

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMER MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ELYAF VE PARTİKÜL TAKVİYE
MALZEMELERİ VARLIĞINDA İYİLEŞTİRİLMESİ**

OKAN GÜL

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ






MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMER MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ELYAF VE PARTİKÜL TAKVİYE
MALZEMELERİ VARLIĞINDA İYİLEŞTİRİLMESİ

OKAN GÜL

Prof. Dr. Taner YILMAZ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Ali DURMUŞ
Jüri Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR
Jüri Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi
Doç. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi


.....

.....

.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 07.02.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde polimerlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ancak polimerler kullanıldıkları ortamlarda kendilerinden istenen özellikleri karşılamakta yetersiz kalabilmektedirler. Bu noktada polimerlerin çeşitli takviye elemanları ile takviye edilmeleriyle elde edilen polimer matrisli kompozitlerin kullanımı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında da hibrit araçlardaki tork limitleyici sistem içerisinde sönümleme görevi üstlenen termoplastik poliester elastomerin özelliklerinin çeşitli takviye elemanları varlığında iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, 5160067 no.lu TÜBİTAK Üniversite Sanayi İş Birliği Programı-1505 kapsamında proje bursiyeri olarak görev aldığım için ve sağladığı destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu'na teşekkür ederim. Bununla birlikte çalışma kapsamında sağladığı destekten dolayı Valeo Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince disiplinli ve özverili çalışmasıyla bana her zaman destek olan, beni sürekli cesaretlendiren, yardımı ve fikirleriyle bana ışık tutan, çalışmanın ortaya çıkmasında çok büyük emeği olan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Taner YILMAZ'a, tez çalışmasının ortaya çıkmasında en az danışmanım kadar emeği olan, proje kapsamında çalışma fırsatı veren, çalışma azmiyle fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı'na desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Tez izleme komitesinde yer alan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN'e ve Prof. Dr. Ali DURMUŞ'a tez çalışmama yapmış olduğu katkılardan dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmadaki desteklerinden ötürü, iş disiplini ve azmini her zaman taktir ettiğim sevgili Mak. Yük. Müh. Aytunç Kızıllı'a, çalışmadaki yardımlarından ve sağladığı katkılardan dolayı, çalışma ahlakını taktir ettiğim proje bursiyeri Mak. Müh. Yahya Gökberk KARTAL'a, çalışmadaki emeği ve yardımı en az benim kadar olan, çalışma şevkini taktir ettiğim ve çok başarılı olacağına inandığım Mak. Yük. Müh. Uğur DİNÇER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Düzce Üniversitesi öğretim elemanı Arş. Gör. Dr. Mehmet DUMAN ve Öğr. Gör. İrfan AKGÜL'e çalışmaya yapmış oldukları katkıdan dolayı teşekkür ederim.

Beni yetiştirip bugünlere getiren, bana her zaman destek olan, üzerimdeki emeklerini ve haklarını asla ödeyemeyeceğim, annem Hatice GÜL'e, babam Kadir GÜL'e ve sevgili kardeşim Mine GÜL'e en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım. İyi ki benim ailemsiniz.

Şubat - 2020

Okan GÜL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
ÖZET.....	xx
ABSTRACT	xxi
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	5
1.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	5
1.1.1. Termoplastik poliester elastomer	5
1.1.2. Bazalt elyaf	7
1.1.3. Cam elyaf	8
1.1.4. Karbon elyaf	9
1.1.5. Borik asit.....	9
1.1.6. Hegzagonal bor nitrür	10
1.2. Silanlama İşlemi	10
1.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	12
1.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri	14
1.4.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	14
1.4.2. Aşınma testi	14
1.4.3. Çekme testi	16
1.4.4. Üç nokta eğme testi.....	16
1.4.5. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizi	17
1.4.6. Isıl iletkenlik katsayısı analizi.....	17
1.4.7. Dinamik mekanik analiz (DMA)	19
1.4.8. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi	20
1.4.9. Termogravimetrik analiz (TGA).....	21
1.5. Çalışmanın Özgün Yanı	21
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	23
2.1. TPE Matrisli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar.....	23
2.2. BF/siBF Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar	33
2.3. BA/siBA Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar	39
2.4. HBN/siHBN Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar	43
2.5. GF veya CF Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar	51
2.6. Hibrit Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar	55
3. MALZEMELER VE YÖNTEM	60
3.1. Malzemeler	60
3.2. Yöntem	61
3.2.1. Silanlama işlemi.....	61
3.2.1.1. Bazalt elyaf yüzeyinin silanlanması	61
3.2.1.2. Hegzagonal bor nitrür yüzeyinin silanlanması	65
3.2.1.3. Borik asit yüzeyinin silanlanması.....	67

