

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BOR KATKILI CAM ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERİN
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

OZAN OSMAN SÖZER

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

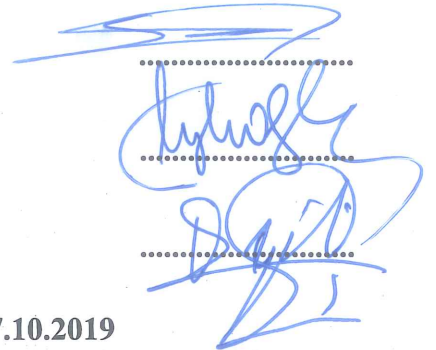
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOR KATKILI CAM ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERİN
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ozan Osman SÖZER

Doç. Dr. Tülin ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Taner YILMAZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Osman İYİBİLGİN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 07.10.2019



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, bor katkılı ve cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerin aşınma özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

Tez çalışmamda hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve çalışmalarına yön veren danışmanım Doç. Dr. Tülin ŞAHİN; çalışmalarım için her türlü imkânı ve olanakları ile mücadele eden, bir an olsun desteklerini esirgemeyen annem Hülya SÖZER, babam Önder SÖZER ve kardeşim Selen Özge SÖZER'e teşekkürü borç bilirim.

Haziran – 2019

Ozan Osman SÖZER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
1.1.1. Matris malzemelerine göre kompozitlerin sınıflandırılması	3
1.1.1.1. Metal matrisli kompozitler (MMK-MMC)	3
1.1.1.2. Seramik matrisli kompozitler (SMK-CMC).....	3
1.1.1.3. Polimer matrisli kompozitler (PMK).....	3
1.1.2. Takviye malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması	4
1.1.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler	4
1.1.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler	4
1.1.2.3. Tabakalı kompozitler.....	5
1.1.2.4. Karma hibrit kompozitler	5
1.2. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	5
1.2.1. Elle yatırma / Elle tabakalama.....	5
1.2.2. Püskürtme / Sprey kalıplama.....	5
1.2.3. Elyaf sarma / İplik sarma	6
1.2.4. Reçine transfer kalıplama (RTM).....	6
1.2.5. Vakumlu paketleme.....	6
1.2.6. Otoklav pişirme	6
1.3. Kompozit Malzemelerde Aşınma ve Aşınma Özellikleri	7
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	9
3. MALZEME VE NUMUNE HAZIRLAMA	13
3.1. Kullanılan Malzemeler	13
3.1.1. Cam elyaf özellikleri	13
3.1.2. Polyester özellikleri.....	13
3.1.3. MEK özellikleri.....	14
3.1.4. Kobalt özellikleri.....	14
3.1.5. Susuz bor özellikleri.....	15
3.2. El ile Yatırma Metodu ile Numune Üretilmesi	15
3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	16
3.4. Aşınma Deneyi için Hazırlanan Deney Numuneleri	18
3.5. DSC Deneyi için Hazırlanan Deney Numuneleri.....	19
3.6. SEM Deneyi İçin Hazırlanan Deney Numuneleri	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	20
4.1. Pin On Disk Aşınma (Tribometre) Deneyi.....	20
4.2. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) Deneyi	21

5. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
5.1. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	23
5.2. DSC Deneyi Sonuçları	49
5.3. Aşınma Deney Numuneleri Makro Resimleri.....	53
5.4. Aşınma Deney Numuneleri SEM Resimleri	57
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	62
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	66
ÖZGEÇMİŞ	67



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Cam elyaf malzemenin kalıp ölçülerinde işaretlenmesi	16
Şekil 3.2.	Cam elyaf malzemenin işaretlenen ölçülerde kesilmesi	16
Şekil 3.3.	Kalıp içerisine yerleştirilen cam elyaf üzerine reçinenin yedirilmesi	17
Şekil 3.4.	Reçine üzerine tekrar cam elyafın yerleştirilmesi.....	17
Şekil 3.5.	Cam elyaflar üzerine reçinenin fırça yardımı ile yedirilmesi	18
Şekil 3.6.	Kalıp üzerine kaydırıcı malzemenin sürülmesi.....	18
Şekil 4.1.	Diferansiyel taramalı kalorimetre grafiği.....	21
Şekil 5.1.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	23
Şekil 5.2.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	24
Şekil 5.3.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	24
Şekil 5.4.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	25
Şekil 5.5.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	25
Şekil 5.6.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	26
Şekil 5.7.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	26
Şekil 5.8.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	27
Şekil 5.9.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	27
Şekil 5.10.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	28
Şekil 5.11.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	28
Şekil 5.12.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	29

Şekil 5.13.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	29
Şekil 5.14.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	30
Şekil 5.15.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	30
Şekil 5.16.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 35 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	31
Şekil 5.17.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	31
Şekil 5.18.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	32
Şekil 5.19.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	32
Şekil 5.20.	120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	33
Şekil 5.21.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	33
Şekil 5.22.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	34
Şekil 5.23.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	34
Şekil 5.24.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	35
Şekil 5.25.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	35
Şekil 5.26.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	36
Şekil 5.27.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	36
Şekil 5.28.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği	37

Şekil 5.29.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	37
Şekil 5.30.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	38
Şekil 5.31.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	38
Şekil 5.32.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	39
Şekil 5.33.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	39
Şekil 5.34.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	40
Şekil 5.35.	120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	40
Şekil 5.36.	180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	41
Şekil 5.37.	180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	41
Şekil 5.38.	180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	42
Şekil 5.39.	180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	42
Şekil 5.40.	180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği.....	43
Şekil 5.41.	120 metre aşınma yolunda 150 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim.....	43
Şekil 5.42.	120 metre aşınma yolunda 150 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetindeki değişim.....	44
Şekil 5.43.	120 metre aşınma yolunda 200 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim.....	44
Şekil 5.44.	120 metre aşınma yolunda 200 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetindeki değişim.....	45
Şekil 5.45.	200 rpm aşınma hızında 20N yük 180 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi.....	45
Şekil 5.46.	200 rpm aşınma hızı 20 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi.....	46

Şekil 5.47.	200 rpm aşınma hızında 25 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi.....	47
Şekil 5.48.	200 rpm aşınma hızında 30 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi.....	47
Şekil 5.49.	200 rpm aşınma hızında 35 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi.....	48
Şekil 5.50.	150 rpm aşınma hızında 25N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi.....	49
Şekil 5.51.	150 rpm aşınma hızında 30N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi.....	49
Şekil 5.52.	Katkısız cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği	50
Şekil 5.53.	%2,5 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği.....	50
Şekil 5.54.	%5 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği.....	51
Şekil 5.55.	%10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği.....	51
Şekil 5.56.	%20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği.....	52
Şekil 5.57.	DSC susuz bor miktarındaki değişim ile erime sıcaklığı ve entalpi değişim grafikleri	53
Şekil 5.58.	Katkısız cam elyaf takviyeli kompozit malzeme	54
Şekil 5.59.	%2,5 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme	54
Şekil 5.60.	%5 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme	55
Şekil 5.61.	%10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme	56
Şekil 5.62.	%20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme	56
Şekil 5.63.	%10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli aşınma bölgesi dışından alınan malzeme x200 büyütme.....	57
Şekil 5.64.	%10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli aşınma bölgesinden alınan malzeme x300 büyütme.....	57
Şekil 5.65.	%10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x22 büyütme	58
Şekil 5.66.	%10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x150 büyütme	58
Şekil 5.67.	%20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x150 büyütme	59
Şekil 5.68.	%20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x500 büyütme	59
Şekil 5.69.	%20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x300 büyütme	60
Şekil 5.70.	%20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x150 büyütme	60

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Polyester reçinenin özellikleri tablosu	14
Tablo 3.2. Metil Etil Keton (MEK) özellikler tablosu	14
Tablo 3.3. Kobalt malzemenin özellikler tablosu	15
Tablo 3.4. Susuz bor malzemesinin özellikler tablosu.....	15
Tablo 5.1. Susuz bor oranına göre erime sıcaklığı ve entalpi değişim tablosu	52



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

N	: Kuvvet, (Newton)
rpm	: Açısal Hız, (Revolutions per munite) (devir/dakika)
ppm	: Derişim, (milyonda bir)
atm	: Açık Hava Basıncı
mm ³ /Nm	: Aşınma Oranı
k	: Aşınma Oranı
x	: Aşınma Mesafesi
v	: Aşınma Hacmi
R	: Çap
r	: Yarıçap
m/s	: Hız
gr/cm ³	: Yoğunluk
g/mol	: Molar Kütle
mg/l	: Çözünürlük
µm	: Mikrometre
Tm	: Erime Sıcaklığı
ΔHsc	: Entalpi
mPa	: Megapaskal
hPa	: Hektopaskal
B ₂ O ₃	: Borik Asit
SiO ₂	: Silisyum Oksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
B ₄ C	: Bor Karbür

Kısaltmalar

AIS	: American Iron And Steel Institute (Amerikan Demir Çelik Enstitüsü Standartları)
CTP	: Cam Elyaf Takviyeli Polyester
DSC	: Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)
MEK	: Metil Etil Keton
SEM	: Scanning Elektron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

BOR KATKILI CAM ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, günümüzde üzerinde birçok çalışma yapılmış ve sürekli gelişme göstermekte olan cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere farklı miktarlarda eklenen susuz bor katkı maddesinin aşınma üzerine etkileri incelenmiştir. Bir çok sektörde yaygın olarak kullanım alanına sahip olan kompozit malzemelerde aşınmaya olan direncin yüksek olması istenen bir özelliktir. Deney numuneleri hazırlanırken Susuz Bor katkısı ağırlıkça %2,5, %5, %10 ve %20 oranlarında eklenmiştir. Deney süresince numuneler 120 - 180 metrelik aşınma yolunda 20N – 25N – 30N 'luk yük altında 150 - 200rpm'lik hızla Tribometre cihazı ile aşınmaya tabi tutuldu. Tribometre cihazı üzerinden test süresince sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı değerleri ölçüldü. Daha sonraki adımda ise Tribometre cihazının numune üzerine bıraktığı aşınma izleri kullanılarak aşınma oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler doğrultusunda aşınma oranı, sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı grafikleri çizilerek yorumları yapılmıştır. Dolgu malzemesinin polyester reçine ile uyumu ve cam elyaf malzeme ile farklı orandaki Susuz Bor'un reçinenin aşınma mekanizmasına etkisi Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile aşınma yüzeylerinin incelenmesi yapılmıştır. Susuz bor miktarındaki değişimler ile malzemedeki termal özelliklerin belirlenmesi için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre numunelerde susuz bor miktarındaki artış sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısını da arttırmakta olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Cam Elyaf, Polipropilen, Susuz Bor.

INVESTIGATION OF ABRASION PROPERTIES OF BORON ADDITIVE GLASS FIBER COMPOSITE MATERIALS

ABSTRACT

In this study, the effects of anhydrous boron admixture added to glass fiber reinforced composite materials which have been made many studies on today and which is continuously developing, on abrasion were investigated. It is desirable to have high resistance to abrasion in composite materials, which are widely used in many sectors. When preparing the test samples, Anhydrous Boron additive was added in 2.5%, 5%, 10% and 20% by weight. During the experiment, samples were eroded with a Tribometer device at a speed of 150 - 200rpm under a load of 20N - 25N - 30N in the 120 - 180 meter wear path. Friction force and coefficient of friction during the test were measured on the tribometer. In the next step, wear rates were calculated by using the abrasion marks left by the Tribometer on the sample. Wear rate, friction force and friction coefficient graphs were drawn and interpreted according to these calculated values. The compatibility of the filler material with polyester resin and the effect of anhydrous boron with different proportions with glass fiber material on the wear mechanism of the resin were investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM). Differential Scanning Calorimetry (DSC) was used to determine the thermal properties of the material with changes in the amount of anhydrous boron. According to the results of the experiments, it was determined that the increase in the amount of anhydrous boron in the samples increases the friction force and coefficient of friction.

Keywords: Abrasion, Glass Fiber, Polypropylene, Anhydrous Boron.

GİRİŞ

Kompozit malzemeler her ne kadar antik çağlardan beri kullanılıyor gibi kabul edilse de günümüzde kullanımını gittikçe yaygınlaşan modern kompozit malzemelerin kullanımları Owen Corning adlı firmada çalışan bir mühendisin 1930 yılında şansı eseri bulunduğu fiberglas malzemenin 1937 yılında Amerika Birleşik Devletlerine satılmaya başlanması olarak kabul edilmektedir.

1900'lü yılların başlarında sentetik plastikler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu gelişme ve geliştirme çalışmaları öyle büyük noktalara ulaşmıştır ki 1930'lu yıllarda piyasada yaygın olarak kullanılan malzemelerin içinde popüler hale gelmiştir. Tüm iyi yönlerinin yanında dayanıklılık ve sertlik gibi özelliklerinin düşük olması rekabet ortamında yeni araştırmalara sebep olmuştur. Aynı dönemlerde yeni keşfedilmeye başlayan fiberglasların plastik malzemelerle bir araya getirilmesi düşüncesi önemli bir yer almaya başlamıştır. Üretim sonucu ortaya çıkan yeni malzeme havacılık sektörünün vazgeçilmezi haline gelmeye başlamıştır (Sönmez,2009) (Yöney,2007) (Kaştan, 2016) (Boztoprak, 2019).

İlk uygulamalardan bu yana bileşenlerinde meydana gelen birçok yenilik ve değişik uygulama yöntemleri çok daha kaliteli ve istenilen özelliklere daha yakın malzemeler ortaya çıkarmıştır (İnci, 2006).

Ülkemizde kompozit malzemelerin başlangıcı polyester su depoları ve üretimi gerçekleştirilen Anadol marka aracın kaporta malzemesi olarak kompozit malzemenin kullanılması olmuştur. Uzun bir dönem en ilkel yöntem olarak kabul edilen el yatırma metodu yaygın olarak kullanılmış ve makineler ile seri üretime geçiş uzun yıllar almıştır. Bu durumun en önemli nedeni ise ülkemizdeki işçiliğin çok ama çok ucuz olması ve sanayileşmede gerekli olan makine ve kalıp maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır. Kompozit malzeme olarak adlandırılan malzeme grubu, istenilen özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde bir araya getirilmesi sonucu elde edilmektedir. Burada en önemli husus kompozit bileşen olarak adlandırılan malzemeler çoğunlukla özelliklerini korumaktadırlar. Kompozit malzemelerin yüksek

mukavemet, dayanıklılık, ağırlık ve korozyon dayanımı gibi özelliklere sahip olması başta uzay sanayi ve havacılık sektörleri olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak tercih edilmesini sağlamıştır. Birkaç yıl öncesine kadar ağaç malzemelerden yapılan denizcilik sektörünün en önemli taşıtlarını oluşturan can botları, hücum botları, tekneler hatta milyonlarca dolara alıcı bulan ultra lüks yatlar artık polyester ve cam elyaf katkılı kompozitlerden üretilmektedirler. Bu sayede hafif, yüksek hızlara kolayca ulaşabilen daha dayanıklı ve uzun ömre sahip yapılar haline gelmişlerdir. Kompozit malzemeler insan hayatında öyle büyük yer edinmiştir ki biyo uyumlu hale getirilmiş, insan sağlığına zararı minimize edilmiş ve en önemlisi de uzun ömüre sahip hale gelmiş kompozitler implant teknolojilerinde de kullanılmaktadır. Hatta son yıllarda yapılan yoğun çalışmalar neticesinde protez olarak uygulanan uzuvlarda tamamen kompozit malzemelerden üretilmektedir (Vatangül,2008) (Hüner,2008) (Bayraktar,2013) (Türkmen,2013) (Boztoprak, 2019).

Kompozit kelime anlamı olarak karışım anlamına gelsede çözen ve çözünen bileşenlerden oluşmaz. Bileşenler yani katkı maddeleri kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler sadece fiziksel olarak birbirleri içerisinde karışırlar. Zaten bileşenler yani katkı maddeleri arasında kimyasal bir etki meydana gelse bu malzemeler kompozit olarak değil alaşım olarak adlandırılırlar (Saçak, 2005).

Kompozit malzemelerde ana malzeme olarak tanımlanan malzemeler metaller, seramikler, cam ve polimerler olmak üzere dört ana gruba ayrılır. Fiber kompozit malzemeler ise bu dört grup olarak adlandırılan malzemelere fiber takviye edilmesi ile elde edilir. Fiberleri birbirine bağlayan malzemeler ise matris olarak adlandırılır. Matris malzemelerin kompozit malzemeler içerisinde kullanılma sebepleri fiber malzemeleri bir arada tutması, uygulanan yükü fiber malzemeler üzerine homojen olarak dağıtması ve fiber malzemeleri dış etkilerden koruması olmak üzere üç temel prensibe dayanmaktadır (Sepet,2014) (Türkmen,2013).

Kompozit malzemeler her en kadar günümüzde endüstride yeni yeni yaygınlaşıyormuş gibi görünse de binlerce yıl önce kullanılmaya başlanmıştır. Bunların en güzel ve en çarpıcı örneği ise kerpiçtir. Kerpiçin bileşimindeki kil, dayanıklılığı artırması için saman ve bitkisel liflerle (ağaç kabuğu, odun parçası vb.) harmanlanmıştır. Binlerce yıl öncesinden günümüze gelen ve kerpiçin yerini hızlı bir şekilde almayı başaran

özellikle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan kompozitlerden biri ise betondur. Çimento ve kumdan meydana gelen matris malzemesi çelik çubuklar ile takviyelenmektedir (Demirel,2007) (Sepet,2014).

1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

1.1.1. Matris malzemelerine göre kompozitlerin sınıflandırılması

1.1.1.1. Metal matrisli kompozitler (MMK-MMC)

Metal matrisli kompozit çeşidinde ana malzemeyi yani matris malzemesini metal veya metal alaşımı malzemeler oluşturmaktadır. Bu kompozitlerde takviye malzemesi olarak genellikle seramik malzemeler kullanılmaktadır. Seramiklerin ve metal malzemelerin mekanik özellikleri bir araya gelerek aşınma dayanımı yüksek, kırılma tokluğu ve basma gerilmesi oldukça yüksek malzemeler elde edilmektedir. Ayrıca gerilme dayanımları da yüksektir. Bu kompozit malzemeler genellikle uzay ve havacılık, otomotiv gibi sektörlerde kullanılmaktadır (Hüner,2008) (Özorak,2014).

1.1.1.2. Seramik matrisli kompozitler (SMK-CMC)

Seramik matrisli kompozitler çok iyi derece termal dayanım göstermekle birlikte çok sert ve kırılındırlar. Seramik matrisli kompozitler eğer seramik fiberlerle takviye edilirlse mukavemetleri ve toklukları artmaktadır. Bu kompozit çeşidi iyi bir yalıtım (elektriksel yalıtım) malzemesi olarak da kullanılabilirler (Hüner,2008) (Onat,2015) (Özorak,2014).

1.1.1.3. Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Polimer matrisli kompozitler genellikle petrokimya esaslı malzemelerdir. Günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip kompozit çeşididir. Polimer matrisli kompozitler kendi içerisinde Termoset ve Termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır (Şahin,2014).

Termosetler:

Lif takviyeli kompozit yapımında kullanılırlar. Bu tip plastikler şekillendirildikten sonra tekrar eski yapılarına dönüştürülemezler. Örnek olarak polysterler, epoksiler ve aminler bu grupta yer alırlar.

Termoplastikler:

Sünektirler ve şekillendirildikten sonra tekrar ısıtılarak şekillendirilebilirler. Termoplastikler amorf yapıda veya yarı kristalin yapıda olabilirler. Amorf yapıya sahip termoplastiklerde moleküller gelişi güzel dağılırlar. Kristalin yapıya sahip termoplastiklerde ise moleküller düzenli bir yapıya sahiptirler. Amorf ve kristalin yapılar malzemede bir arada bulunurlar ki bu tip yapılara kısmi kristalin yapılar denir. Örnek olarak naylon, polietilen, akrilikler ve viniller bu grupta yer alırlar.

1.1.2. Takviye malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması

1.1.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler

En yaygın kompozit çeşididir. Bu tür kompozitlerde dikkat edilmesi gereken en önemli özellik elyafların dağılmasıdır. Çünkü elyafların dağılımı yapının mukavemet özelliklerini etkileyen en önemli unsurdur.

Elyafın yerleşimleri ile ilgili kısaca örnek vermek gerekirse birbirlerine paralel şekilde yerleştirilen elyaflara, elyaf doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, dik doğrultuda çok düşük mukavemet özellikleri görülür (Vatangül,2008) (Hüner,2008).

1.1.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler

Matris malzeme içerisinde başka bir malzemenin granül halde bulunmasıyla elde edilirler. Granüller yani partiküller malzeme içerisine izotrop olarak dağılırlar. Yapının mukavemeti partiküllerin sertliğine bağlıdır. Bu kompozit çeşidi düşük maliyetlidir ve oldukça rijit bir özelliğe sahiptirler. Metal, Seramik ve polimerlerin bileşimlerinden oluşurlar (Vatangül,2008).

1.1.2.3. Tabakalı kompozitler

Bu kompozit çeşidi en eski ve en yaygın kullanım alanına sahiptirler. Farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip en az iki tabakanın bir araya getirilmesiyle oluşur. Elyafın farklı yönlenmelere sahip olması ile yüksek mukavemet değerleri elde edilirler.

