075. DOI: 10.3390/polym11061075

Xie B. H., Huang X., Zhang G. J., High Thermal Conductive Polyvinyl Alcohol Composites with Hexagonal Boron Nitride Microplatelets as Fillers, *Compos Sci Technol*, 2013, **85**, 98-103.

Xie Y., Hill C. A. S., Xiao Z., Militz H., Mai C., Silane Coupling Agents Used for Natural Fiber/Polymer Composites: A Review, *Compos Part A Appl Sci Manuf*, 2010, **41**(7), 806-819.

Yang S.Y., Lin W.N., Huang Y.L., Tien H.W., Wang J.Y., Ma C.C.M., Li S.M., Wang Y.S., Synergetic Effects of Graphene Platelets And Carbon Nanotubes On The Mechanical And Thermal Properties of Epoxy Composites. *Carbon* 2011, **49**, 793–803.

Yang X., Wang Z., Xu M., Zhao R., Liu X., Dramatic Mechanical And Thermal Increments Of Thermoplastic Composites By Multi-Scale Synergetic Reinforcement: Carbon Fiber And Graphene Nanoplatelet. *Mater Des* 2013, **44**, 74–80.

Yao S., Jin F., Rhee K., Hui D., Park S., Recent Advances in Carbon-Fiber- Reinforced Thermoplastic Composites: A Review, *Composites Part B*, 2018, DOI:10.1016/j.compositesb.2017.12.007.

Zhang X, Zheng J., Polymer Composites with Enhanced Mechanical and Thermal Properties by Orientating Boron Nitride Flakes, 2019, *IOP Conf. Ser, Mater Sci Eng*, 493 012137

Zheng X., Park C. W., Thermal And Mechanical Properties Of Carbon Fiber-Reinforced Resin Composites With Copper/Boron Nitride Coating, *Compos Struct*, 2019, 220, 494-501, DOI:10.1016/j.compstruct.2019.03.089

## **KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER**

**Aydın T.**, Turan K., Sarı N. Y., Investigation of Mechanical Properties of Particle Reinforced Bidirectional Composite Plates, *ISPEC 10<sup>th</sup> International Conference on Engineering & Natural Science*, Siirt, Türkiye, 16-18 Mayıs 2021.

**Aydın T.**, Turan K., Sarı N. Y., Investigation of Mechanical And Tribological Properties of Boric Acid Reinforced Composite Plates, *European Journal of Technique (EJT)*, Mayıs 2021 (Kabul edildi).



## ÖZGEÇMİŞ

Taner AYDIN; ilk ve orta öğrenimini Kocaeli’de tamamlamıştır. 2005 yılında Kocaeli Anadolu Lisesi’nde tammalamıştır. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği’nde lisans eğitimini bitirmiştir. 2018 yılı itibariyle Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2012-2013 yılları arasında Takfan Makina’da tasarım elemanı olarak, 2014-2016 yılları arasında Era Epoksi’de satış ekip lideri olarak ve 2016-2020 yılları arasında Era Elektromekanik’te fabrika müdürü/ teknik satış müdürü olarak görev yapmıştır. 2020 yılından itibaren Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi ünvanı ile akademik çalışmalarını sürdürmektedir. Mesleki birikimi artırmak ve günceli yakalamak adına ulusal ve uluslararası toplantı, fuar, seminer gibi birçok oturuma katılmıştır.