3.2.2. Numune üretimi	67
3.2.3. Karakterizasyon	72
3.2.3.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	72
3.2.3.2. Aşınma testi	72
3.2.3.3. Çekme testi	73
3.2.3.4. Üç nokta eğme testi	73
3.2.3.5. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizi	74
3.2.3.6. Isıl iletkenlik katsayısı analizi	75
3.2.3.7. Dinamik mekanik analiz (DMA)	75
3.2.3.8. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi	76
3.2.3.9. Termogravimetrik analiz (TGA)	77
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
4.1. Silanlama İşleminin Optimizasyonu	78
4.1.1. BF silanlama işleminin optimizasyonu	78
4.1.1.1. siBF takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları	78
4.1.1.2. siBF yüzeyinin FTIR sonuçları	80
4.1.2. HBN silanlama işleminin optimizasyonu	81
4.1.2.1. siHBN takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları	82
4.1.2.2. siHBN yüzeyinin FTIR sonuçları	84
4.1.3. BA silanlama işleminin optimizasyonu	85
4.1.3.1. siBA takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları	85
4.1.3.2. siBA yüzeyinin FTIR sonuçları	87
4.2. Aşınma Testi Sonuçları	87
4.2.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	88
4.2.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	99
4.2.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	107
4.2.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	110
4.2.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	112
4.2.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	116
4.3. Çekme Testi Sonuçları	119
4.3.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	119
4.3.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	135
4.3.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	144
4.3.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	147
4.3.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	151
4.3.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	154
4.3.7. Çekme testi ve aşınma testi sonuçlarının karşılaştırılması	158
4.4. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları	162
4.4.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	162
4.4.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	172
4.4.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	179
4.4.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi	181
4.4.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi	183

4.4.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	185
4.5. SEM Analizi Sonuçları.....	188
4.5.1. Çekme testi sonucu kopan yüzeylerin SEM analizi.....	188
4.5.1.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	188
4.5.1.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	192
4.5.1.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	194
4.5.1.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	195
4.5.1.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	196
4.5.1.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	198
4.5.2. Aşınma testi sonucu aşınan yüzeylerin SEM analizi.....	199
4.6. Isıl İletkenlik Katsayısı Analizi Sonuçları.....	202
4.6.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	202
4.6.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	206
4.6.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	209
4.6.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	210
4.6.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	211
4.6.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	212
4.7. Dinamik Mekanik Analiz Sonuçları.....	213
4.7.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	213
4.7.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	219
4.7.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	225
4.7.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	227
4.7.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	229
4.7.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	231
4.8. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi sonuçları.....	233
4.8.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	233
4.8.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	237
4.8.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	239
4.8.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	240
4.8.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	241
4.8.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	242
4.9. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları.....	243
4.9.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	243
4.9.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	246
4.9.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	249
4.9.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	249
4.9.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi.....	250
4.9.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi.....	251
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	253

KAYNAKLAR	261
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	275
ÖZGEÇMİŞ	278