1.1.2.4. Karma hibrit kompozitler

Kompozit yapı içerisinde iki veya daha fazla elyaf çeşidinin bulunması ile meydana gelen malzemelerdir.

Örnekle açıklamak gerekirse Grafit düşük tokluk değerlerine sahip, iyi basma mukavemeti olan pahalı bir elyafken, Kevlar ucuz ve tok olmasına rağmen basma mukavemeti oldukça düşüktür. Bu iki yapı bir araya getirilerek maliyeti düşük, basma mukavemeti yüksek bir yapı elde edilebilir (Sugözü,2008).

1.2. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

1.2.1. Elle yatırma / Elle tabakalama

Kalıp içerisine elle yerleştirilen kumaşlara bir rulo veya fırça yardımı ile reçine malzemesinin emdirilmesi şeklinde üretilmektedir. Reçine malzemesi kumaşlara tek tek emdirilebileceği gibi üst üste birkaç kumaşa da yedirilebilir. Burada önemli olan nokta kumaşlar ile reçine malzemesinin birbirlerine iyi nüfus etmeleridir. Genellikle adetli üretimlerde kullanılan bir yöntemdir (Becenen,2008) (Onat,2015) (İmak, 2016).

1.2.2. Püskürtme / Sprey kalıplama

Bu yöntem elle yatırma yönteminin geliştirilmiş halidir. Bu yöntemde boya tabancası gibi bir tabanca kullanılır. Metrelerce uzunluktaki elyaf malzeme tabanca üzerinde bağımsız çalışan kırpıcı sayesinde kırpılır. Bu kırpılan elyaflar, içerisine sertleştirici maddeler katılmış reçine ile birlikte tabanca yardımıyla kalıba püskürtülür. Kalıba püskürtme işlemi tamamlandıktan sonra bir rulo veya fırça yardımıyla düzeltme işlemi gerçekleştirilir (Becenen,2008) (Onat,2015).

1.2.3. Elyaf sarma / İplik sarma

Bu yöntem sürekli elyaf liflerinin bir reçine içerisinde güzelce ıslatıldıktan sonra iki makara arasından çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılması işlemidir. Liflerin sarım açalarına bağlı olarak farklı mekanik özelliklere sahip malzemeler elde edilebilir. Bu yöntem kullanılarak genellikle boru, araba şaftı, gemi/yat direkleri gibi ürünler üretilir (Becenen,2008) (Onat,2015).

1.2.4. Reçine transfer kalıplama (RTM)

Bu yöntem el ile kalıplama metoduna göre daha hızlı daha düzgün kalıp yüzeyi elde etme konusunda daha başarılıdır. Bu yöntemde hazırlanan çelik ya da kompozit kalıplar arasına takviye malzemesi yerleştirildikten sonra reçinenin basınçlı bir şekilde kalıp içerisine basılması ile gerçekleşmektedir. Bu metodun en önemli özelliği malzemede boşluklu yapının kalmaması ve parça yüzeylerinin oldukça düzgün olmasıdır. Bu metotta kalıp içerisindeki havanın dışarı çıkartılması için vakum da kullanılabilir (Becenen,2008) (Onat,2015).

1.2.5. Vakumlu paketleme

Bu yöntem elle kalıplama metodunun devamı gibi düşünülebilir. Elle kalıplamada hazırlanan ürün daha sonra bir vakum altına alınarak reçinenin takviye malzemesi üzerine iyice emdirilmesi esasına dayanmaktadır. Yöntemin uygulanışı hazırlanan reçine ve takviye malzemesi bir kalıp üzerinde elle yatırma metodu ile hazırlandıktan sonra en üst katman olarak bir vakum torbası yerleştirilir.

Daha sonra torba içerisindeki havanın çekilmesinden sonra yaklaşık 1 atm basınç altında malzeme bekletilir. Daha sonra malzeme bir fırın yardımı ile ısıtılır ve kürlenme işlemi tamamlanır (Becenen,2008) (Onat,2015).

1.2.6. Otoklav pişirme

Bu yöntemde öncelikle tabakalama metodu ile üretilecek malzeme hazırlanır ve vakum torbalaması yapılır. Daha sonra hazırlanan bu malzeme otoklav fırınının içerisine yerleştirilerek sıcaklık ve basınç altında pişme işlemi gerçekleştirilir. Otoklav fırınlar iç sıcaklığı ve basıncı kontrol edilebilir basınçlı kaplar olarak dizayn edilirler.

Otoklav fırın içerisindeki basınç iki şekilde oluşturulabilir.

Vakumlu torbalamada olduğu gibi vakum torbası içerisine yerleştirilmiş malzemeye iç vakum uygulanarak.

Otoklav fırın içerisinde dış basınç oluşturarak. Malzeme üzerinde dış basınç oluşturmak için otoklav fırın tankının içerisine dışarıdan hava veya azot gazı basılır.

Böylece hem iç basınç hem de dış basınç oluşturarak otoklav fırın içerisinde istenen basınç değerleri oluşturulabilir (Becenen,2008) (Onat,2015).

1.3. Kompozit Malzemelerde Aşınma ve Aşınma Özellikleri

Kayma, yuvarlanma veya darbe sonrasında malzeme yüzeylerinden ufak parçacıkların veya tabakalar halinde ince parçaların ayrılması ile meydana gelen malzeme kaybı aşınma olarak tanımlanmaktadır. Birbirlerine temas eden iki yüzey arasında bir yüzey diğerinin üzerinde hareket ettirildiğinde ya da kaydırılmak istendiğinde bu kaydırma kuvvetine zıt yönde bir sürtünme kuvveti meydana gelmektedir. Bu tanımda malzeme kaybı ifadesi yer almasına rağmen, ağırlıkta ya da hacimde herhangi bir değişim olmaksızın malzemenin cisim üzerindeki yer değiştirmesi de aşınma olarak tanımlanmaktadır. Temas halindeki yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına neden olmakta iken, aşınma ise çalışma toleranslarının bozulmasına ve makine parçalarının fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmesine engel olmaktadır (Serin, 2015) (Kısa, 2017).

Aşınma, temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişikliklerin çokluğu nedeniyle kendi içerisinde birden fazla çeşite ayrılmaktadır. Aşınma türlerini adhezif aşınma, abrasif aşınma, yorulma ve tabakalı (delaminasyon) aşınma, korozyon aşınması ve erozyon aşınması olmak üzere 5 ana başlıkta inceleyebiliriz (Serin,2015) (Koç,2011) (Chand, 1996).

Adhezif Aşınma: Bir malzemenin başka bir malzeme yüzeyindeki bağlı hareketi esnasında birbirine kaynaşan veya yapışan yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu oluşan aşınma türüdür. Malzeme yüzeyinde üretim kaynaklı olan pürüzlülükler uygulanan yük ile orantılı olarak birçok noktadan birbirlerine temas eder. İki yüzeyin bu teması esnasında yüzeyde bulunan izler, çizikler, düzensiz yapılar malzeme

yüzeyinde bölgesel yüksek basınçlar meydana getirir ve yüzeydeki filmlerin kırılmasına neden olurlar (Ertürk, 2018).

Abrasif Aşınma: Biri diğerinden daha sert ve pürüzlü bir malzeme ile daha yumuşak bir malzemenin teması sonucu meydana gelen aşınma türüdür. Bu aşınma türü sert ve keskin partiküllerin malzeme yüzeyinden talaş kaldırması şeklinde de açıklanabilir (Chand, 1996).

Yorulma Aşınması: Bu aşınma sürekli bir iz üzerinde tekrarlanan kayma veya yuvarlanma hareketi esnasında ortaya çıkar. Değişken ve tekrarlı yüklemeler sonucunda maksimum kayma gerilmelerinin meydana geldiği noktalarda plastik deformasyonlara bağlı olarak boşluklar meydana gelmeye başlar. Bu meydana gelen boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerler ve yüzeyde küçük çukurlar oluştururlar ve bu olaya yorulma aşınması adı verilir.

Korozyon Aşınması: Aşınan yüzeyler korozyon etkilerine maruz kaldığında meydana gelmektedir. Kimyasal korozyon tek başına oluşabileceği gibi diğer aşınma türleri ile de birlikte meydana gelebilmektedir.

Erozyon Aşınması: Sıvı içerisindeki sert ve aşındırıcı partiküllerin, malzeme yüzeyinden parçalar koparması sonucunda meydana gelmektedir. Genellikle pompa, pervane, nozul gibi malzemelerde görülmektedir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yapılan literatür çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretimlerinde değişik katkı maddelerinin malzemede istenilen karakteristik özelliklerin yakalanabilmesi için eklendiği gözlemlenmiştir. Yapmış olduğum bu tez çalışmasında susuz bor katkısının, cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerindeki aşınmaya etkilerini inceleyerek nasıl bir fayda sağladığını saptamayı amaçlamaktadır.

Literatürde yer alan ulusal ve uluslararası tez, makale, bildiriler incelenerek özellikle yapmış olduğumuz çalışmadaki aşınma mekanizmaları ile uyumlu olan Demir ve arkadaşlarının (2019), Yılmaz'ın (2013), İlhan ve arkadaşlarının (2018), Kartal ve arkadaşlarının (2019), İpek ve arkadaşlarının (2015), Bağcı'nın (2010), Çiftçi'nin (2010), Sönmez'in (2009), Çelik ve arkadaşlarının (2016) yapmış oldukları farklı malzeme konseptleri ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir.

Demir ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada ağırlıkça %75 elyaf ve %25 de reçine olan vinil ester cam elyaf takviyeli plastik (CETP) ve karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) kompozit çubuklar kullanmışlardır. Deney parametreleri olarak da numunelere uygulanan yükler 5 - 10 - 15 N'dur. Kayma Hızı 0,4 – 0,6 - 0,8 m/s olarak seçilmiştir. Kayma mesafesi ise 250 - 500 - 750 m olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ise Karbon elyafli kompozitlerin, cam elyafli kompozitlerden daha fazla dalgalanma gösterdiği ve sürtünme katsayısının daha fazla olduğu görülmüştür. Kayma mesafesindeki değişimin sürtünme katsayısı üzerindeki etkisinin, uygulanan yükteki ve kayma hızındaki değişimlerin etkisinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Cam elyafli kompozitlerde uygulanan yükteki artış ve kayma hızındaki artışın etkisindeki kütle kayıpları benzer çıkarken, kayma mesafesinin artmasının kütle kaybına etkisinin daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Yılmaz (2013) yapmış olduğu deneylerde farklı açılarda yerleştirilmiş cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler ve cam/karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler ile aşınma davranışlarını incelemiştir. Aşınma deneyi için 67 - 92 N aşınma yükü,

1 - 2 m/s aşınma hızı, 500 -1000 - 1500 - 2000 aşınma mesafesi olarak seçilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda yükün etkisinin aşınma hızının etkisinden daha fazla olduğu saptanmıştır. Tüm kayma mesafeleri göze alındığında en düşük ağırlık kaybının karbon elyaf takviyeli kompozitlerde olduğu gözlemlenirken, en fazla ağırlık kaybı ise cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir.

İlhan ve arkadaşları (2018) yapmış oldukları deneyde Cam elyaf takviyeli kompozit üretiminde farklı reçineler ve dolgu malzemeleri (cam küre ve alümina) kullanarak malzemede meydana gelen aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda düz ortoftalik polyester reçineye eklemiş oldukları cam kürenin aşınmayı düşürdüğünü gözlemlenmiştir. Ayrıca numuneler üzerinde aşınma yükünün etkisinin, aşındırma hızının etkisinden daha fazla olduğunu saptamışlardır.

Kartal ve arkadaşları (2019) yapmış oldukları deneylerde kullanılmak üzere bor nitrür partikül takviyeli vinil ester kompozit malzemeler üretmiştir. Farklı oranlarda (%0,5 - %1 - %1,5 - %2) bor nitrür takviyesi ile üretilmiş olan deney numunelerinin aşınma dayanımı, darbe dayanımı, sertlik özellikleri gibi fiziksel olarak dayanıklılığı incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bor nitrür oranı arttıkça malzemenin çekme mukavemetinde ve yüzde uzama değerlerinde azalmalar saptanmıştır. Darbe mukavemetinde ise bor nitrür miktarı arttıkça artış gözlemlenmiştir. Aşınma miktarı incelendiğinde ise bor nitrür ilavesi arttırıldıkça aşınma miktarında bir düşüş gözlemlenmiştir.

İpek ve arkadaşları (2015) yapmış oldukları deneylerde basınçlı kalıplama metodu ile üretilmiş, kırılmış cam elyaf takviyeli kestamid matrisli kompozit malzemeler kullanmışlardır. İlk grup numuneler sabit basınç altında ve değişen kalıplama sıcaklıklarında üretilirken, ikinci grup numuneler ise sabit sıcaklıkta ve değişen kalıplama basınçlarında üretilmiştir. Deney ise 5 - 10 - 15 saatlik aşınma süresinde 1 - 2 - 5 ve 10 kg yükler altında 100 rpm hızda gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları olarak tüm aşınma sürelerinde 5 kg'lık yüke kadar elde edilen aşınma oranları az iken 10kg'lık yükte elde edilen aşınma oranlarında yaklaşık 10 kat artış görülmüştür. Üretim aşamasında kalıplama basıncı arttırıldığında ise sürtünme kuvvetinin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

Bağcı (2010) yapmış olduğu deneylerde saf haldeki cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeleri ana deney numunesi olarak seçmiş olup bu saf yapı içerisinde reçinenin %15'i oranında ayrı ayrı Borik Asit (B_2O_3), Borax (B_2O_3), Silisyum Oksit (SiO_2) ve Alüminyum Oksit (Al_2O_3) dolgu maddeleri ilave ederek yeni cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeler elde etmiştir. Deney parametreleri olarak da üç farklı çarpma açısı ($30^\circ - 60^\circ - 90^\circ$), üç farklı çarpma hızı (23 - 34 - 53 m/s), iki farklı alümina aşındırıcı partikül boyutu (200 - 400 μm) ve iki farklı fiber doğrultusu ($0^\circ - 45^\circ$) için erozyon aşınma davranışlarını incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda ise çarpma açısının değiştirilmesinin deney numuneleri üzerinde erozyon oranının farklılaşmasını sağladığı saptanmış olup en olumsuz çarpma açısının 30° olduğu gözlemlenmiştir. Aşındırıcı partikül boyutundaki artış, aşınmanın da artmasına sebebiyet vermiştir. Boyuttaki iki katlık bir artış erozyon miktarında aynı artışı göstermese de erozyon oranında belirgin bir artışa neden olduğunu gözlemlenmiştir.

Çiftçi (2010) yapmış olduğu deneylerde kullanılmak üzere ağırlıkça %5'ten %20'ye kadar cam elyaf oranına sahip balatalar üretmiştir. Numunelerin üretiminde takviye malzemesi olarak cam elyaf, bağlayıcı malzeme olarak fenolik reçine, dolgu malzemesi olarak ise baryum sülfat (barit), vernikülit ve sürtünme düzenleyici olarak grafit ve alümina kullanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda cam elyaf oranı arttıkça numunelerdeki sürtünme özelliklerinin iyileştiğini ancak %20'nin üzerine çıktığında kötüleştiğini saptamıştır. Balatalarda kullanılan cam elyaf sürtünme performansı açısından iyi bir seçenek olsa bile, balataların üretilebilirliği, sessiz çalışması, fren diski ile uyumu gibi unsurlar yönünden cam elyaf kullanmanın uygun olmadığını gözlemlenmiştir.

Sönmez (2009) yapmış olduğu deneylerde kullanılmak üzere farklı oranlarda B_4C içeren kompozit malzemeler üretmiştir. Daha sonra ürettiği malzemeleri pin on disk cihazında farklı yükler altında abrazif aşınmaya tabii tutmuştur. Yapılan deneyler sonucunda B_4C ilavesinin aşınma dayanımını arttırdığını ve deney süresince uygulanan yük artışının da malzemedeki ağırlık kayıp oranını arttırdığını gözlemlenmiştir.

Çelik ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada Cam elyaf ve Karbon elyaf takviyeli kompozit çubukların aşınma davranışlarını, ağırlık kaybına bağlı olarak

incelemişlerdir. Hazırlanan numune çubuklarında takviye edici olarak cam elyaf ve karbon elyaf kullanılırken reçine olarak ise vinil epoksi kullanmışlardır. Deney numunelerinin farklı yük ve kayma mesafeleri etkisinde ağırlık kayıpları olduğunu gözlemlemişlerdir. Deney yapılırken özel bir deney düzeneği tasarlamışlar ve torna tezgahına uyarlamışlardır. Deney parametreleri olarak 0,40 m/s'lik sabit bir aşınma hızı seçilmiş, 245 - 490 - 730 m kayma mesafesi ile 5 - 10 - 15 N'luk yükler seçilmiştir. Aşındırıcı malzeme olarak ise yüzey pürüzlülüğü 2,3 µm olan 30 mm çapında AISI304 paslanmaz çelik kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda deney numunelerine uygulanan yük ve kayma mesafelerinin artırılmasının, ağırlık kaybının artmasına neden olduğunu saptamışlardır. Uygulanan yükün ağırlık kaybı için oldukça önemli bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı deney parametreleri altında cam elyaf takviyeli malzemelerin, karbon elyaf takviyeli olan malzemelere göre daha fazla aşındığı gözlemlenmiştir.

3. MALZEME VE NUMUNE HAZIRLAMA

Deneyde kullanılacak malzemeler Kocaeli Üniversitesi Teknopark Yerleşkesi İleri Malzemeler Laboratuvarında üretilmiştir. Deneyde kullanılacak malzemeler ve üretim aşamaları 3.1 ve 3.2 'de verilmiştir.

3.1. Kullanılan Malzemeler:

Tez çalışmasının ana konusu olan susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üretimi için kullanılan malzemeler Cam Elyaf, Polyester, MEK, Kobalt ve Susuz Bor'dur.

3.1.1. Cam elyaf özellikleri

Cam Elyaf fitillerinden iki eksenli (+45) ve (-45) derece olarak üretilmiş kumaşlardır. Multiaxial kumaşlar el yatırma metodu için tercih edilecek en uygun kumaşlardır. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan cam elyaf: Cam Elyaf Kumaş BA 468 gr/m² +/- 45 EN:127cm

3.1.2. Polyester özellikleri

CTP Tipi Polyester Reçine: CE92 Ortoftalik esaslı, CTP tipi doymamış polyester reçinedir. Polyester reçineye ait özellikler Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

- 1)- Endüstriyel tip klasik reçinedir.
- 2)- Elyafı kolay ve iyi ıslatır.
- 3)- Hacimsel çekmesi düşüktür.
- 4)- Yüksek mekanik özelliklere sahiptir.

Tablo 3.1. Polyester reçinenin özellikleri tablosu

Özellik	Aralık	Birim	Test
Yoğunluk (23°)	Yaklaşık 1,1	gr/cm ³	ISO 1675
Kırılma İndisi (23°)	1,518 – 1,521		
Parlama Noktası	Yaklaşık 33	°C	2800
Raf Ömrü, Karanlık (23°C)	6	Ay	
Renk (Hazen)	0 – 250		ISO 2211
Görünüm	Şeffaf		
Monomer Oranı	38 – 42	%	OT012
Asit Değeri	18 – 22	mgKOH/g	ISO 2114

3.1.3. MEK özellikleri

MEK ticari adı Metil Etil Keton olarak bilinen keton tipi aktif bir solventtir. Solventler yani çözücüler, genellikle karışımdaki malzemeleri çözmek veya seyreltmek için kullanılan çok sayıda kimyasal maddeden oluşan organik sıvıdır. Renksiz ve sıvı bir malzemedir. Solvente ait özellikler Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Kullanım alanı çok yaygın olan keton grupları arasındadır. Yüzey boyama, yapıştırıcı, tiner, baskı mürekkepleri ve temizlik endüstrilerinde solvent olarak kullanılır.

Tablo 3.2. Metil etil keton (MEK) özellikler tablosu

Özellik	Aralık	Birim
Yoğunluk (20°C)	0,804 – 0,807	gr/cm ³
Çözülme / Karışma Kabiliyeti	290	g/l
Dinamik Viskozite (15°C)	0,423	mPas
Erime Noktası	-86,3	°C
Kaynama Noktası	79 / 80,5	°C
Tutuşma Isısı	514	°C
Molekül Ağırlığı	72,11	gmol ⁻¹
Buhar Basıncı	105	hPa

3.1.4. Kobalt özellikleri

Kobalt karışım malzemesinin daha hızlı donmasını katılaştırmasını sağlamak için kullanıldı. Kobalt malzemesinin özellikleri Tablo 3.3’de gösterilmiştir. Kobalt malzeme üretiminde yapının daha hızlı sertleşmesi ve kalıp içerisinde katılma süresinin kısaltılmasında kullanılmıştır. Kobalt endüstride ise korozyona çok dirençli olan ve yüksek sıcaklıklarda kararlı olan süper alaşımlarda kullanılır. Ayrıca boya, mürekkep, cam, seramik ve hatta kozmetikte mavi renklendirici bir ajan olarak

kullanılır. Günümüzde de en yaygın kullanıldığı yer olarak ceplerimizden eksik etmediğimiz günlük yaşantımızın en büyük zaman dilimini harcadığımız cep telefonlarının bataryalarında kullanılmaktadır.