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Termoplastik poliester elastomerin kimyasal yapısı.....	5
Şekil 1.2.	Tork limitleyici sistem içerisinde kullanılan TPE ve aşınma yüzeyine ait firmadan gelen bir görsel.....	7
Şekil 1.3.	Silan bağlama ajanı moleküler yapısı	11
Şekil 1.4.	Silanlama işleminin şematik gösterimi	12
Şekil 1.5.	Bir ekstrüderin yapısı.....	13
Şekil 1.6.	Enjeksiyonla kalıplama işleminin aşamaları.....	14
Şekil 1.7.	Aşınma testinin şematik gösterimi.....	15
Şekil 1.8.	Çekme cihazının şematik gösterimi.....	16
Şekil 1.9.	Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi	17
Şekil 1.10.	a) polimerlerde yüksek ısı iletkenlik b) polimerlerde düşük ısı iletkenlik	19
Şekil 1.11.	DMA cihazının şematik gösterimi	20
Şekil 1.12.	DSC cihazının şematik görüntüsü.....	20
Şekil 1.13.	TGA cihazının şematik gösterimi	21
Şekil 3.1.	Bazalt elyafın silan çözeltisinde bekletilmesi.....	64
Şekil 3.2.	Silanlanmış bazalt elyafın süzgeç kağıtları ile süzülmesi.....	64
Şekil 3.3.	Silanlama işlemi sonrası kurutulmuş bazalt elyaf.....	65
Şekil 3.4.	HBN'nin manyetik karıştırıcıda karıştırılması ve süzülmesi işlemi.....	66
Şekil 3.5.	DSM Xplore marka mikro harmanlayıcı	68
Şekil 3.6.	DSM Xplore marka enjeksiyonla kalıplama cihazı	68
Şekil 3.7.	Üretilen kompozitlere ait örnekler	71
Şekil 3.8.	Thermo Fisher marka FTIR cihazı.....	72
Şekil 3.9.	Nanovea marka tribometre cihazı	72
Şekil 3.10.	Shimadzu marka AG-X Universal çekme testi cihazı	73
Şekil 3.11.	Instron marka 4411 model çekme testi cihazı	74
Şekil 3.12.	Jeol marka JCM-6000 model taramalı elektron mikroskobu.....	75
Şekil 3.13.	C-Therm marka termal iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.....	75
Şekil 3.14.	TA Instruments marka Q800 model DMA cihazı	76
Şekil 3.15.	TA Instruments marka Q200 model DSC cihazı.....	77
Şekil 3.16.	TA Instruments marka Q500 model TGA cihazı.....	77
Şekil 4.1.	Farklı silanlama parametrelerinin bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi.....	79
Şekil 4.2.	Silanlanma prosesinin bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin yük-uzama eğrisi üzerine etkisi	80
Şekil 4.3.	Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf yüzeylerine ait FTIR spektrumları	81
Şekil 4.4.	Farklı silanlama parametrelerinin hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi.....	82
Şekil 4.5.	Silanlanma prosesinin hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerin yük-uzama eğrisi üzerine etkisi.....	83

Şekil 4.6.	Silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür yüzeylerine ait FTIR spektrumları.....	84
Şekil 4.7.	Silanlama prosesinin borik asit takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değeri üzerine etkisi	85
Şekil 4.8.	Silanlanma prosesinin borik asit takviyeli kompozitlerin yük-uzama eğrisi üzerine etkisi.....	86
Şekil 4.9.	Silanlanmamış/silanlanmış borik asit yüzeylerine ait FTIR spektrumları	87
Şekil 4.10.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	88
Şekil 4.11.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış borik asit takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	89
Şekil 4.12.	Saf TPE'ye ve silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	90
Şekil 4.13.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	91
Şekil 4.14.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	92
Şekil 4.15.	Silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	94
Şekil 4.16.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	94
Şekil 4.17.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	95
Şekil 4.18.	Silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	97
Şekil 4.19.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	97
Şekil 4.20.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	98
Şekil 4.21.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	99
Şekil 4.22.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	100
Şekil 4.23.	Saf TPE'ye ve silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	101
Şekil 4.24.	Silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	102
Şekil 4.25.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	103

Şekil 4.26.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	104
Şekil 4.27.	Silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	105
Şekil 4.28.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	105
Şekil 4.29.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	106
Şekil 4.30.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	107
Şekil 4.31.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	108
Şekil 4.32.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	109
Şekil 4.33.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	110
Şekil 4.34.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	111
Şekil 4.35.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	112
Şekil 4.36.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	113
Şekil 4.37.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	113
Şekil 4.38.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	115
Şekil 4.39.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri	116
Şekil 4.40.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	117
Şekil 4.41.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	118

Şekil 4.42.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait çekme dayanımı değerleri.....	119
Şekil 4.43.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait elastisite modülü değerleri.....	121
Şekil 4.44.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait kopma uzaması değerleri	122
Şekil 4.45.	Bilyalı rulman mekanizmasının şematik gösterimi	123
Şekil 4.46.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri	124
Şekil 4.47.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait çekme dayanımı değerleri.....	125
Şekil 4.48.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait elastisite modülü değerleri.....	126
Şekil 4.49.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait kopma uzaması değerleri	127
Şekil 4.50.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri	128
Şekil 4.51.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri	129
Şekil 4.52.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	130
Şekil 4.53.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	131
Şekil 4.54.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri	132
Şekil 4.55.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	133
Şekil 4.56.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	134
Şekil 4.57.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait çekme dayanımı değerleri.....	135
Şekil 4.58.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait elastisite modülü değerleri.....	136
Şekil 4.59.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait kopma uzaması değerleri	137
Şekil 4.60.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri	138
Şekil 4.61.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri.....	139
Şekil 4.62.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	140

Şekil 4.63.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	141
Şekil 4.64.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri	142
Şekil 4.65.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	143
Şekil 4.66.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	144
Şekil 4.67.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri	145
Şekil 4.68.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	146
Şekil 4.69.	Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	147
Şekil 4.70.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri	148
Şekil 4.71.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	149
Şekil 4.72.	Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	150
Şekil 4.73.	Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli hibrit kompozitlere ait gerilme-yüzde uzama eğrileri	150
Şekil 4.74.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri	151
Şekil 4.75.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	152
Şekil 4.76.	Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	153
Şekil 4.77.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri	155
Şekil 4.78.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri	156
Şekil 4.79.	Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri	157

Şekil 4.80.	Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli hibrit kompozitlere ait gerilme-yüzde uzama eğrileri.....	157
Şekil 4.81.	TPE matrisine sadece silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması	158
Şekil 4.82.	TPE matrisine yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması	159
Şekil 4.83.	TPE matrisine yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması	160
Şekil 4.84.	TPE matrisine cam elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması	161
Şekil 4.85.	TPE matrisine karbon elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması	162
Şekil 4.86.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait eğilme dayanımı değerleri	163
Şekil 4.87.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait eğilme modülü değerleri	164
Şekil 4.88.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri	165
Şekil 4.89.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait eğilme dayanımı değerleri	165
Şekil 4.90.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait eğilme modülü değerleri	166
Şekil 4.91.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri	167
Şekil 4.92.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri.....	168
Şekil 4.93.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	169
Şekil 4.94.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri.....	170
Şekil 4.95.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	171
Şekil 4.96.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait eğilme dayanımı değerleri	172
Şekil 4.97.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait eğilme modülü değerleri	173

Şekil 4.98.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri	174
Şekil 4.99.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri	175
Şekil 4.100.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	176
Şekil 4.101.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri	177
Şekil 4.102.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	178
Şekil 4.103.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri	179
Şekil 4.104.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	180
Şekil 4.105.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri	181
Şekil 4.106.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	182
Şekil 4.107.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri	183
Şekil 4.108.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri	184
Şekil 4.109.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	185
Şekil 4.110.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri	186
Şekil 4.111.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri	187
Şekil 4.112.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri	188
Şekil 4.113.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri	189
Şekil 4.114.	Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri	190

Şekil 4.115.	Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri.....	191
Şekil 4.116.	Silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri	192
Şekil 4.117.	Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri	193
Şekil 4.118.	Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri	195
Şekil 4.119.	Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri.....	196
Şekil 4.120.	Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri	197
Şekil 4.121.	Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri.....	198
Şekil 4.122.	Saf TPE'nin aşınma yüzeyine ait SEM görüntüleri.....	199
Şekil 4.123.	Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri	200
Şekil 4.124.	Silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri	200
Şekil 4.125.	Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri.....	201
Şekil 4.126.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	202
Şekil 4.127.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	203
Şekil 4.128.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	204
Şekil 4.129.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	205
Şekil 4.130.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	206
Şekil 4.131.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	207
Şekil 4.132.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	208
Şekil 4.133.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri	209