Tablo 3.3. Kobalt malzemenin özellikler tablosu

Özellik	Aralık	Birim
Renk	Metalik	
Fiziksel Durum	Sıvı	
Erime Noktası	1494	°C
Kaynama Noktası	2927	°C
Yoğunluk (20°C)	8,86	gr/cm ³
Çözünürlük (20°C)	2,94	Mg/l

3.1.5. Susuz bor özellikleri

Susuz bor (Susuz Disodyum Tetraborat) ticari ismi Etibor-68 olarak bilinen ve Etimaden tesislerinde üretilmiş bor rafine ürünüdür. Cam, seramik, döküm ve metal sektöründe çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Susuz bora ait kimyasal özellikler Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Susuz bor malzemesinin özellikler tablosu

Kimyasal Özellik	Aralık	Birim	Fiziksel Özellikler	Aralık	Birim
B ₂ O ₃	68,30 – 69,40	%	Özgül Ağırlık	2,367	gr/cm ³
Na ₂ O	30,41 – 30,90	%	Dökme Yoğunluk	1,27	gr/cm ³
SO ₄	300	ppm max	Molekül Ağırlığı	201,27	g/mol
Cl	105	ppm max	Erime Noktası	741	°C
Fe	50	ppm max	Kimyasal Formül	Na ₂ B ₄ O ₇	
Suda Çözünme	920	ppm max	Elek Altı Boyut	20 mikron	

3.2. El ile Yatırma Metodu ile Numune Üretilmesi

Yöntem daha önce hazırlanmış numune kalıplarının içine el ile yerleştirilen cam elyafların bir boya fırçası veya rulosu ile reçinenin yedirilmesi temeline dayanır. Reçine emdirilmiş cam elyafı malzeme kalıp içerisinde oda sıcaklığı ve atmosferik basınç altında soğumaya bırakılır. Kalıp soğuduktan sonra malzeme kalıp içerisinden çıkartılır. Bu metot uygulanış olarak yoğun bir işçilik gerektirse de düşük sayıdaki üretimler için tercih edilen bir yöntemdir.

Bu yöntemde herhangi bir termoset reçine (epoksi, polyester, vinilester, fenolik) kullanılabilir. Takviye malzemesi olarak ise bilinen lifler (Cam, karbon, aramit...vb) kullanılabilir. Ancak ağır aramit kumaşların bu yöntemle ıslatılması (reçine emdirilmesi) çok zordur.

3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri Kocaeli Üniversitesi Teknopark Yerleşkesi İleri Malzemeler Laboratuvarında üretilmiştir. Deneyde kullanılan kalıplar 300x150x2 mm boyutlarında üretilmiştir. Cam elyaf deney kalıp ölçülerine göre makas yardımıyla 300x150 mm ölçülerinde dikdörtgen parçalara ayrılmıştır. (Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.) Daha sonra bir kap içerisinde polyester, MEK, Susuz Bor ve kobalt belirli oranlar ile karıştırılmıştır.



Şekil 3.1. Cam elyaf malzemenin kalıp ölçülerinde işaretlenmesi



Şekil 3.2. Cam elyaf malzemenin işaretlenen ölçülerde kesilmesi

Kalıp içerisine önce üzerine hazırlanan karışım (Polyester, MEK, Kobalt ve Susuz Bor) sürülmüş üzerine hazırlanan cam elyaflar yerleştirilmiş ve üzerine tekrar hazırlanan karışım iyice cam elyafa emdirilecek şekilde bir fırça yardımıyla sürülmüştür. (Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.) Daha sonra bu işlem Cam Elyaf üç kat olacak şekilde tekrarlanmıştır. (Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.) Kalıp altına ve üzerine kalıptan daha büyük ve ağırlık yapacak bir metal tabla koyulmuştur. Numune oda sıcaklığında ve atmosferik ortamda soğumaya bırakılmış ve kalıp içerisinde katılaştıktan sonra kalıptan çıkartılmıştır.

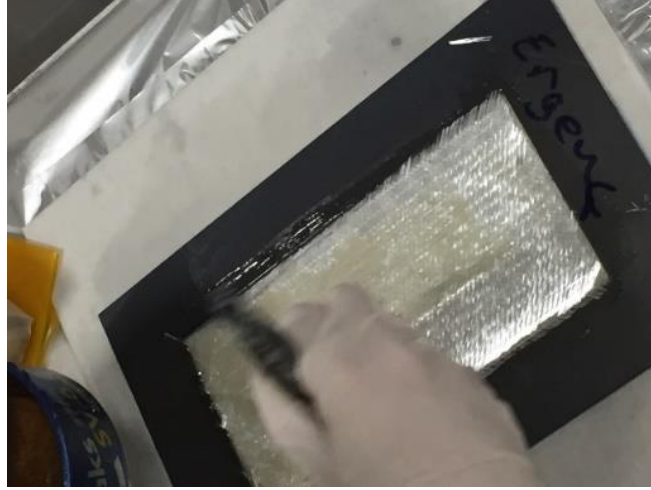
300x150 mm ölçülerinde %Susuz Bor oranları birbirinden farklı (Katkısız, %2,5 Katkılı, %5 Katkılı, %10 Katkılı ve %20 Katkılı) 5 deney numunesi elde edilmiştir.



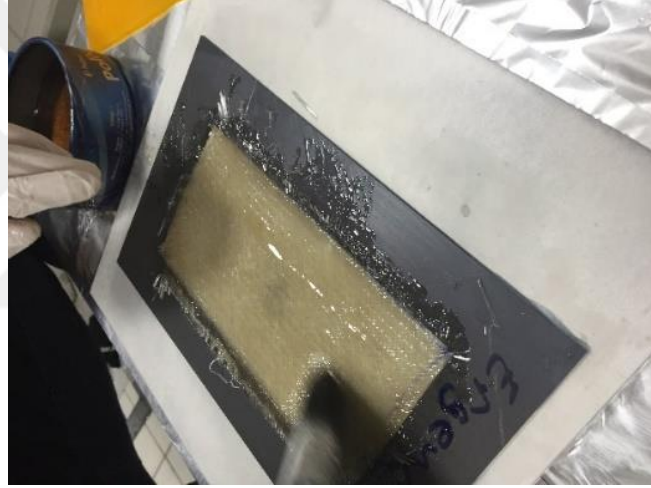
Şekil 3.3. Kalıp içerisine yerleştirilen cam elyaf üzerine reçinenin yedirilmesi



Şekil 3.4. Reçine üzerine tekrar cam elyafın yerleştirilmesi



Şekil 3.5. Cam elyaflar üzerine reçinenin fırça yardımı ile yedirilmesi



Şekil 3.6. Kalıp üzerine kaydırıcı malzemenin sürülmesi

3.4. Aşınma Deneyi için Hazırlanan Deney Numuneleri

Kocaeli Üniversitesi Teknopark Yerleşkesi İleri Malzemeler Laboratuvarında 300x150 mm ölçülerde üretilen susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli polyester malzeme Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Laboratuvarında bulunan Pin on Disk Tribometre Test cihazı çenesine uygun olacak şekilde 20x20 mm ölçülerinde elektrikli dekopaj testere ile kesilmiştir. Kesilen numuneler zımpara yardımı ile kenarları paralel olacak şekilde (Tribometre test cihazı çenesine bağlanması için) düzeltilmiştir. Daha sonra 20x20 mm ölçülerde

hazırlanan numuneler alkol ile yıkanıp kompresör yardımı ile kurutulduktan sonra hassas terazi kullanılarak deney öncesi ağırlıkları ölçülmüştür.

3.5. DSC Deneyi için Hazırlanan Deney Numuneleri

Kocaeli Üniversitesi Teknopark Yerleşkesi İleri Malzemeler Laboratuvarında aşınma deneyi için hazırlanan 20x20 mm ölçülerindeki numunelerden yaklaşık ağırlıkları 10mg olacak şekilde küçük parçalar maket bıçağı ve kıl testeresi ile çıkartılmıştır.

3.6. SEM Deneyi İçin Hazırlanan Deney Numuneleri

Taramalı Elektron Mikroskobu'nda (SEM) görüntü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine gönderilmesi ve yüzeyin gönderilen elektronlar ile taranması sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ile elde edilir.

Aşınma deney numunelerinin yüzeyi iletkenliği arttırmak için altın ile kaplandı. Altın ile kaplanan numunelerin aşınmalı ve aşınmasız bölümlerinden farklı büyütme oranlarında ekran görüntüleri JOEL-JCM-6000 model cihaz kullanılarak elde edildi ve aşınma mekanizmasının analizleri yapıldı.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Pin On Disk Aşınma (Tribometre) Deneyi

Hazırlanan numunelere, Nanoveo marka Tribometre cihazı pin on disk modunda kullanılarak adhezif aşınma testi gerçekleştirildi.

300x150 mm ölçülerinde hazırlanan deney numuneleri pin on disk test cihazı ağızına bağlanabilmesi için 20x20 mm ölçülerinde küçük kare eş parçalara elektrikli testere ile kesildi. Daha sonra parçalara ayrılan bu numuneler deney cihazı çenesine yerleştirildi. Deney parametreleri belirlenerek her bir numune için deney gerçekleştirildi. Deneyde yük, yol ve devir sayısı parametreleri değiştirilerek malzemedeki etkileri değerlendirildi. 20x20 mm ölçülerinde hazırlanmış deney numunelerinin başlangıç ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçülür. Deney numuneleri Pin-on-Disk aşınma test cihazının çenesine yerleştirilir. Deney esnasında kullanılacak aşınma parametreleri (Yük, devir sayısı ve aşınma mesafesi) belirlenir. Deney sonucunda numunede meydana gelen ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçülerek özgül aşınma miktarları belirlenir.

Deneyde kullanılacak olan 20x20 mm ölçülerindeki her numune ve Tribometre test cihazı üzerindeki aşındırıcı bilyenin yüzeyleri deneyden hemen önce alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Daha sonra numuneler test cihazına bağlanmadan önce hassas terazide tartılmış ve deney öncesi ağırlıkları not edilmiştir. Deney numuneleri hazırlanırken Susuz Bor katkısı ağırlıkça %2,5, %5, %10 ve %20 oranlarında eklenmiştir. Deney süresince numuneler 120 - 180 metrelik aşınma yolunda 20 – 25 – 30 N'luk yük altında 150 – 200 rpm'lik hızla Tribometre cihazı ile aşınmaya tabi tutuldu.

Tribometre test cihazı çenesine numune yerleştirilmiş ve aşınan deney numunesi ile aşındırıcı bilyenin yüzeylerinin birbirlerine paralel olmasına özen gösterilmiştir. Deneyde kullanılacak parametrelere göre yük, devir sayısı ve yol her bir numune için ayrı ayrı seçilmiş ve malzemeler aşınmaya tabi tutulmuştur. Test sonucunda ise

numuneler Tribometre cihazının çenesinden çıkartılarak hassas terazide deney sonrası ağırlıkları ölçülmüştür. Deney sonucunda Tribometre test cihazından Maksimum Sürtünme Kuvveti değerleri ve Maksimum Sürtünme Katsayısı değerleri alınmıştır. Daha sonra deney parametreleri kullanılarak 4.1 ve 4.2'deki denklemler kullanılmış ve aşınma oranı hesaplanmıştır

$$V = \frac{\pi.R.D^3}{6.r} \quad (4.1)$$

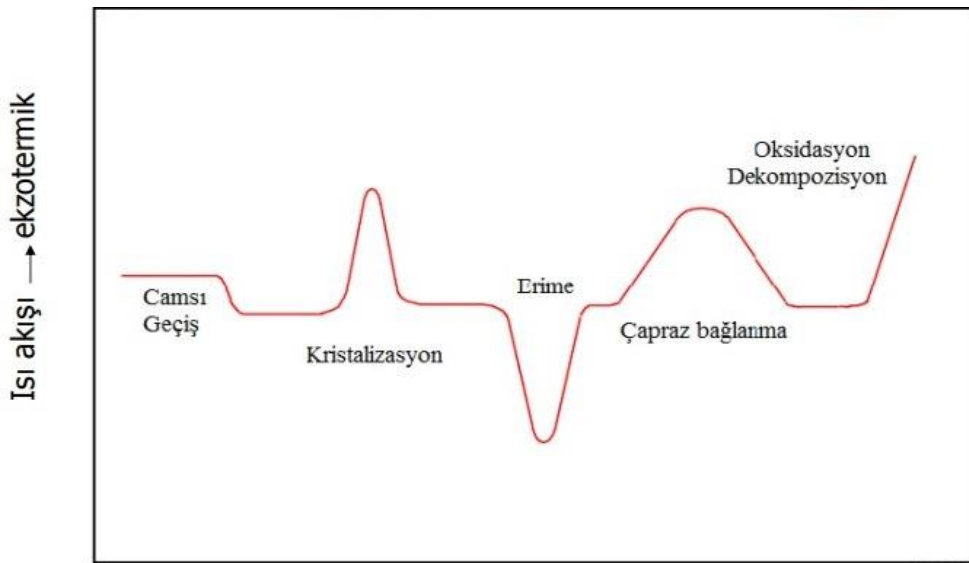
ASTM G99-05 standardı kullanılarak aşınma hacmi hesaplandı. Denklem 4.1.'de V aşınma hacmini (mm³), R sürtünme yarıçapını (mm), D aşınma izinin genişliğini (mm) ve r seramik topun yarıçapını (mm) ifade etmektedir.

$$k = \frac{V}{L.X} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2.'de ise V aşınma hacmini (mm³), X aşınma mesafesini (m) ve k ise aşınma oranını (mm³/Nm) ifade etmektedir. (Çağlar,2018) (Atik,2002) (Feyzulloğlu, 2010).

4.2. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) Deneyi

Malzemelerin ısı analizi için kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Malzemelerin belirli periyotlarla belirli test şartlarında ısıtılarak ne gibi fiziksel değişikliklere uğrayacağını incelendiği bir metottur.



Şekil 4.1. Diferansiyel taramalı kalorimetre grafiği (Nanjwade,2013)

Bu yöntem ile malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı, erime ve kaynama noktaları, kristallenme yüzdesi, spesifik ısı kapasitesi, entalpi, termal stabilite gibi değerleri belirlenebilir (Dural Erem, 2015) (Yaşar, 2000).

Aşınma deneyi için hazırladığımız 20x20 mm ölçülerindeki deney numunelerinden yaklaşık olarak 10 mg ağırlığına sahip küçük numuneler çıkartıldı. Hazırlanan numuneler alüminyum kesecik koyularak deney numune bölmesine yerleştirildi. Daha sonra boş alüminyum kese de referans bölmesine yerleştirildi. Deney numunesi olarak kullandığımız cam elyaf, polyester, susuz bor, kobalt ve MEK için erime noktaları ve spesifik özellikleri malzeme içerikleri tablosundan incelenerek deney sıcaklığı belirlenmiştir.

Elde edilen grafik üzerinden camsı geçiş sıcaklığı, erime ve kristallenme sıcaklık pikleri incelenerek sonuçlar değerlendirildi.

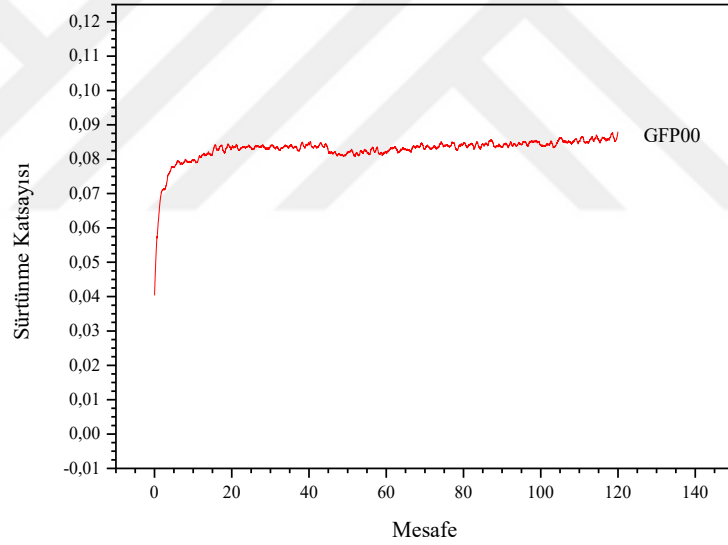
Deneyde kullanılan 10 mg olan DSC test numuneleri (DSC, TA Instruments Q200) cihazı ile ISO 11359-2: 1999 standardına göre 20 °C/dk deney hızında testler gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda ise erime grafikleri üzerinde erime sıcaklığı (T_m) ve erime enerjisi (entalpi, Δ H_{sc}) elde edilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

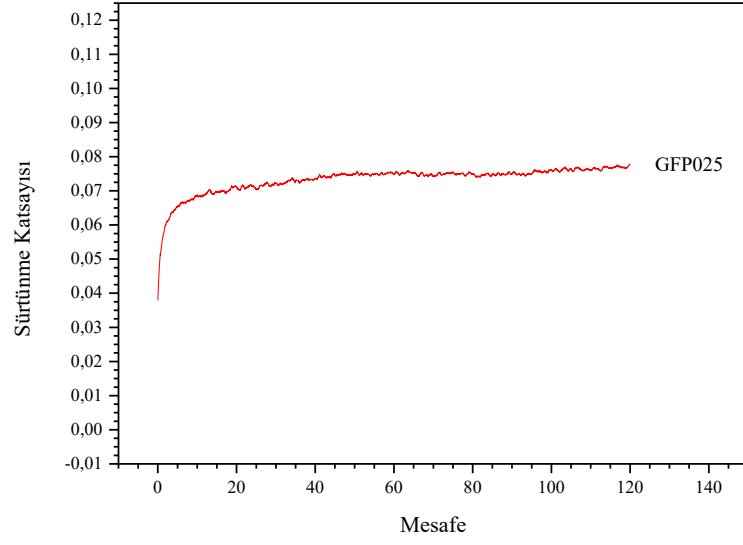
5.1. Aşınma Deneyi Sonuçları

Deney numuneleri hazırlanırken Susuz Bor katkısı ağırlıkça %2,5, %5, %10 ve %20 oranlarında eklenmiştir. Deney süresince numuneler 120 - 180 metrelik aşınma yolunda 20 N – 25 N – 30 N 'luk yük altında 150 – 200 rpm'lik hızla Tribometre cihazı ile aşınmaya tabi tutuldu.

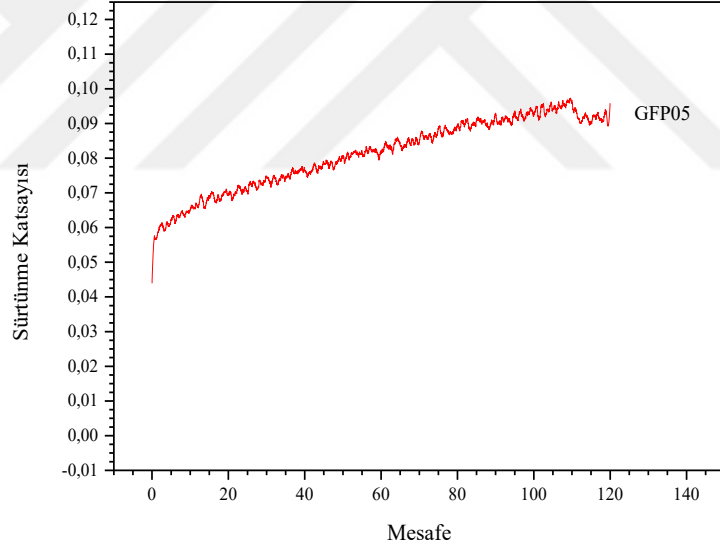
Şekil 5.1. – 5.5.'te 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



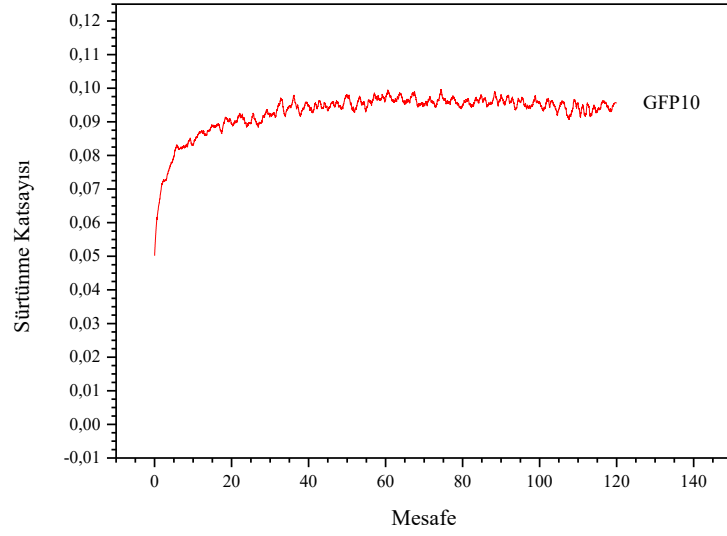
Şekil 5.1. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