Şekil 4.134. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri	210
Şekil 4.135. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri	211
Şekil 4.136. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri	212
Şekil 4.137. Saf TPE'ye ve silanlanmamış borik asit takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	213
Şekil 4.138. Saf TPE'ye ve silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	214
Şekil 4.139. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	215
Şekil 4.140. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	216
Şekil 4.141. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	217
Şekil 4.142. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	218
Şekil 4.143. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	219
Şekil 4.144. Saf TPE'ye ve silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	220
Şekil 4.145. Saf TPE'ye ve silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	221
Şekil 4.146. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	222
Şekil 4.147. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	222
Şekil 4.148. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	223
Şekil 4.149. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	224
Şekil 4.150. Saf TPE'ye ve cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	225
Şekil 4.151. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	226

Şekil 4.152. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri.....	227
Şekil 4.153. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri.....	227
Şekil 4.154. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	228
Şekil 4.155. Saf TPE'ye ve karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	229
Şekil 4.156. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri	230
Şekil 4.157. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri.....	231
Şekil 4.158. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri.....	232
Şekil 4.159. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri.....	232
Şekil 4.160. Saf TPE'ye ait DSC eğrisi	233
Şekil 4.161. Saf TPE'ye ait TGA eğrisi.....	243
Şekil 5.1. Üretimi gerçekleştirilen prototip numuneler.....	259

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	60
Tablo 3.2.	Bazalt elyaf silanlama prosesine ait proses parametreleri	62
Tablo 3.3.	Hegzagonal bor nitrür silanlama prosesine ait proses parametreleri	66
Tablo 3.4.	Borik asit silanlama prosesine ait proses parametreleri.....	67
Tablo 3.5.	Numunelerin kodları ve ağırlıkça bileşim oranları	69
Tablo 4.1.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait DSC analizi sonuçları	234
Tablo 4.2.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait DSC analizi sonuçları	234
Tablo 4.3.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları.....	235
Tablo 4.4.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları.....	236
Tablo 4.5.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait DSC analizi sonuçları	237
Tablo 4.6.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları	238
Tablo 4.7.	Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları	239
Tablo 4.8.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları.....	240
Tablo 4.9.	Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları	241
Tablo 4.10.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları	241
Tablo 4.11.	Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları	242
Tablo 4.12.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait TGA sonuçları	244
Tablo 4.13.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait TGA sonuçları	245
Tablo 4.14.	Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları.....	245

Tablo 4.15. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları.....	246
Tablo 4.16. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait TGA sonuçları	247
Tablo 4.17. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları.....	247
Tablo 4.18. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları.....	248
Tablo 4.19. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları.....	249
Tablo 4.20. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları	250
Tablo 4.21. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları.....	251
Tablo 4.22. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları	251

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$(X_c)_{rel}$: Relatif kristalinite oranı, (%)
B	: Bor
BN	: Bor nitrür
CH ₂	: Metilen
E	: Elastisite modülü, (MPa)
E'	: Depo modülü, (MPa)
E _c	: Kompozitin elastisite modülü, (MPa)
E _e	: Eğilme modülü, (MPa)
E _f	: Elyafın elastisite modülü, (MPa)
E _m	: Matrisin elastisite modülü, (MPa)
H	: Hidrojen
H ₃ BO ₃	: Borik asit
MoS ₂	: Molibden disülfid
NaOH	: Sodyum hidroksit
O	: Oksijen
OH	: Hidroksil
Si	: Silisyum
SiO ₂	: Silisyum dioksit
T _{%10}	: %10 ağırlık kaybının olduğu sıcaklık, (°C)
T _{%5}	: %5 ağırlık kaybının olduğu sıcaklık, (°C)
T _g	: Camsı geçiş sıcaklığı, (°C)
TiO ₂	: Titanyum dioksit
T _m	: Erime sıcaklığı, (°C)
T _{max}	: Maksimum ağırlık kaybının olduğu sıcaklık, (°C)
V _f	: Elyaf hacim oranı
WS ₂	: Tungsten disülfid
ΔH ₀	: Katkısız polimerin erime entalpisi, (J/g)
ΔH _m	: Erime entalpisi, (J/g)
ε	: Kopma uzaması, (%)
λ	: Isıl iletkenlik katsayısı, (W/mK)
λ _e	: Elyaf etkinlik faktörü
σ	: Çekme dayanımı, (MPa)
σ _c	: Kompozitin çekme dayanımı, (N/mm ²)
σ _e	: Eğilme dayanımı, (MPa)
σ _f	: Elyafın çekme dayanımı, (N/mm ²)
σ _m	: Matrisin çekme dayanımı, (N/mm ²)
Φ ₁	: Matris hacim oranı
Φ ₂	: Takviye elemanı hacim oranı
ω	: Matrisin kompozit içerisindeki ağırlıkça oranı