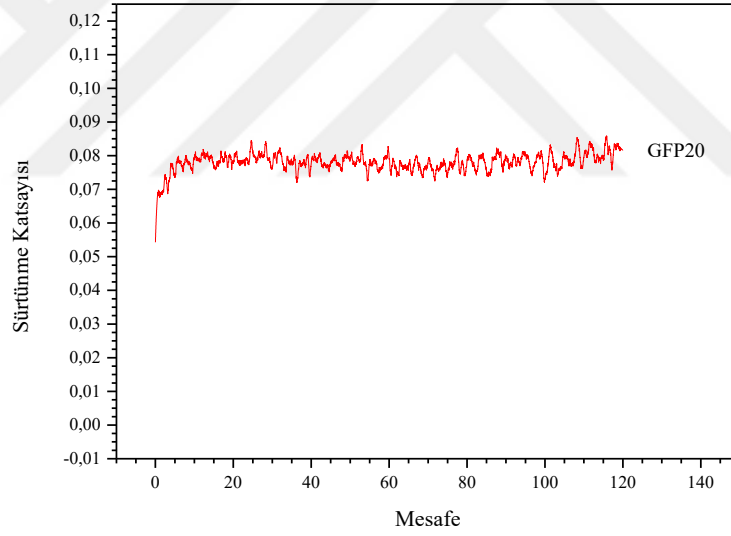
Şekil 5.2. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.3. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

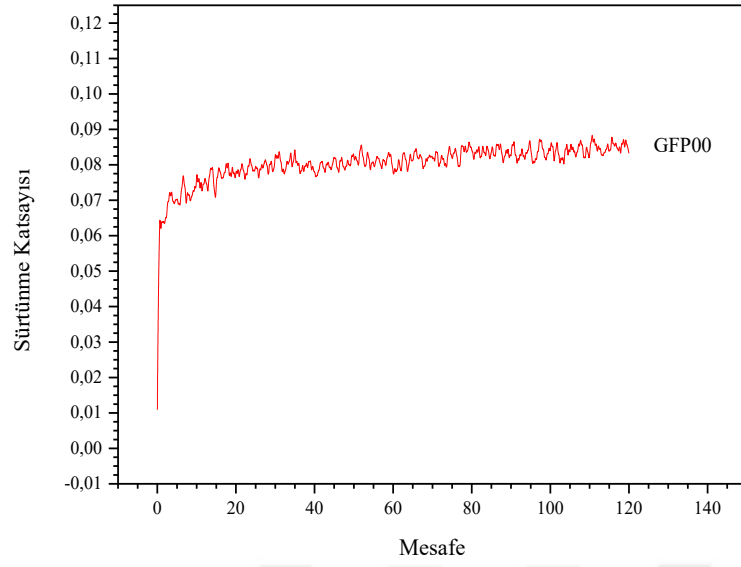


Şekil 5.4. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

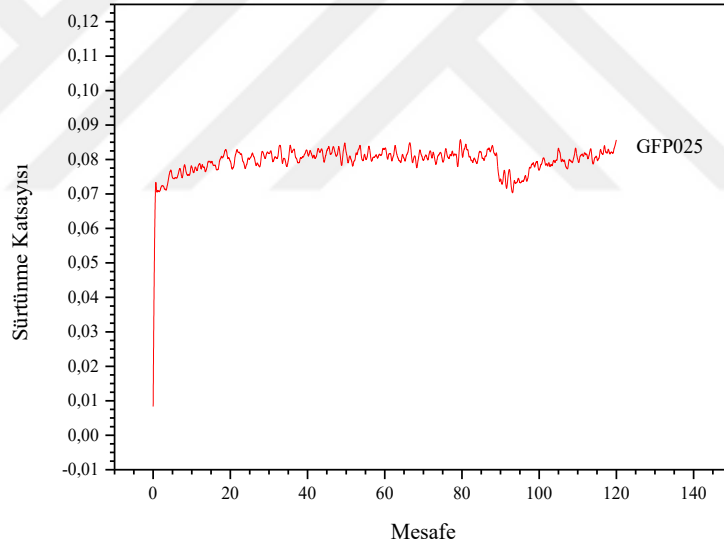


Şekil 5.5. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

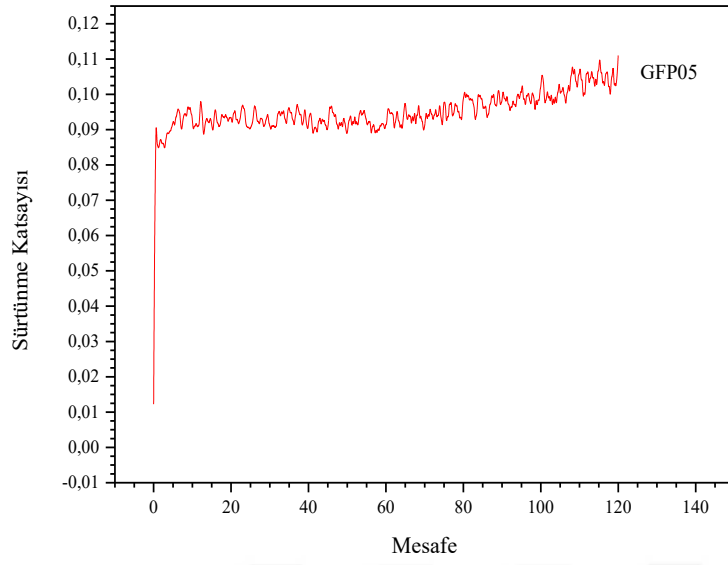
Şekil 5.6. – 5.10.‘da 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



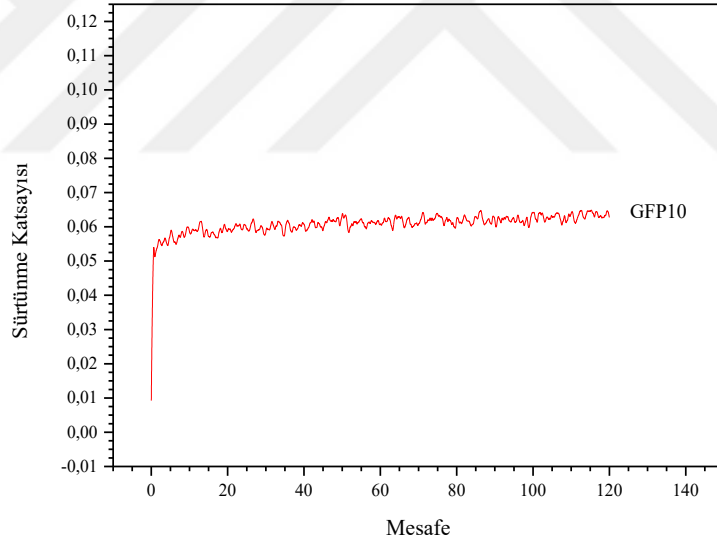
Şekil 5.6. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



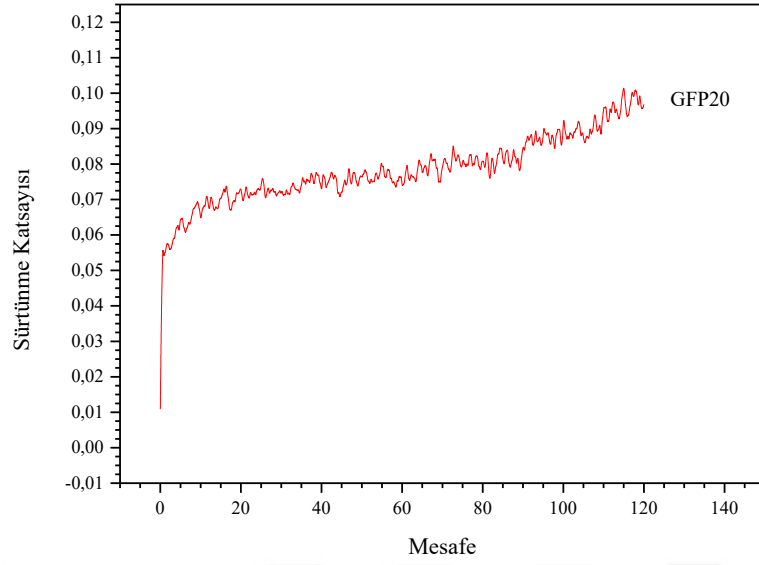
Şekil 5.7. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.8. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

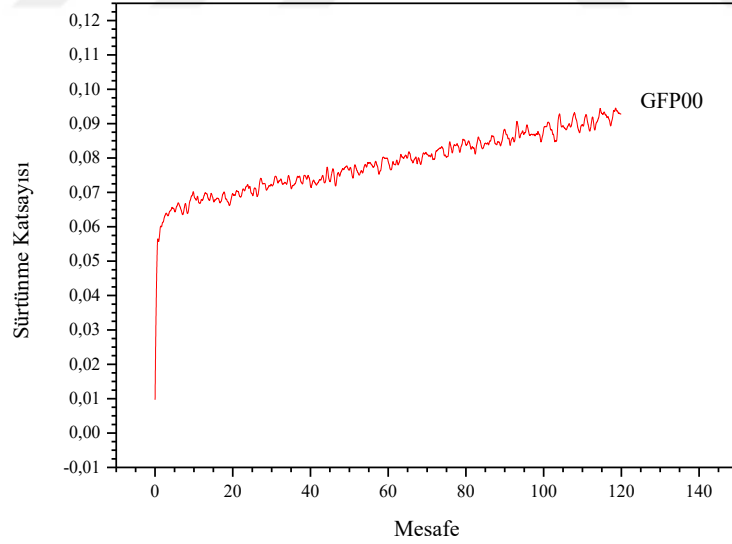


Şekil 5.9. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

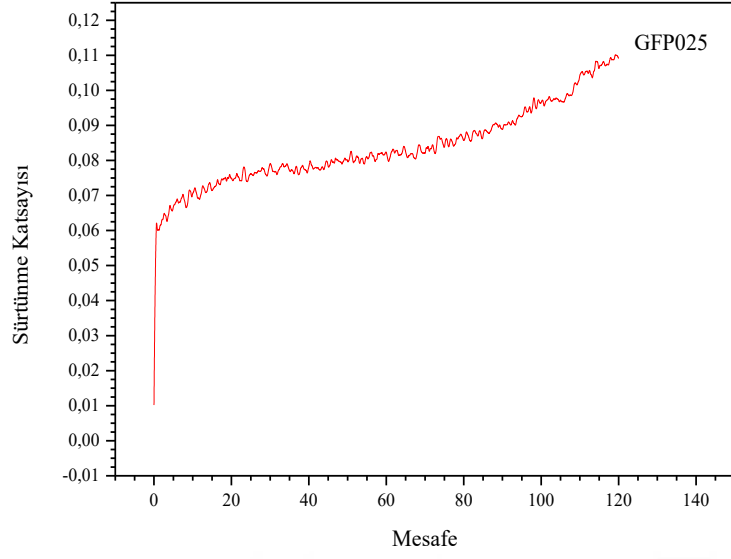


Şekil 5.10. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

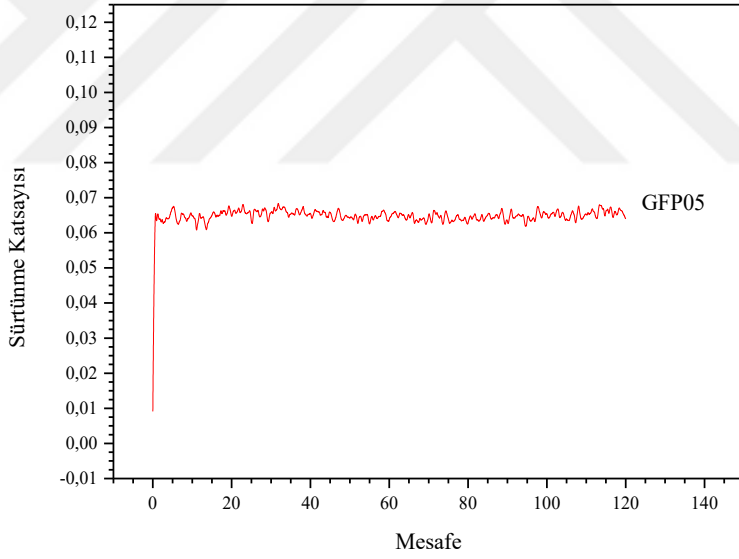
Şekil 5.11. – 5.15.'te 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



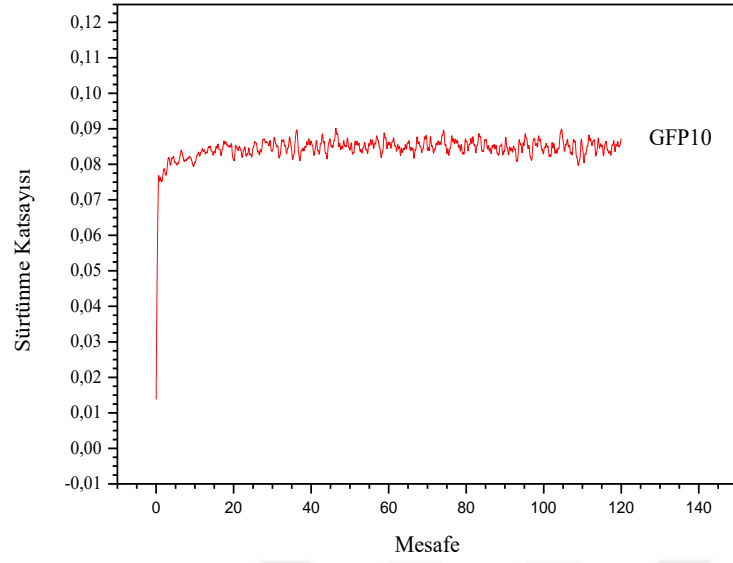
Şekil 5.11. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



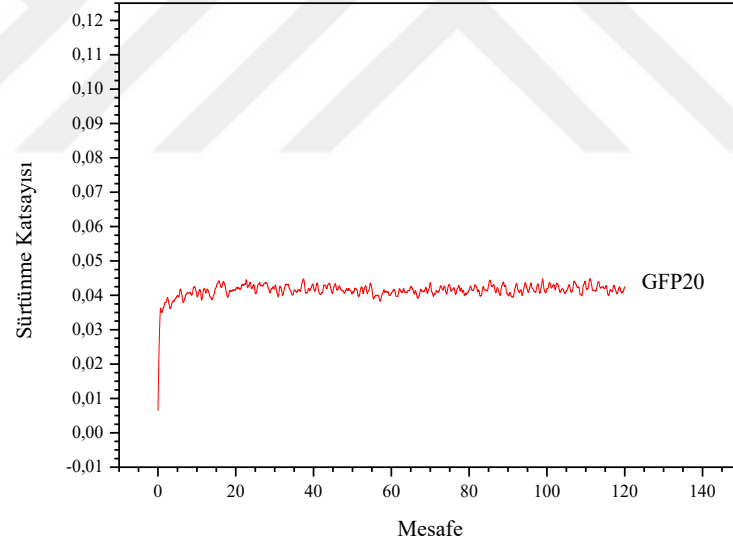
Şekil 5.12. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.13. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

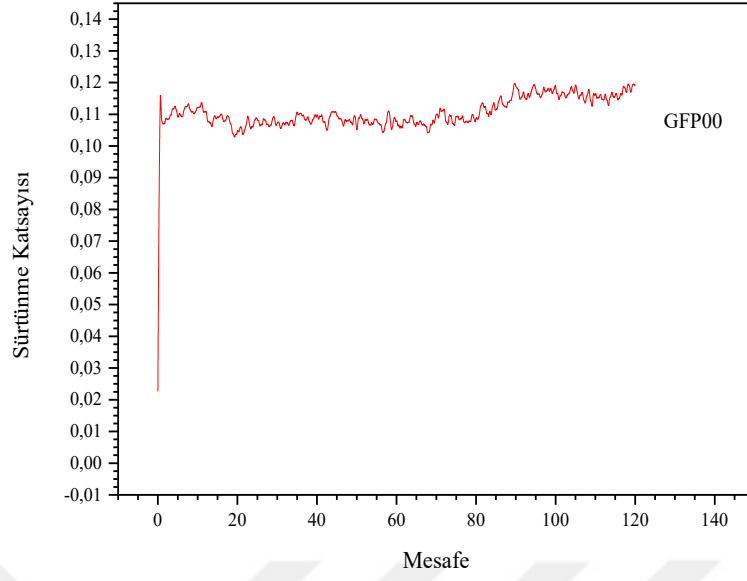


Şekil 5.14. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

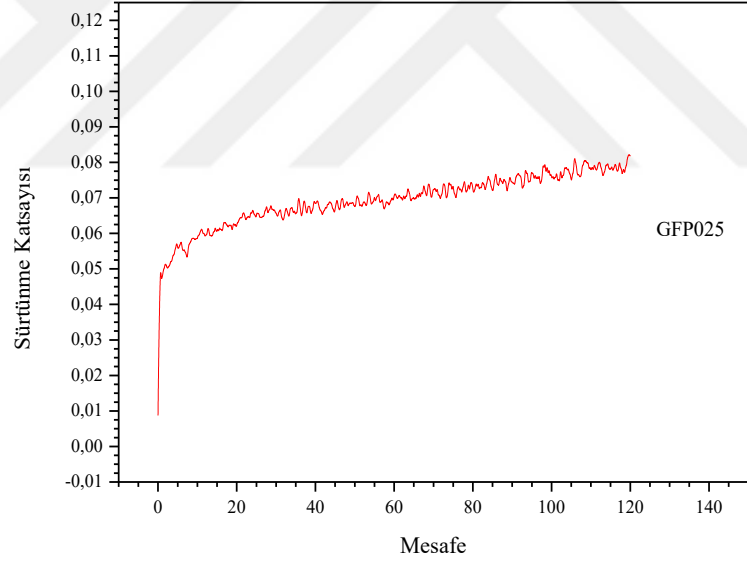


Şekil 5.15. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

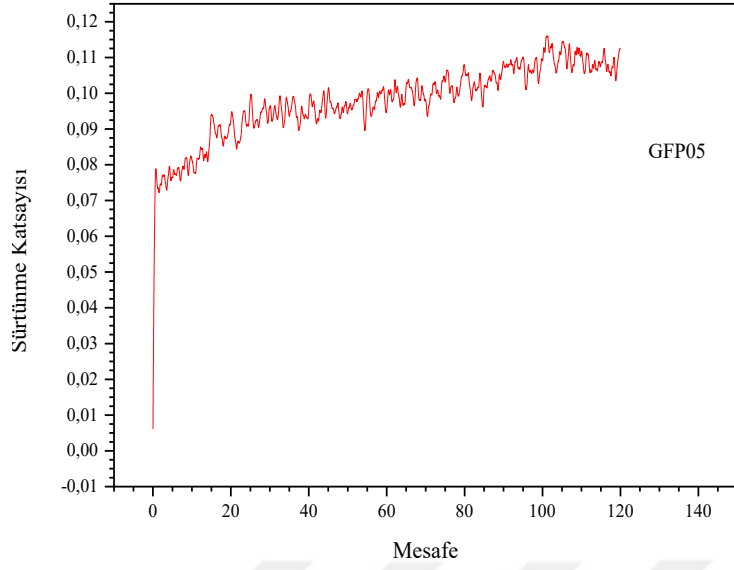
Şekil 5.16. – 5.20.’de 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 35 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



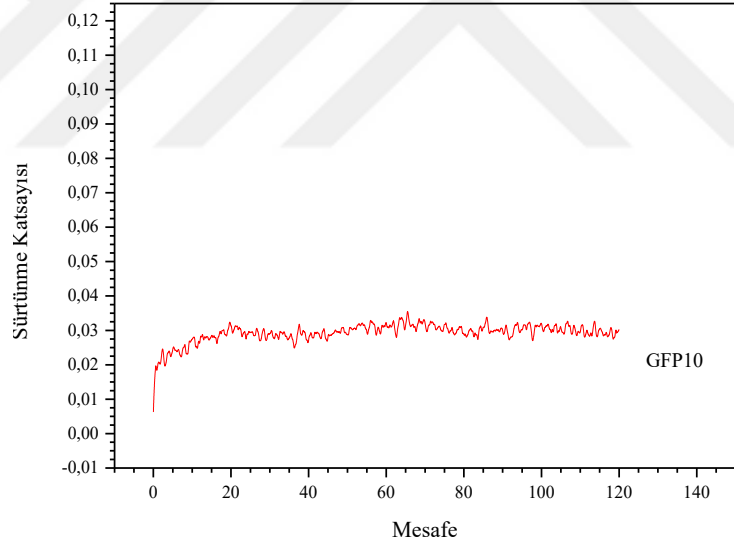
Şekil 5.16. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 35 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



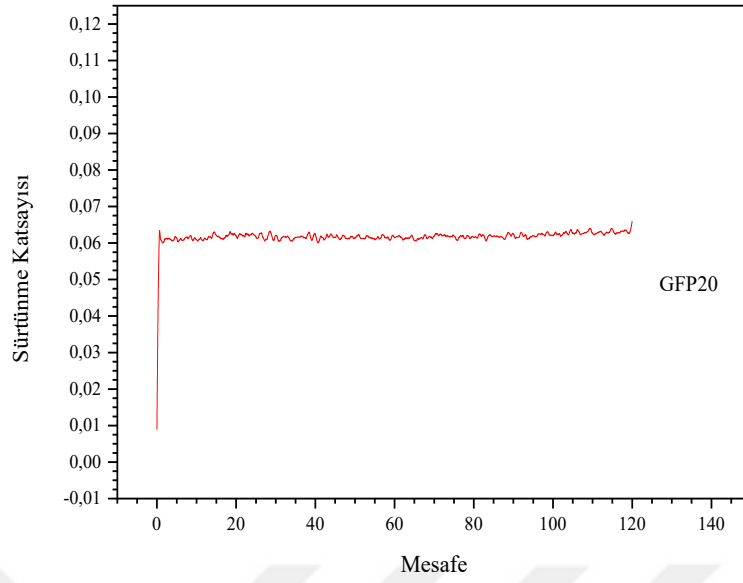
Şekil 5.17. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.18. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