Kısaltmalar

AP : 3-(aminopropil) trietoksisilan

APS	: 3-(aminopropil) trietoksisilan
APTES	: 3-amino-propil-3-etoksi-silan
BA	: Borik Asit
BF	: Bazalt Elyaf
CF	: Karbon Elyaf
CNT	: Karbon Nanotüp
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DSC	: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
EPDM	: Etilen Propilen Dien Termonomer
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
GF	: Cam Elyaf
GO	: Grafen Oksit
GP	: 3-(glisitiloksipropil) trimetoksisilan
HBN	: Hegzagonal Bor Nitrür
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
MA	: 3-(trimetoksilil) propil metakrilat
MPS	: 3-(metakriloksipropil) trimetoksisilan
PAEK	: Poli(aril-eter-ke-ton)
PBT	: Poli(bütülen teraftalat)
PLA	: Poli(Laktik Asit)
PP	: Polipropilen
PTFE	: Poli(tetrafloraetilen)
PTMG	: Poli(tetrametil glikol)
PVA	: Poli Vinil Alkol
PVC	: Poli(Vinil Klorit)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
siBA	: Silanlanmış Borik Asit
siBF	: Silanlanmış Bazalt Elyaf
siHBN	: Silanlanmış Hegzagonal Bor Nitrür
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TPE	: Termoplastik Poliester Elastomer
UHMWPE	: Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen)
XRD	: X-Ray Diffractometer (X-Işını Kırınımı)

TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ELYAF VE PARTİKÜL TAKVİYE MALZEMELERİ VARLIĞINDA İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, termoplastik poliester elastomer esaslı malzemenin aşınma davranışı ve eş zamanlı olarak mekanik, termomekanik ve termal performanslarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hegzagonal bor nitrür ve borik asit partikülleri ile bazalt elyaf, cam elyaf ve karbon elyafı değişen bileşimlerde içeren kompozitler hazırlanmış ve bu takviye malzemelerinin tribolojik, mekanik, termal ve termomekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Buna ek olarak, hegzagonal bor nitrür, borik asit ve bazalt elyaf yüzeylerini fonksiyonel hale getirmek için yüzey silanlama işlemi uygulanmıştır. Yüzey silanlama işleminin başarımı FTIR analizi ile değerlendirilmiştir. Termoplastik poliester elastomer matrisli kompozitler, ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama yöntemleri kullanılarak hazırlanmıştır. Kompozitlerde borik asit takviye oranı ağırlıkça %0,25, %0,5, %1 olarak, hegzagonal bor nitrür takviye oranı ağırlıkça %1, %5, %10 olarak kullanılırken, elyaf takviye oranı ağırlıkça %10 olarak sabit tutulmuştur. Sadece partikül takviyesi içeren kompozitler, sadece elyaf takviyesi içeren kompozitler ve partikül ile elyaf takviyesini eş zamanlı içeren hibrit kompozitler üretilmiştir. Tribolojik özelliklerin karakterizasyonu aşınma testi ile, mekanik özelliklerin karakterizasyonu çekme testi ve üç nokta eğme testi ile, termomekanik özelliklerin karakterizasyonu dinamik mekanik analiz (DMA) ile, termal özellikler ise ısı iletkenlik katsayısı analizi, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Çekme testi sonucu kopan yüzeylerin ve aşınma testi sonucu aşınmış yüzeylerin morfolojik analizi SEM analizi ile araştırılmıştır. Elde edilen tüm test sonuçlarına göre kompozitlerin aşınma davranışı ve eş zamanlı olarak mekanik, termomekanik ve termal performanslarında iyileşme olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elyaf, Hegzagonal Bor Nitrür, Polimer Matrisli Kompozitler, Silan Bağlama Ajanı, Termoplastik Poliester Elastomer.