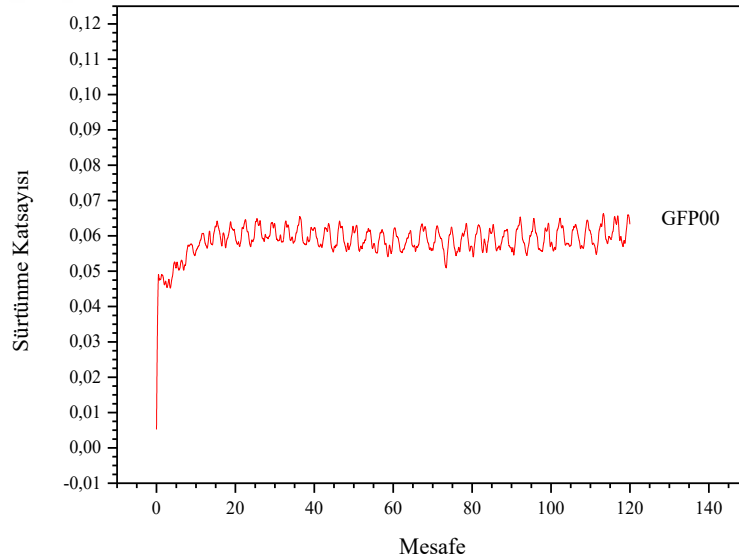


Şekil 5.19. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

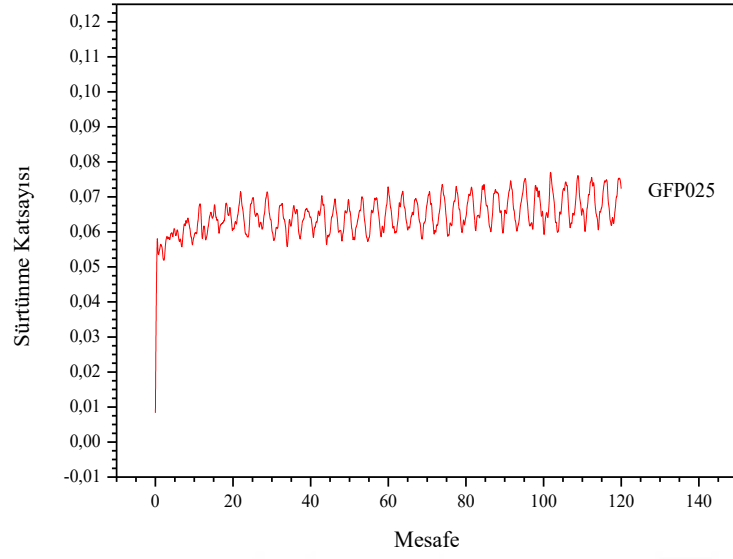


Şekil 5.20. 120 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

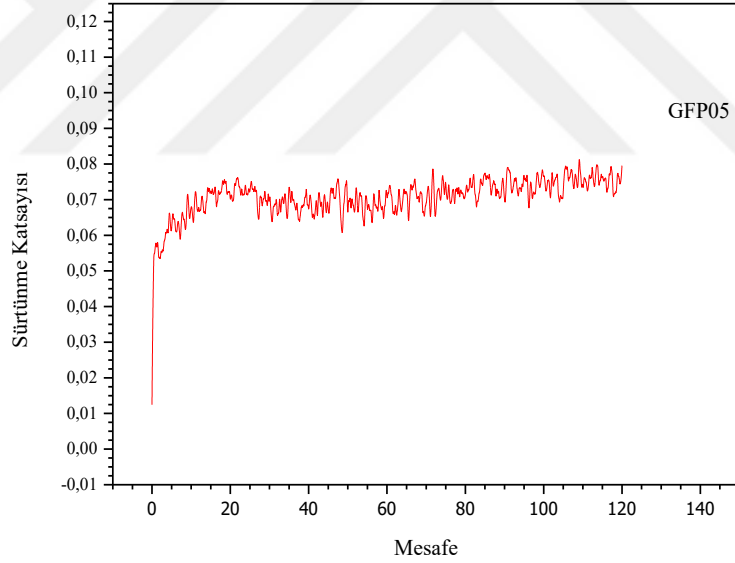
Şekil 5.21. – 5.25.‘te 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



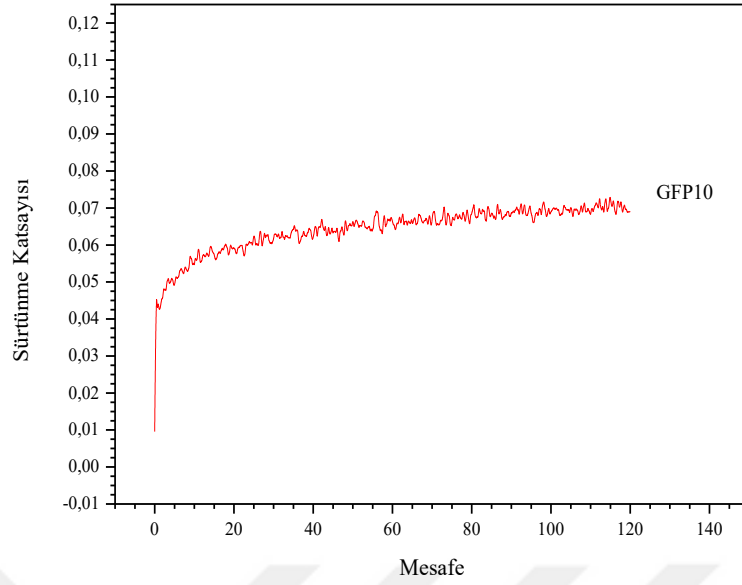
Şekil 5.21. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



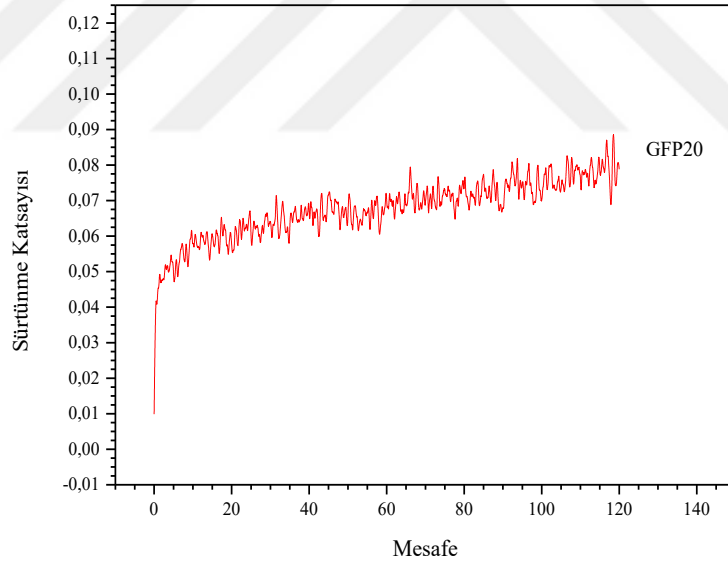
Şekil 5.22. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.23. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

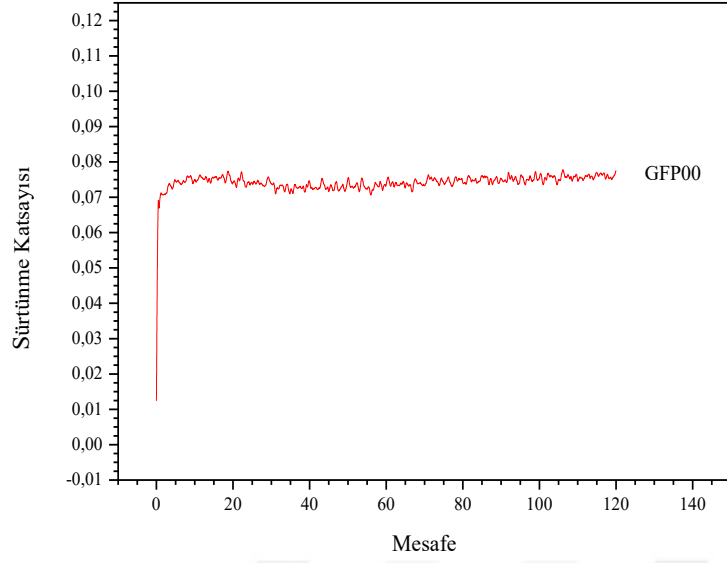


Şekil 5.24. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

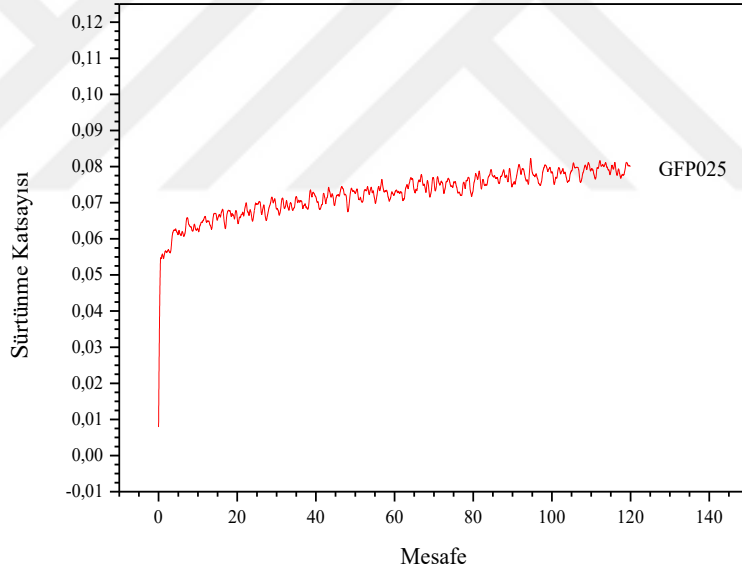


Şekil 5.25. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

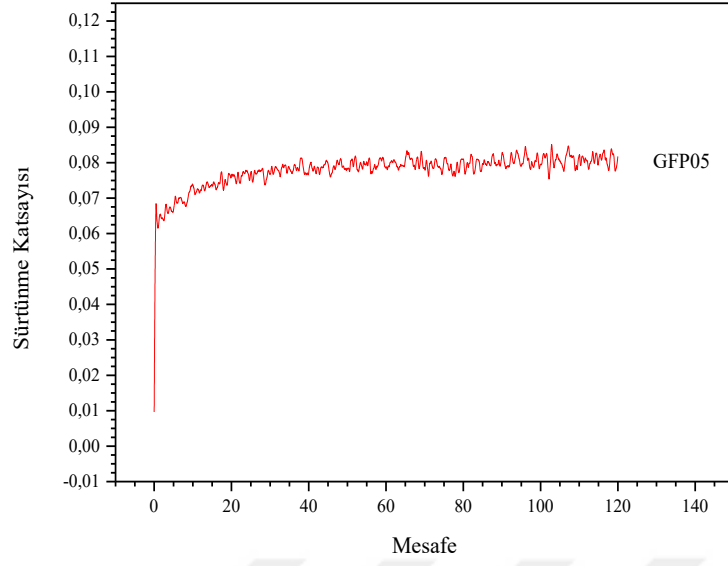
Şekil 5.26. – 5.30.‘da 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



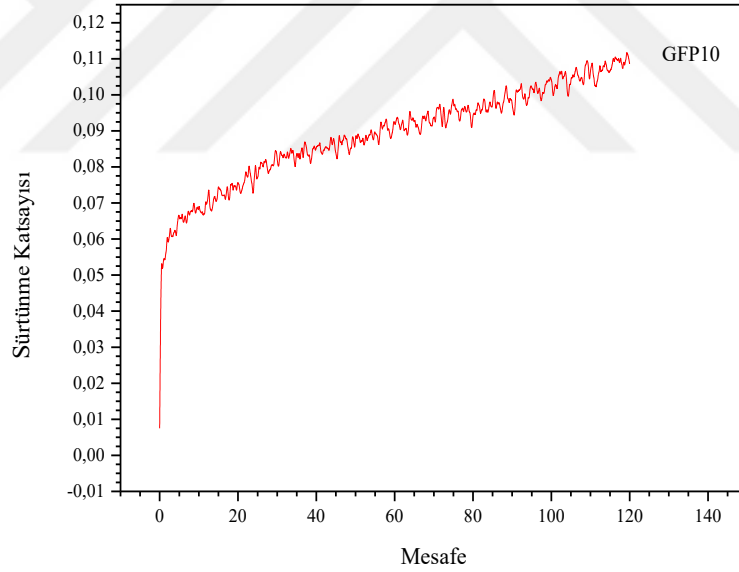
Şekil 5.26. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



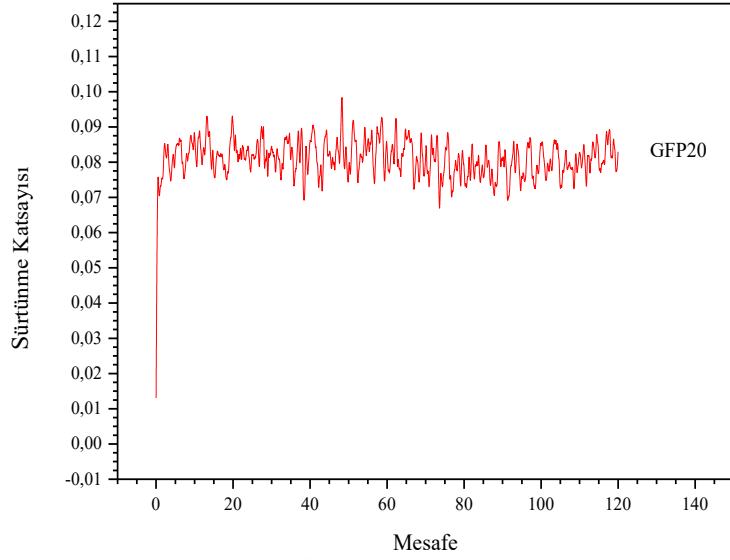
Şekil 5.27. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.28. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

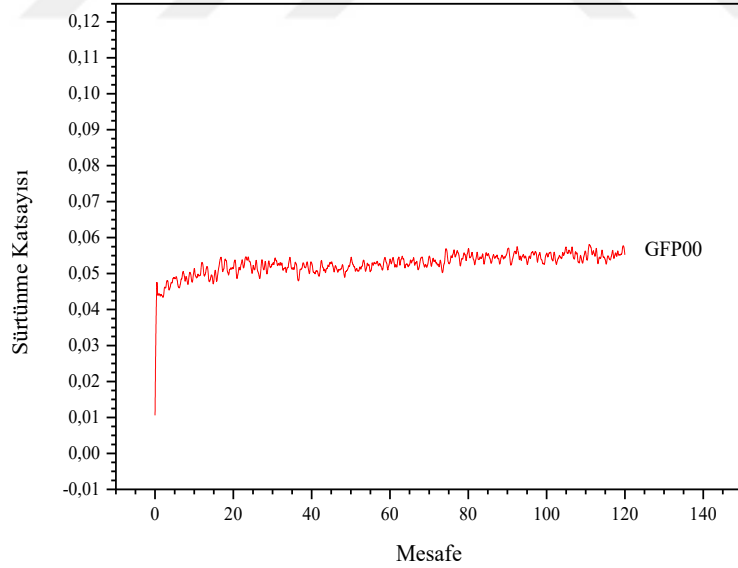


Şekil 5.29. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

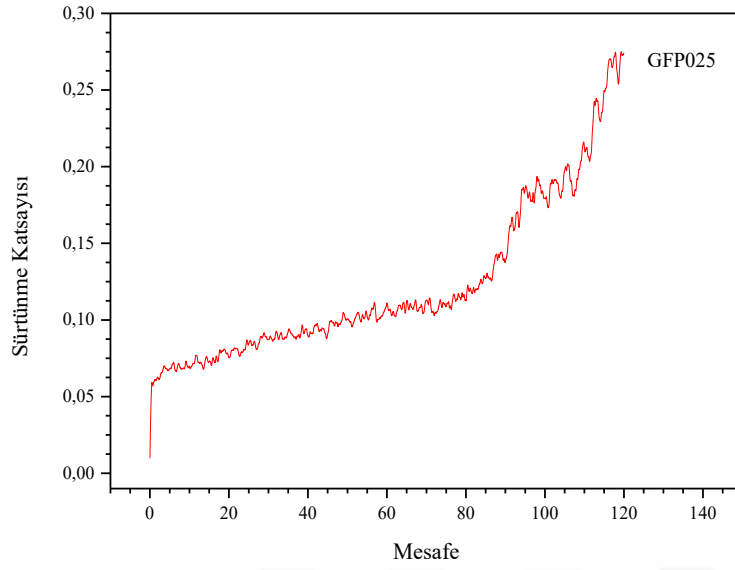


Şekil 5.30. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 25 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

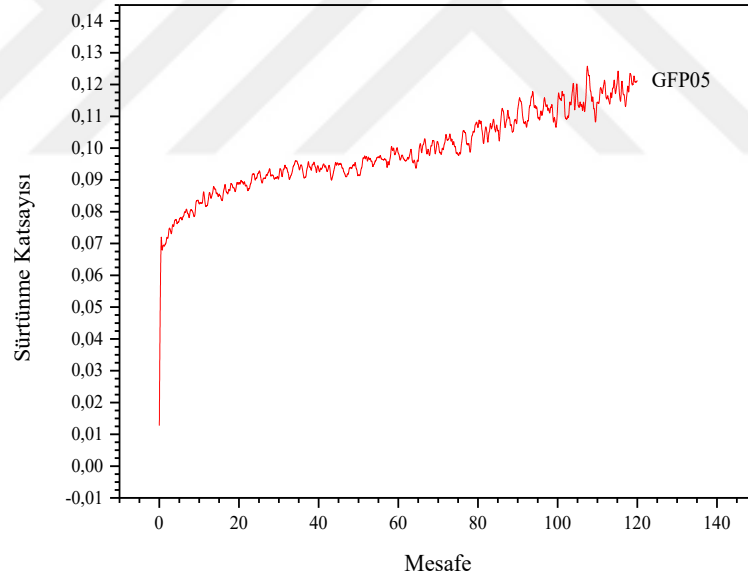
Şekil 5.31. – 5.35.'te 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



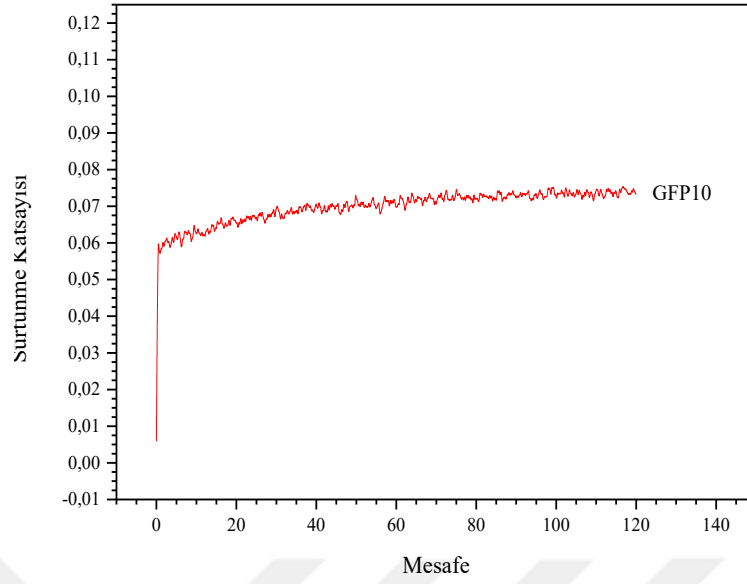
Şekil 5.31. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



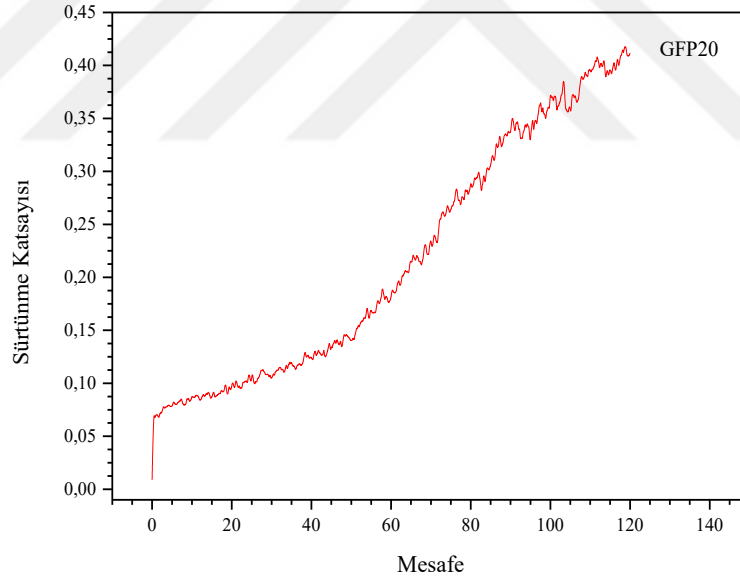
Şekil 5.32. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.33. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

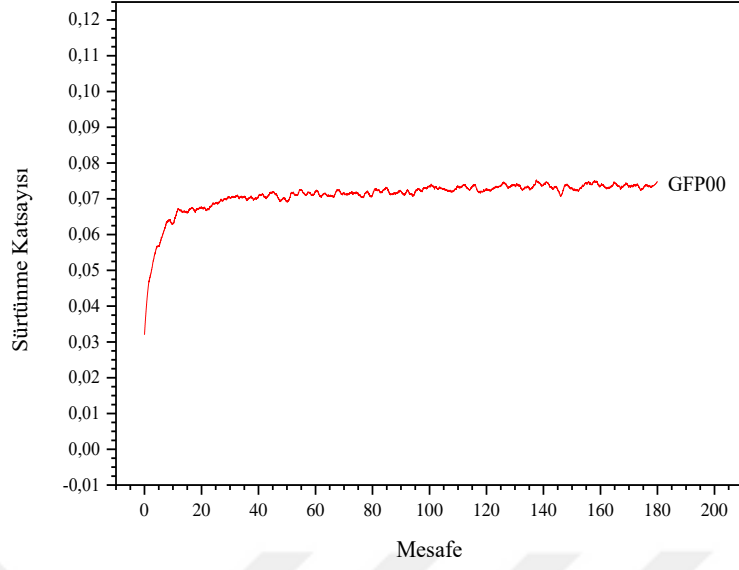


Şekil 5.34. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

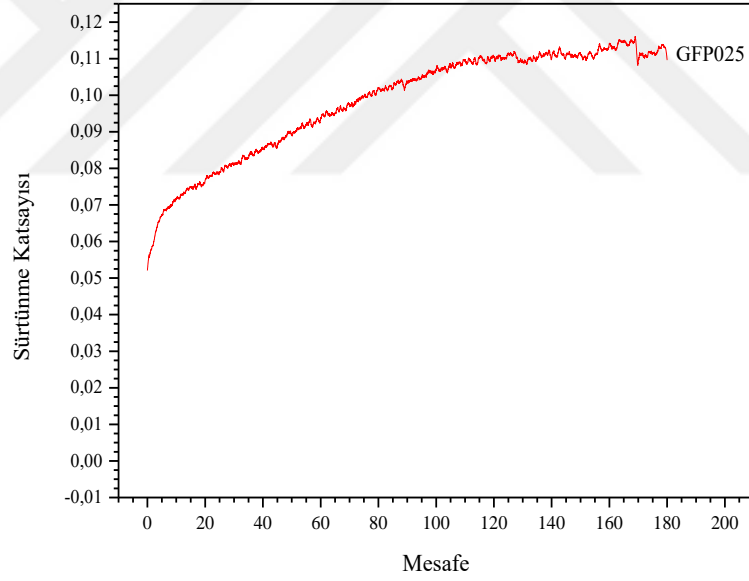


Şekil 5.35. 120 metre aşınma mesafesi, 150 rpm aşınma hızı ve 30 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

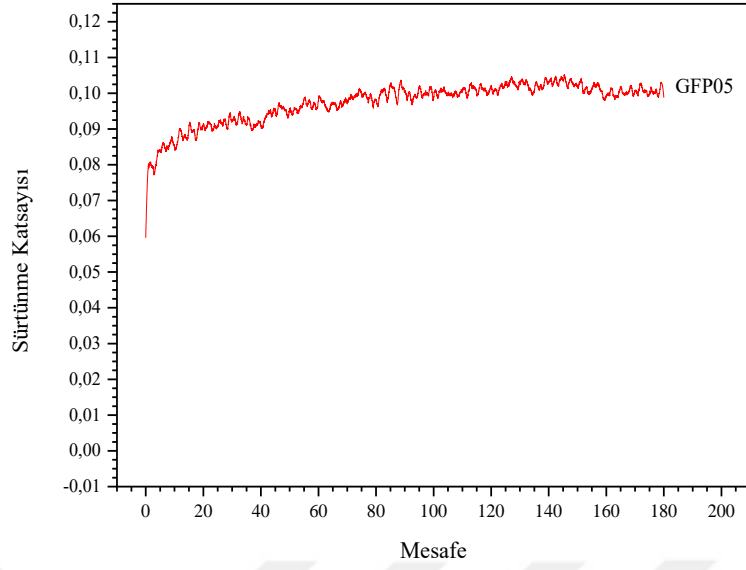
Şekil 5.36. – 5.40.‘da 180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için aşınma deney sonuçları verilmektedir.



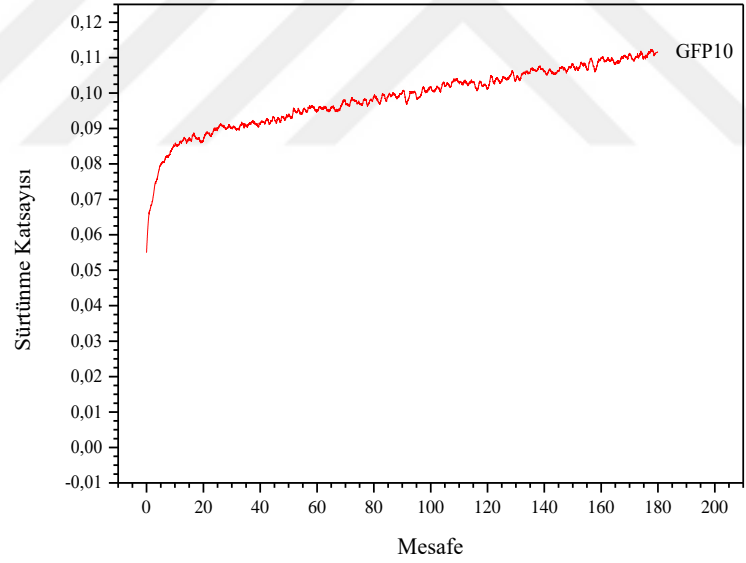
Şekil 5.36. 180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için katkısız cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



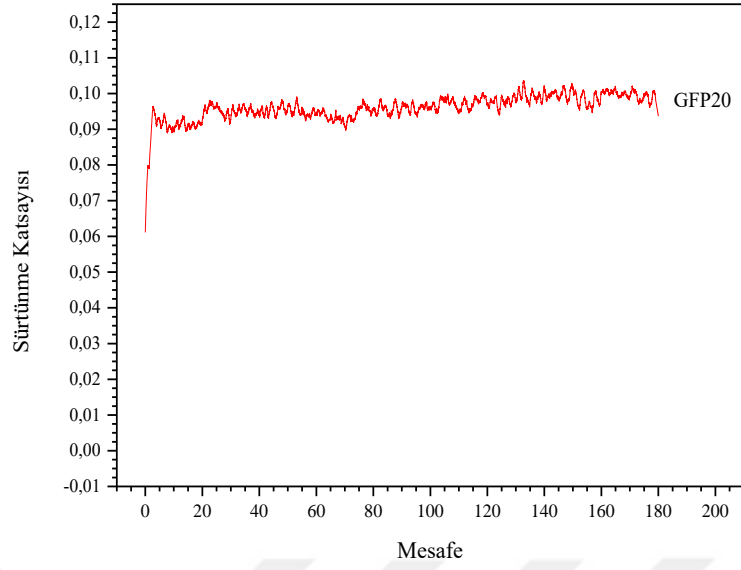
Şekil 5.37. 180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %2,5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği



Şekil 5.38. 180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %5 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

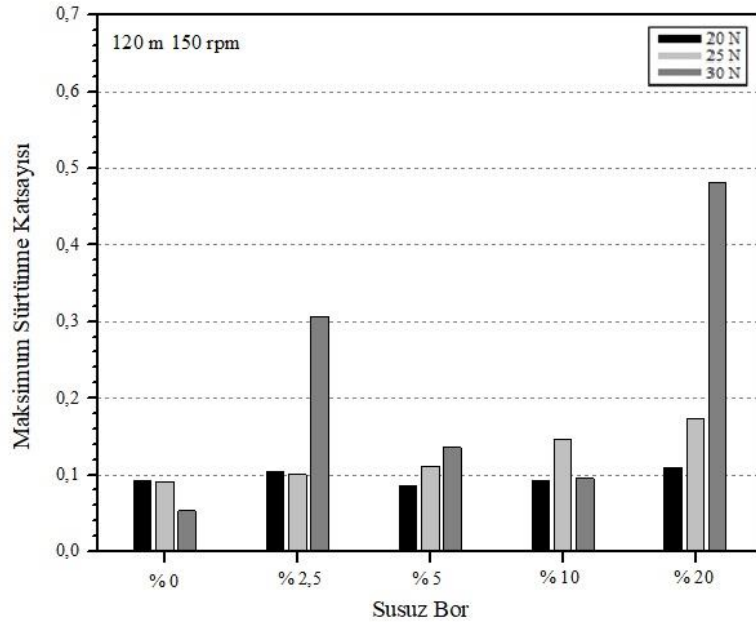


Şekil 5.39. 180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %10 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

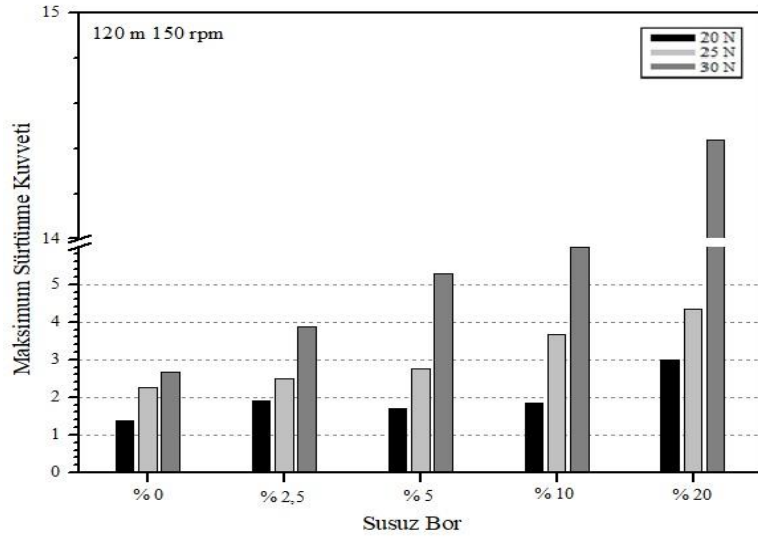


Şekil 5.40. 180 metre aşınma mesafesi, 200 rpm aşınma hızı ve 20 N aşınma yükü deney parametreleri için %20 susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit aşınma grafiği

Aşınma deneyi sonucunda 120 m aşınma yolunda 150 rpm aşınma hızında yük değişkenliğine bağlı olarak çizilen sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı grafikleri aşağıda Şekil 5.41. ve Şekil 5.42.'de gösterilmiştir.



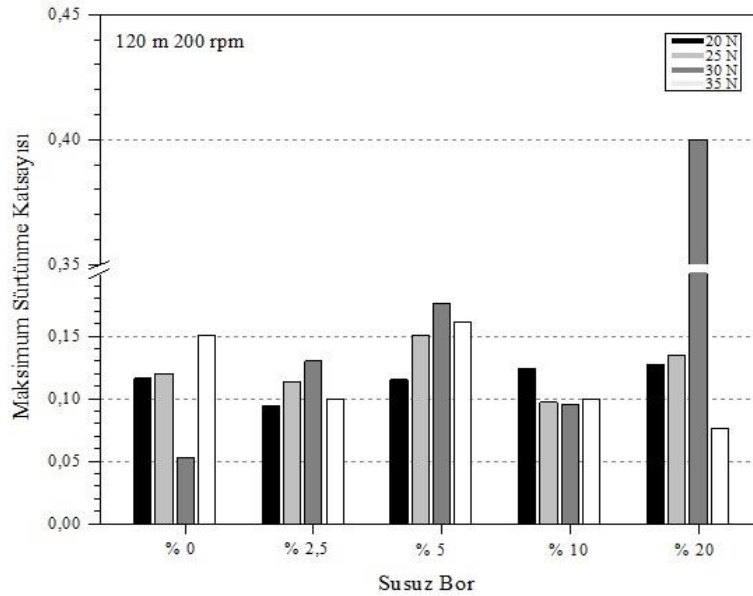
Şekil 5.41. 120 metre aşınma yolunda 150 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim



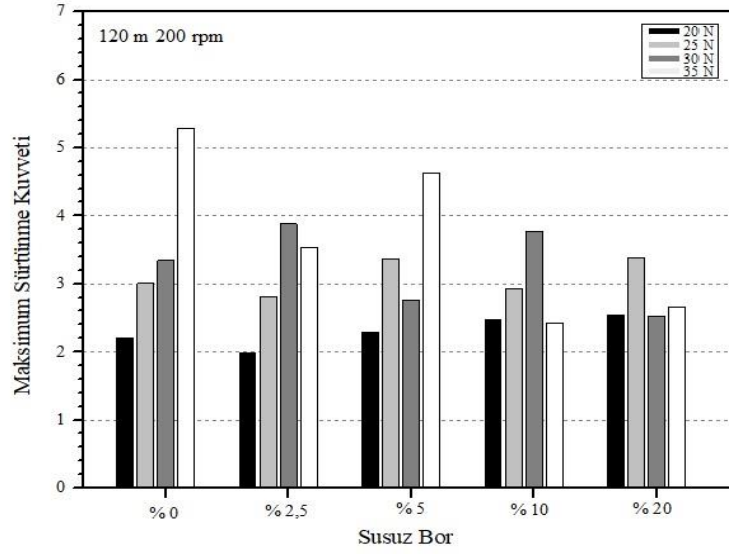
Şekil 5.42. 120 metre aşınma yolunda 150 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetindeki değişim

Şekil 5.41. ve 5.42.' de de görüldüğü üzere susuz bor miktarındaki artış ve yük miktarındaki artış ile birlikte sürtünme katsayısı ve kuvveti de artmıştır.

Aşınma deneyi sonucunda 120 m aşınma yolunda 200 rpm aşınma hızında yük değişkenliğine bağlı olarak çizilen sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı grafikleri aşağıda Şekil 5.43. ve Şekil 5.44.'de gösterilmiştir.



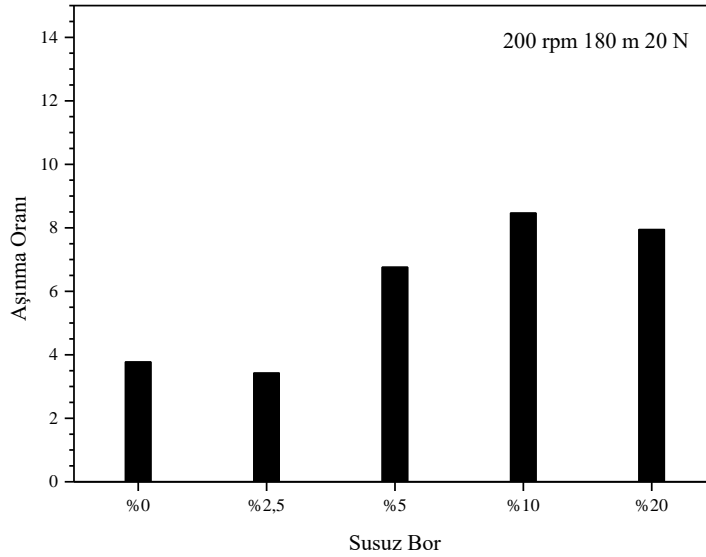
Şekil 5.43 120 metre aşınma yolunda 200 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim



Şekil 5.44. 120 metre aşınma yolunda 200 rpm aşınma hızında yük miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetindeki değişim

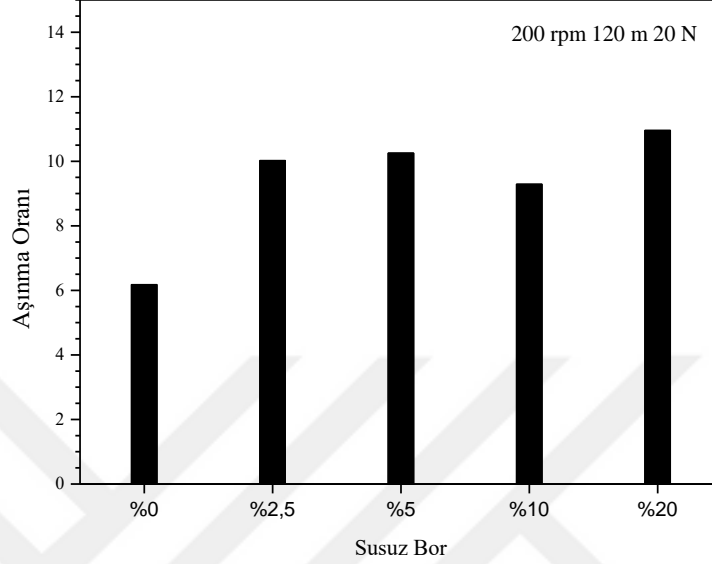
Şekil 5.43. ve 5.44.'de de görüldüğü üzere susuz bor miktarındaki artış ve yük miktarındaki artış ile birlikte sürtünme katsayısı ve kuvveti de artmıştır.

Makimum sürtünme katsayısına göre aşınma oranları hesaplanmıştır. Aşınma deneyi sonucunda 200 rpm aşınma hızında 20 N yük 180 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranının değişimi grafiği Şekil 5.45.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.45. 200 rpm aşınma hızında 20 N yük 180 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi

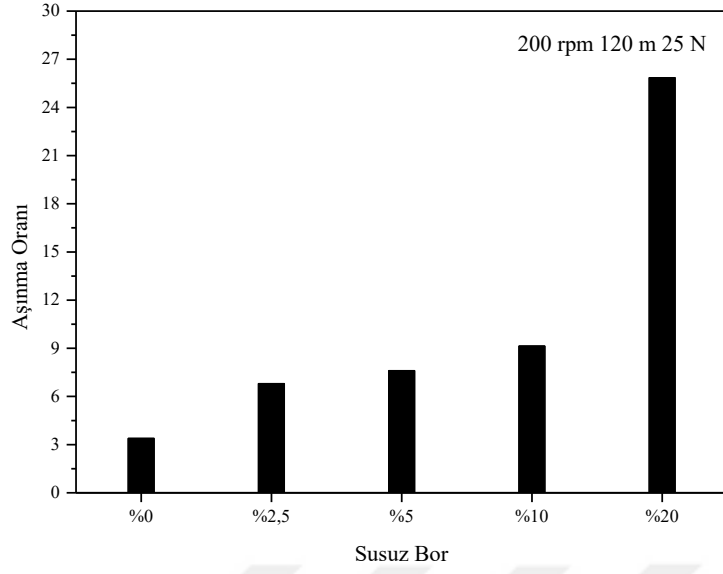
Aşınma deneyi sonucunda 200 rpm deney hızı 20 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranının değişimi grafiği Şekil 5.46. 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.46. 200 rpm aşınma hızı 20 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi

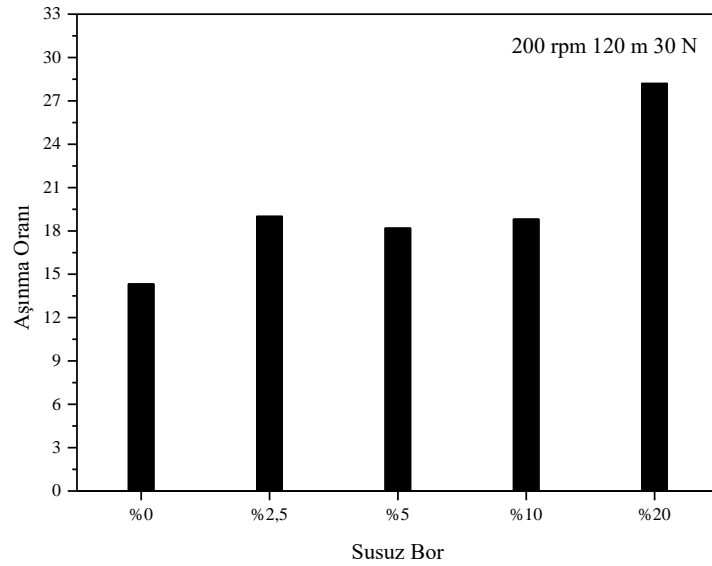
Şekil 5.46.'daki grafikte gözlemlendiği üzere susuz bor miktarındaki artış aşınma oranında artışı göstermektedir. Susuz bor katkı miktarının artışı bu deney parametrelerinde aşınma oranında belirgin bir etki göstermemiştir.

Aşınma deneyi sonucunda 200 rpm aşınma hızında 25 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranının değişimi grafiği Şekil 5.47 'de gösterilmiştir. Susuz bor miktarındaki artışın aşınma oranında artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.47. 200 rpm aşınma hızında 25 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi

Aşınma deneyi sonucunda 200 rpm aşınma hızında 30 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranının değişimi grafiği Şekil 5.48. 'de gösterilmiştir.

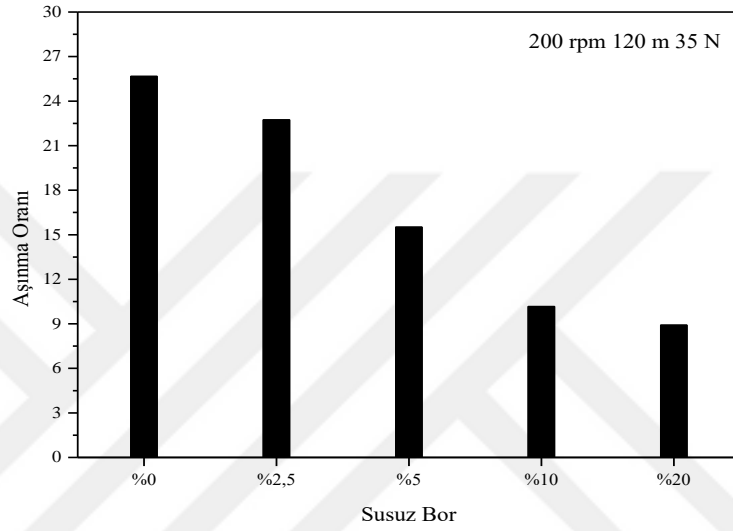


Şekil 5.48. 200 rpm aşınma hızında 30 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi

Şekil 5.48.'daki grafikte gözlemlendiği üzere susuz bor miktarındaki artış aşınma oranında artışı göstermektedir. Aşınma oranı grafikleri incelendiğinde %2,5, %5, %10

susuz bor katkılı numuneler ile elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. 25 N'luk deney yükü altındaki elde edilen grafikteki gibi bor oranı arttıkça aşınma oranında lineer bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

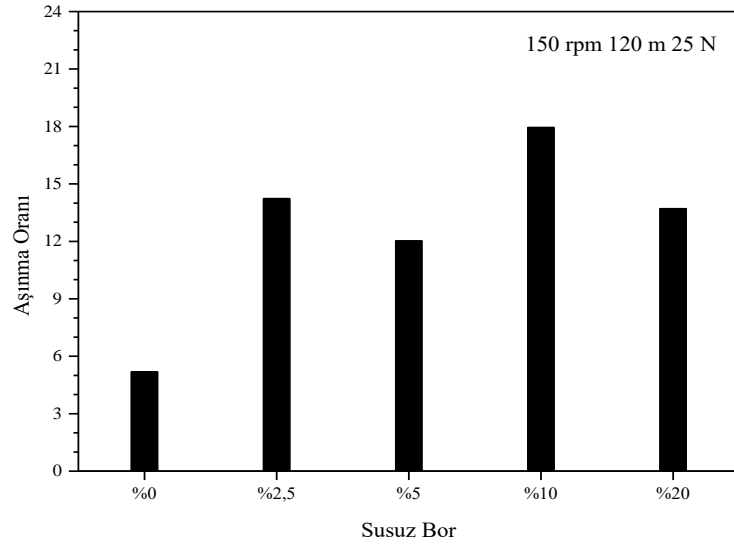
Aşınma deneyi sonucunda 200 rpm aşınma hızında 35 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranının değişimi grafiği Şekil 5.49.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.49. 200 rpm aşınma hızında 35 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi

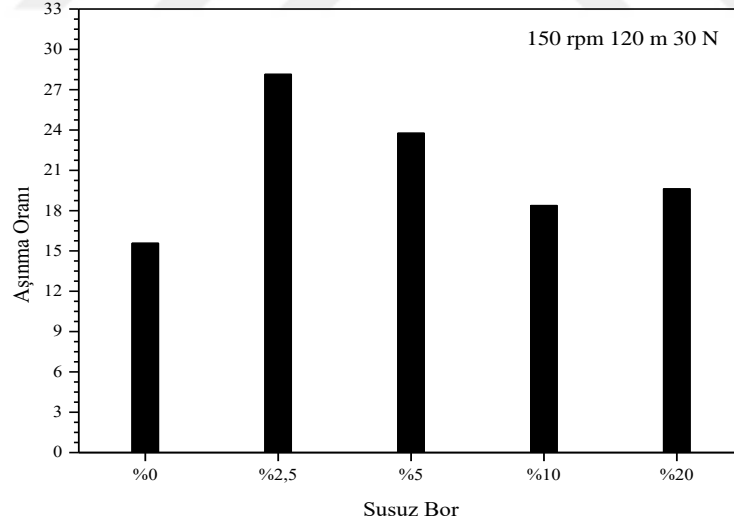
Şekil 5.49.'daki grafikte gözlemlendiği üzere 35 N'luk deney yükü altında yapılan aşınma deneyinde susuz bor miktarında artış, aşınma oranında ciddi bir düşüş olduğu saptanmıştır. Elde edilen ürünlerin kalitesinin iyi olması, yüksek kuvvetin aşınan malzemeyi baskılaması ve uygulanan deney parametreleri çalışmada istenilen sonuçları elde etmemize olanak sağlamıştır. Kartal ve arkadaşlarının (2019) yapmış olduğu çalışmayı destekleyen sonuçlar bu parametreler için elde edilmiştir. Deney parametreleri üretilmiş olan numuneler için uygun şartlar sağlamış olup aşınma oranında azalış meydana getirmiştir.

Aşınma deneyi sonucunda 150 rpm aşınma hızında 25 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranının değişimi grafiği Şekil 5.50.'de gösterilmiştir. 150 rpm, 120 metrede 25 N'luk yük için susuz bor katkısı ilavesinin aşınma oranını arttırdığı görülmüştür.



Şekil 5.50. 150 rpm aşınma hızında 25 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi

Aşınma deneyi sonucunda 150 rpm aşınma hızında 30 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranının değişimi grafiği Şekil 5.51. 'de gösterilmiştir.



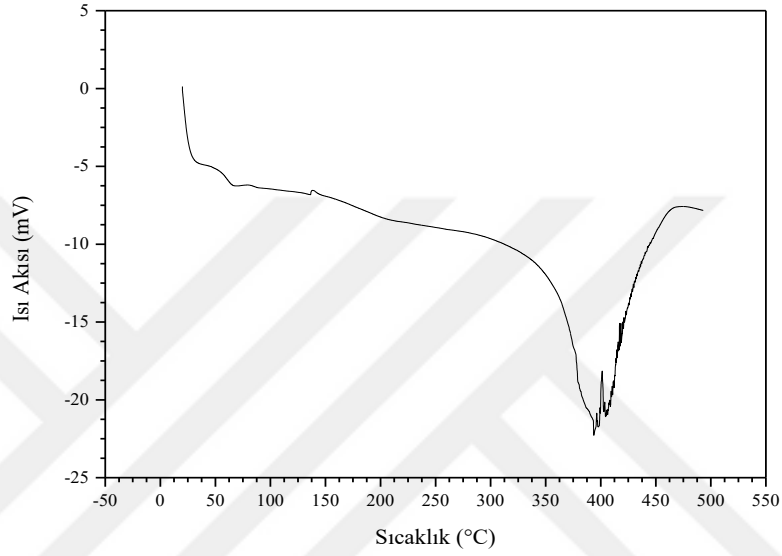
Şekil 5.51. 150 rpm aşınma hızında 30 N yük 120 metre aşınma yolunda susuz bor oranına bağlı olarak aşınma oranı değişimi

Şekil 5.51.'deki grafikte gözlemlendiği üzere %2,5 susuz bor katkısından sonra aşınma oranında bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Düşük aşınma hızında ve düşük aşınma yolunda katkılandırma aşınma oranını artırmıştır. Fakat artan katkılandırma oranıyla

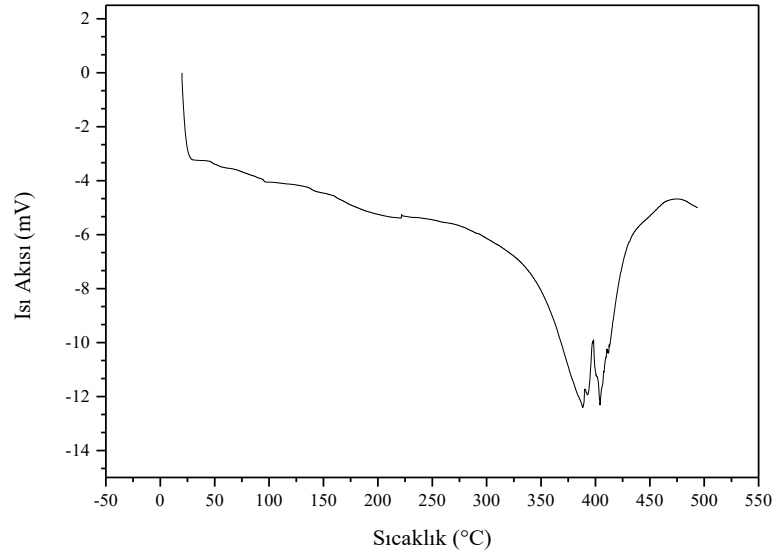
aşınma oranında azalma elde edilmiştir. Bağcı'nın 2010'da yapmış olduğu çalışma ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

5.2. DSC Deneyi Sonuçları

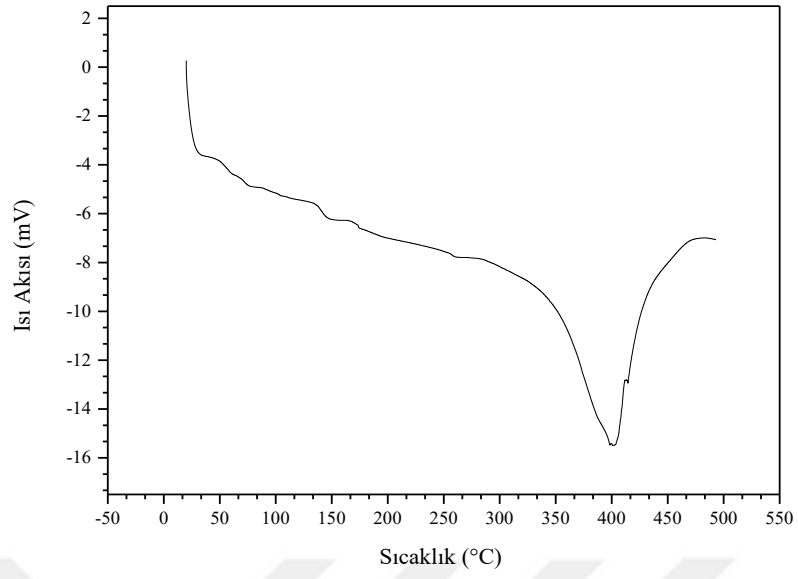
Farklı oranlarda susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler için ısı akısı grafikleri Şekil 5.52. – Şekil 5.56. arasında gösterilmiştir.



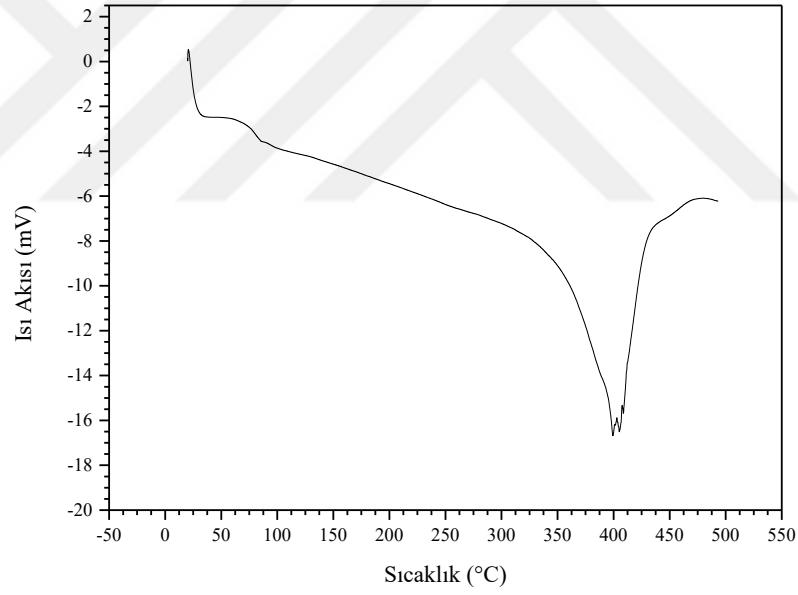
Şekil 5.52. Katkısız cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği



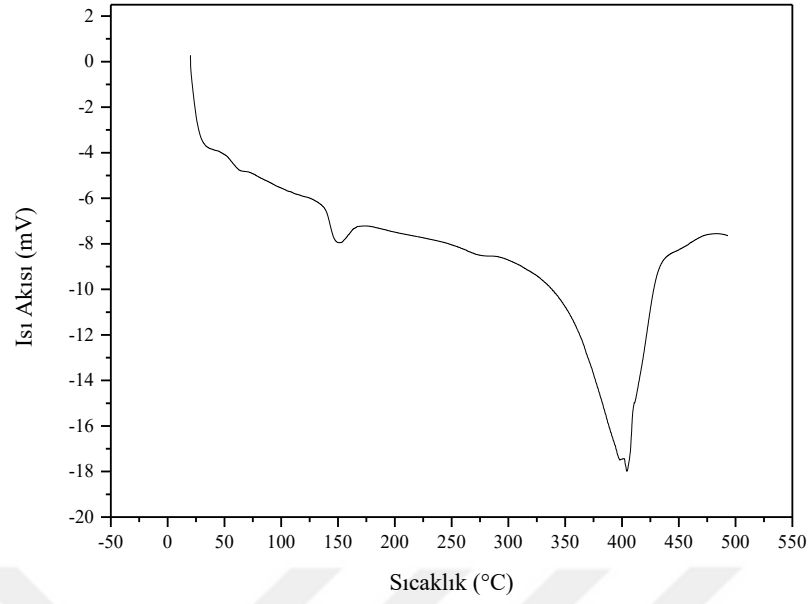
Şekil 5.53. %2,5 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği



Şekil 5.54. %5 Susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği



Şekil 5.55. %10 Susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği

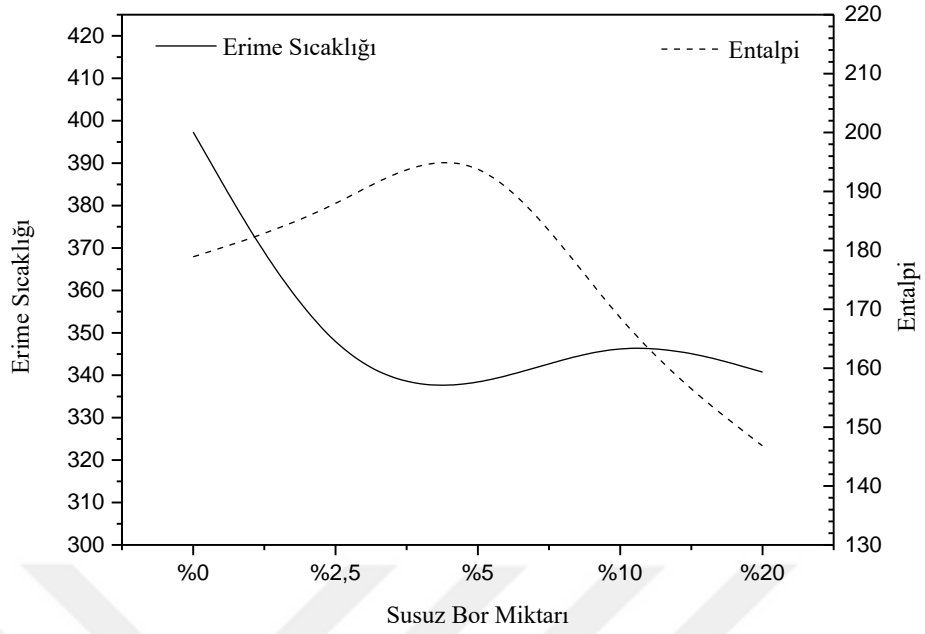


Şekil 5.56. %20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için ısı akısı grafiği

Şekil 5.52. ile Şekil 5.56. arasındaki grafikler incelendiğinde susuz bor oranı arttıkça ısı akısı-sıcaklık grafiklerinde 350 ile 425°C arasında oluşan enerji piklerinde düzenli bir ergime özelliği gözükmemektedir.

Tablo 5.1. Susuz bor oranına göre erime sıcaklığı ve entalpi değişim tablosu

	Erime Sıcaklığı (T _m)	Entalpi (ΔH)
GFP00	397,35 °C	178,9 J/g
GFP025	338,75 °C	186,6 J/g
GFP05	335,38 °C	202,6 J/g
GFP10	350,27 °C	165,5 J/g
GFP20	340,75 °C	146,8 J/g



Şekil 5.57. DSC susuz bor miktarındaki değişim ile erime sıcaklığı ve entalpi değişim grafikleri

%5 Susuz bor katkı ilavesine kadar malzemede entalpinin arttığı ancak %10 ve %20 susuz bor katkılarında malzemenin entalpisinin büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir. DSC deneyi grafikleri incelendiğinde termal kararlılığı artırdığından dolayı en ideal susuz bor katkı oranının %5 olduğu görülmektedir. Isı akısındaki ve termal kararlılıktaki bu artış nedeniyle, %5 susuz bor katkısına kadar olan kompozit malzemelerin farklı üretim yöntemleri ile farklı aşınma parametrelerinde elde edilen aşınma oranlarının azalması beklenmektedir.

5.3. Aşınma Deney Numuneleri Makro Resimleri

Farklı oranlarda susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere ait makro resimler Şekil 5.58. – Şekil 5.61.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.58. Katkısız cam elyaf takviyeli kompozit malzeme

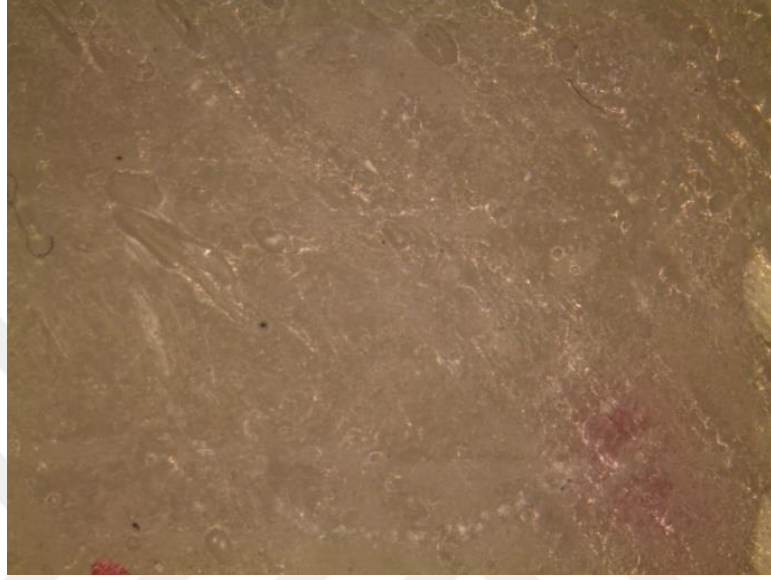
Katkısız cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin makro yüzey resmi incelendiğinde yüzeyde aşınma izinin belli belirsiz olduğu gözlemlenmiştir. Malzeme yüzeyindeki görüntü ile deneyler sonucu hesaplanan aşınma oranı arasında paralellik olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 5.59. %2,5 Susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit malzeme

%2,5 Susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin makro resmi incelendiğinde malzeme yüzeyinde deformasyonların olduğu ve cam elyaf liflerinde malzeme yüzeyindeki yapısal (elle yatırma metodu) bozukluklar nedeniyle çukurların

olduğu b6lgelerde zedelenme olduğu g6zlemlenmiş olup y6zey yapısının d6zg6n (p6r6zs6z) olduğu b6lgelerde ise aşınma izinin belli belirsiz olduğu g6zlemlenmiştir. Deney sonuçlarında çıkan değerlerle hesaplanan aşınma oranı ile y6zey resmi arasında paralellik olduğu s6ylenebilmektedir.



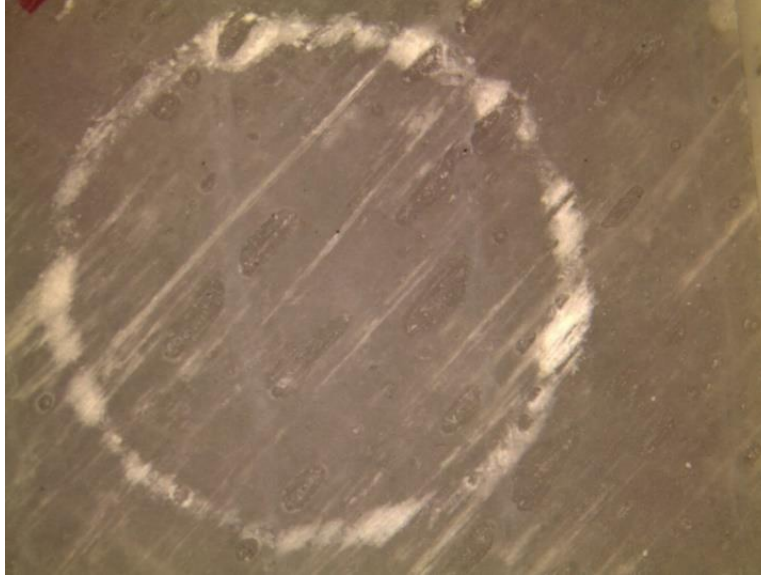
şekil 5.60. %5 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme

%5 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin makro resmi incelendiğinde Tribometre cihazının aşındırıcı bilyesi malzeme y6zeyinde fazla bir iz çıkarmamıştır. Deney sonuçlarında 6l6len değerlerle hesaplanan aşınma oranındaki d6ř6kl6k ile makro resimdeki y6zey arasında paralellik olduğu s6ylenebilmektedir.



Şekil 5.61. %10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme

%10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin makro resmi incelendiğinde malzeme yüzeyinde deformasyonların olduğu ve cam elyaf liflerinde yırtılmalar meydana geldiği gözlemlenmiş olup deney sonuçlarında çıkan değerlerle hesaplanan aşınma oranı ile yüzey resmi arasında paralellik olduğu söylenebilmektedir.



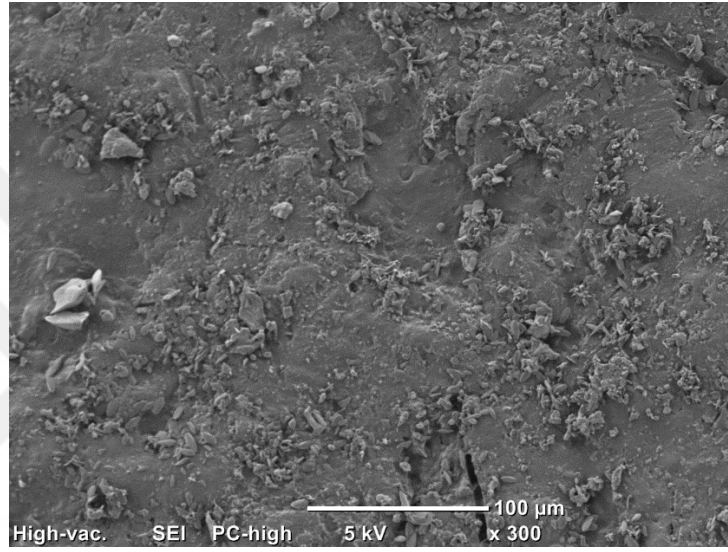
Şekil 5.62. %20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme

%20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin makro resmi incelendiğinde malzeme yüzeyinde deformasyonların olduğu ve cam elyaf liflerinde

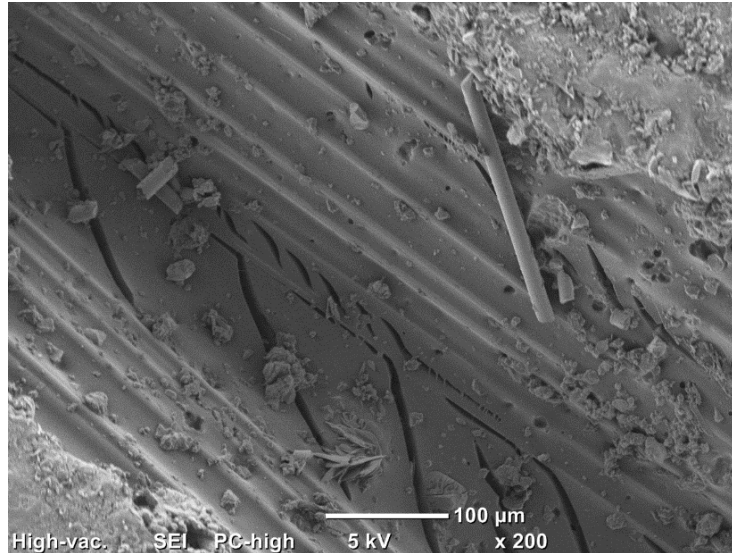
yırtılmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yer yer yırtılmalar sonucu çukurların oluştuğu gözlenmiş olup deney sonuçlarında çıkan değerlerle hesaplanan aşınma oranı ile yüzey makro resmi arasında paralellik olduğu söylenebilmektedir.

5.4. Aşınma Deney Numuneleri SEM Resimleri

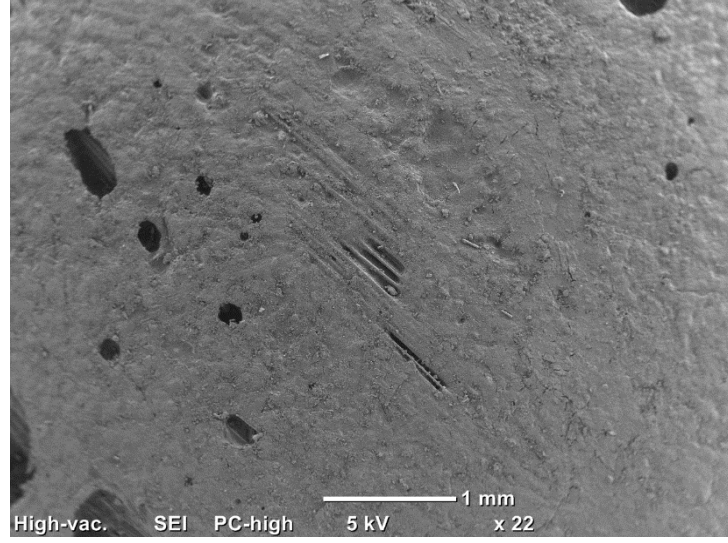
Aşınma deney numunelerine Taramalı Elektron Mikroskobu ile çekilen görüntüler aşağıda Şekil 5.63. - Şekil 5.66.'de gösterilmiştir.



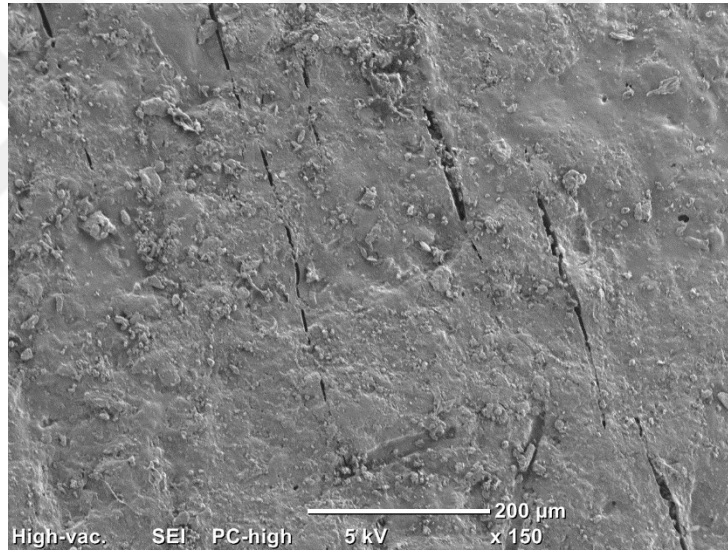
Şekil 5.63. %10 Susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli aşınma bölgesi dışından alınan malzeme x300 büyütme



Şekil 5.64. %10 Susuz bor katkıli cam elyaf takviyeli aşınma bölgesinden alınan malzeme x200 büyütme

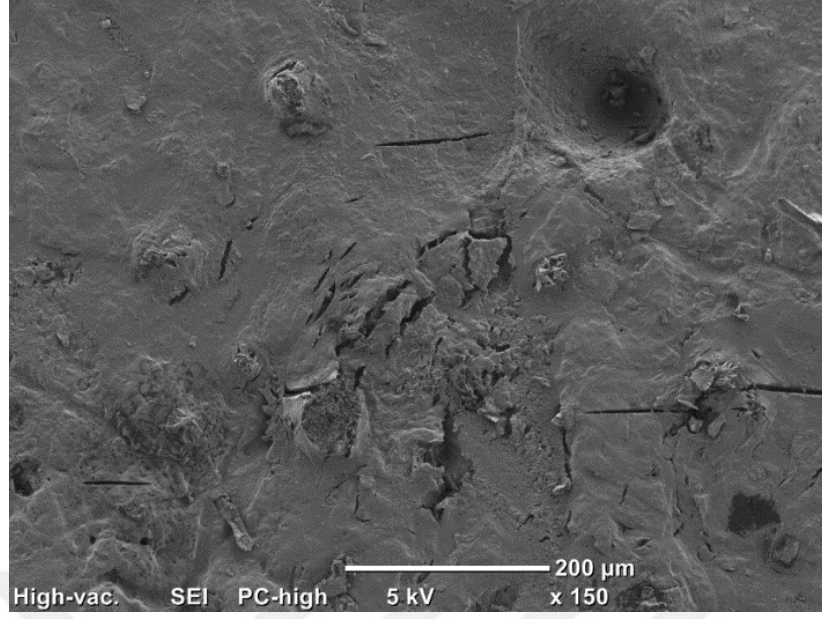


Şekil 5.65. %10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x22 büyütme

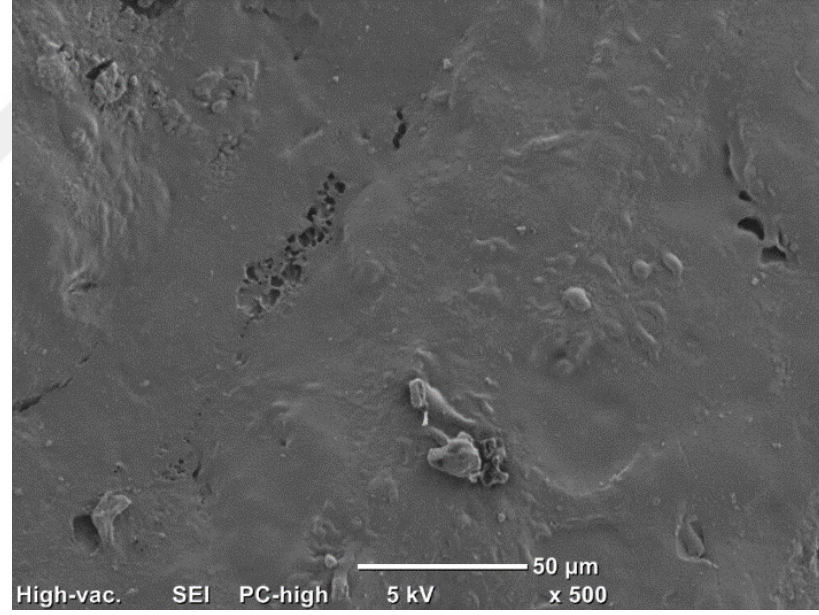


Şekil 5.66. %10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x150 büyütme

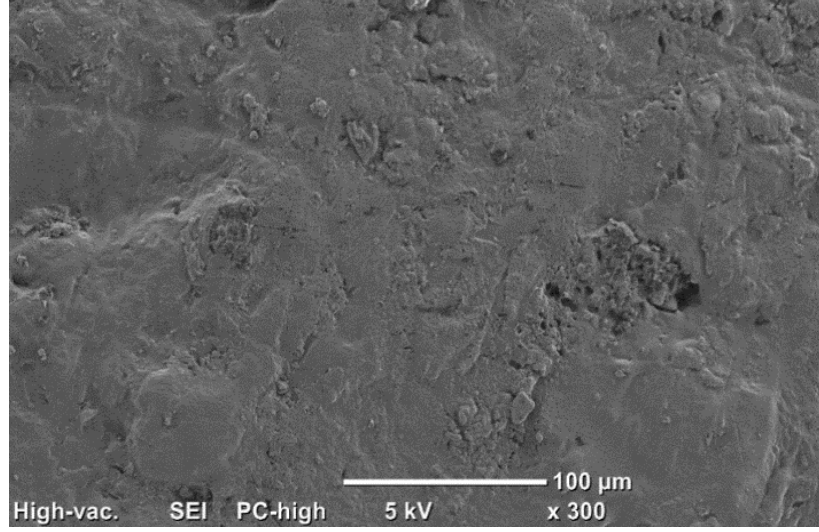
Şekil 5.63 – 5.66’de verilen %10 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemeye ait SEM görüntüleri incelendiğinde cam elyaf malzemedeki kırılmalar meydana geldiği ve matris malzemesinde çatlaklar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.65. incelendiğinde cam elyaf liflerinin reçine ile bütünleştiği gözlemlenmektedir. Şekil 5.66. incelendiğinde malzeme yüzeyinde aşınma sonucu cam elyaf tozlarının ve matris malzeme tozlarının olduğu gözlemlenmektedir.



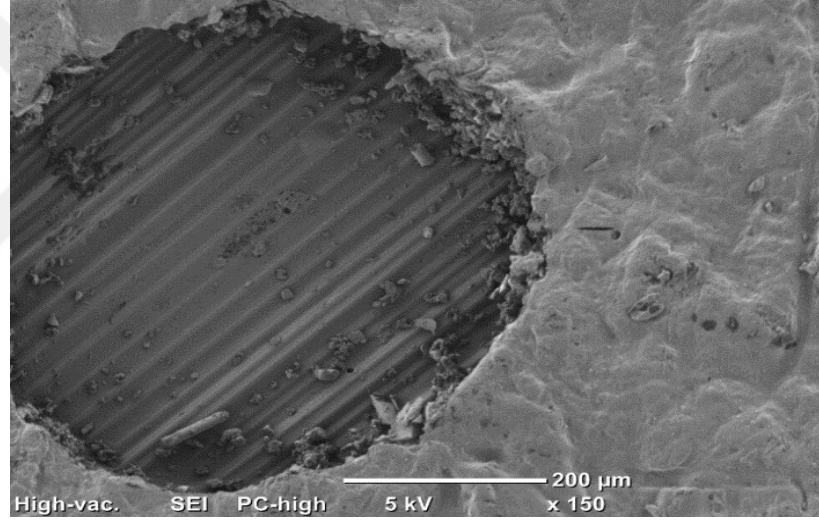
Şekil 5.67. %20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x150 büyütme



Şekil 5.68. %20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x500 büyütme



Şekil 5.69. %20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x300 büyütme



Şekil 5.70. %20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli malzeme x150 büyütme

Şekil 5.67– 5.70’da verilen %20 Susuz bor katkılı cam elyaf kompozit malzemeye ait SEM görüntüleri incelendiğinde cam elyaf malzemenin reçine ile iyice bütünleştiği, reçinenin elyafı sardığı gözlemlenmiştir. Matris malzemesinin bir bölgede yüzeyden ayrıldığı ve boşluk oluşturduğu gözlenmiştir. %20 Susuz bor katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin deney öncesi ve sonrası ağırlık ölçümlerinde diğer malzemeler ile arasında büyük fark olmasının sebebinin yüzeyde oluşan bu çukurluk olduğu saptanmıştır. Malzeme yüzeyinde elle yatırma metodundan kaynaklanan yüzey pürüzlülükleri de çekilen SEM görüntüleri ile desteklenmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- 1)- Deney yüküne bağlı olarak katkı maddesinin %'si arttırıldıkça sürtünme katsayısının ve sürtünme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir.
- 2)- Numunelerdeki susuz bor miktarı arttıkça kayma mesafesi ile birlikte örneklerde aşınma oranında artış meydana gelmiştir.
- 3)- Numunelerde susuz bor miktarındaki artışa bağlı olarak malzeme yüzeylerinde deformasyonun arttığı gözlemlenmiştir.
- 4)- Deney parametrelerinde aşınma mesafesi ve aşınma hızının sabit tutulduğu ancak deney yükünün arttırıldığı çalışmalarda deney yüküne bağlı olarak aşınma katsayısı ve aşınma kuvvetinde artış görülmüştür.
- 5)- Tüm malzeme grupları için sürtünme yolu arttıkça, sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısında artış elde edilmiştir.
- 6)- Sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvveti, sürtünme hızı (rpm) arttırıldıkça artmıştır. Hızdaki değişim aynı zamanda susuz bor miktarındaki değişimle de doğru orantılı olarak değişmektedir.
- 7)- Belirlenen deney parametrelerinde susuz bor miktarı arttıkça aşınma oranı artmaktadır. Aşınma oranında yük miktarı ve aşınma hızı arttırıldıkça bir artış gözlemlenmiştir. Ancak 35 N'luk yükte 120 metrelik aşınma yolunda 200 rpm aşınma hızında aşınma oranı azalmıştır.
- 8)- SEM görüntüleri incelendiğinde, cam elyaf ile polyester ve susuz bor ile polyester arasında hiçbir ara yüzey katkı malzemesi olmamasına rağmen uyumlu görüntüler elde edilmiştir. Elle yatırma yönteminin katkılı malzemeler için uygun olmadığına karar verilmiştir.

KAYNAKLAR

Altuntas E., Borlu Polimer-Odun Kompozitleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2008, 177088.

Atik E., Meriç C., Polyester Al₂O₃ Kompozitlerinin Aşınma Davranışları, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Mayıs 2002, **4**(2), 73-78.

Bağcı M., Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010 276337.

Bayraktar Ş., Turgut Y., Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Talaşlı Şekillendirilebilirliği, *1. International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition*, Ankara, Türkiye, 29-31 May 2013.

Becenen N., Traktör Kaportalarında Kullanılan Plastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Yapısal Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2008, 233256.

Boztoprak Y., Kartal İ., Bor Nitrür Partikülleriyle Takviye Edilmiş Vinil Ester Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2019, **6**(1), 43-50.

Chand N., Fahim M., Modelling The Effect Of Artificial Weathering on Abrasive Wear Behaviour Of Glass-Polyester Composites, *Tribology Letters* 2, 1996, 151-158.

Çağlar A., Geleneksel Kastamonu Evlerinde Kullanılan Harman Tuğlası Özelliklerinin Bor Atığı Katkısı ile İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Çalışma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2018, 499533.

Çelik Y., Kılıçkap E., Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Çubukların Aşınma Davranışlarının Araştırılması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2016, **13**(3), 69-75.

Çiftçi B., Fren Balatalarında Cam Elyaf Kullanımının Sürtünme Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010, 275167.

Demirel A., Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2007, 212872.

Demir M. E., Çelik Y. H. ve Kılıçkap E., Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin Yükün Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrasiv Aşınmaya Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 2019, **22**(4), 811-817, DOI: 10.2339/politeknik.429642.

Dural Erem A., Özcan G., Polipropilen/Titanyum Dioksit Nanokompozit Liflerin Üretimi ve Karakterizasyonu, *TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Tekstil ve Mühendis*, 2015, **22**(99).

Ertürk A. T., Vatansever F., Çok Tabakalı Sürekli Polyester Fiber Dokuma ve PTFE Partikül Takviyeli Polyester Kompozitin Aşınma Davranışı, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2018, **22**(Özel Sayı), 189-194.

Feyzulloğlu E., Şahin T., The Tribologic and Thermomechanic Properties of Polypropylene Filled with CaCO₃ and Anhydrous Borax, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2010, **29**, 2498-2512.

Hüner Ü., Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2008, 179835.

İlhan R., Feyzulloğlu E., The Wear of Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials at Different Loads and Speeds, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2018, **5**(1), 259-266.

İmak A., Solmaz M. Y., Topkaya T., Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Yorulma Davranışlarının Analizi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2016, **3**(3), 448-458.

İnci S., Elyaf Takviyeli Polipropilen / Elastomer Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, T0052646.

İpek H., Çuvalcı H., Kırılmış Cam Elyaf Takviyeli Kestamit Kompozitlerde Aşınma Davranışı, *Uluslararası Katılımlı III. Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, Kuşadası, Aydın, Türkiye, 05-07 Kasım 2015.

Kartal İ., Boztoprak Y., Bor Nitür Partikülleriyle Takviye Edilmiş Vinil Ester Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2019, **6**(1), 43-50.

Kaştan A., Yalçın Y., Talaş Ş., Nano Katkıların Polimerlerin Sürtünme Katsayısına Etkisi, *AKÜ FEMÜBİD 16*, 2016, (Özel Sayı), 231-243.

Kısa M., Özen M., Değirmenci D., Demircan G., Dirilmiş M., Çevresel Etkilere Maruz Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışı, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2017, **1**, 54-59.

Koç R., Mühendislik Plastiklerinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2011, **8**(2), 27-40.

Nanjwade B. K., Termal Analysis, KLE University Collage of Pharmacy, 02.01.2013, <https://www.slideshare.net/bknanjwade/thermal-analysis-42770949/79>, (Ziyaret Tarihi: 02.12.2019).

Onat A., Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojiler Bölümü Metalurji Programı, <https://docplayer.biz.tr/12475078-Sakarya-meslek-yuksekokulu-makina-ve-metal-teknolojileri-bolumu-metalurji-programi-kompozit-malzemeler-ders-notu.html>, (Ziyaret Tarihi: 17.01.2018).

Özorak C., Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2014, 375995.

Saçak M., *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitabevi, İstanbul, Türkiye, 2005, ISBN : 9786053445258

Sepet H., Nano-Partikül Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Nanokompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2014, 380919.

Serin F., Sıvılaştırılmış Bor Katkılı Yağların Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2015, 418876.

Sönmez M., Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerine İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 291977.

Sugözü İ., Mutlu İ., Fren balata malzemelerinin sürtünme ve aşınmaya etkisinin incelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2008, **4**, 33-40.

Şahin C., Cam Elyaf Takviyeli, Polyamid-6 Matrisli Kompozit Malzemeye Bor Oksit (B_2O_3) İlavesinin Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2014, 416238.

Türkmen İ., Köksal N. S., Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde (CTP) Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin ve Darbe Dayanımının İncelenmesi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **8**(2), 17-30, ISSN:1305-1385.

Vatangül E., Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve ANSYS10 Programı İle Isıl Gerilme Analizi, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2008.

Yaşar İ., Arslan F., Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oranı Ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi, *Türk J. Engin Environ Sci*, 2000, **24**, 181-191.

Yılmaz M., Kompozitlerin Kuru Kaymadaki Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2013, 346152.

Yöney H., El Yatırma Yöntemi ile Elyaf Takviyeli Kompozit Yapıların Üretilmesi ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 201635.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Sözer O. O.**, Şahin T., Cam Fiber/Susuz Bor Hibrit Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Uluslararası Katılımlı VII. Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 09-12 Eylül 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Ozan Osman SÖZER Haziran 1992’de Tokat’ta doğdu. Orta okul ve lise öğrenimini Yalova’da tamamladıktan sonra 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2016 yılında mezun olduktan sonra Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılından beri Beşiktaş Tersanesinde Teknik Hizmetler Departmanı Saha Mekanik Mühendisi olarak çalışmaktadır.