IMPROVEMENT OF TRIBOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC POLYESTER ELASTOMER MATRIX COMPOSITES IN THE PRESENCE OF FIBER AND PARTICULATE REINFORCEMENT

ABSTRACT

In this thesis, it is aimed to improve the wear behavior and simultaneously mechanical, thermomechanical and thermal performance of thermoplastic polyester elastomer based material. For this purpose, composites which contain hexagonal boron nitride, boric acid, basalt fiber, glass fiber and carbon fiber in varying compositions were prepared and the effects of these reinforcing materials on tribological, mechanical, thermal and thermomechanical properties were investigated. In addition, silane surface modification process was applied to functionalize the surfaces of hexagonal boron nitride, boric acid and basalt fiber. The success of the silane surface modification process was evaluated by FTIR analysis. Thermoplastic polyester elastomer matrix composites were prepared by extrusion compounding and injection molding methods. In the composites, boric acid reinforcement ratio was used as 0.25, 0.5, 1% by weight, hexagonal boron nitride reinforcement ratio was used as 1, 5, 10% by weight, while the fiber reinforcement ratio was used as 10% by weight. Composites which contain only particle reinforcement, only fiber reinforcement and simultaneously contain particle and fiber reinforcement have been produced. Characterization of tribological properties was examined by wear test, characterization of mechanical properties was examined by tensile test and three point bending test, characterization of thermomechanical properties was examined by dynamic mechanical analysis (DMA), thermal properties was examined by thermal conductivity coefficient analysis, differential scanning calorimetry (DSC), and thermogravimetric analysis (TGA) methods. Morphological analysis of fractured surfaces after tensile test and worn surfaces after wear test were investigated by SEM analysis. According to all results of the tests, it was concluded that the wear behavior and simultaneously mechanical, thermomechanical and thermal performance of the composites improved.

Keyword: Fiber, Hexagonal Boron Nitride, Polymer Matrix Composites, Silane Coupling Agent, Thermoplastic Polyester Elastomer.

GİRİŞ

Günümüzde kullanılan teknolojinin ulaştığı seviye ve ihtiyaçlarımızın gereksinimleri sonucunda, iyi tasarlanmış ve geliştirilmiş makine ile bu makineyi oluşturan parça ve ekipmanların üretilip kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Belirtilen bu zorunluluk kapsamında yapılan çalışmalar göstermiştir ki; geleneksel olarak kullanılan endüstriyel malzemeler var olan ihtiyacı karşılamayarak yetersiz kalmıştır. Bu nedenle teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla özel yöntem ve teknikler ile üretilen kompozit (karma) malzemeler ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda kompozit malzeme teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaşması ile beraber bu malzemelerden üretilen kompozitlerin çeşitleri artmış, böylece mekanik özellikleri geliştirilmiş yeni malzemeler ortaya çıkmıştır. Kompozitler, bileşenleri arasında kimyasal reaksiyon olmaksızın ara yüzeylerle ayrılmış, en az iki farklı malzemenin istenen özelliklerini tek bir malzeme ile elde etmek üzere tasarlanmış olan malzemelerdir. En az iki veya daha fazla malzeme makro düzeyde birleştirilerek en iyi özelliklerin ortaya konduğu bir malzeme elde edilir. Mekanik özellikler, üretim şekli ve maliyet göz önüne alındığında kompozit malzemelerin, diğer malzemelerin yanında önemli bir konumda olduğu görülmektedir. Kimyasal bağlanma olmadığı için malzeme, mikroskobik açıdan heterojen bir malzeme özelliği göstermekte, ancak makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi davranmaktadır (Buragohain, 2017; Chawla, 2012; Mallick, 2007).

Kompozit malzemelerde en yaygın kullanılan matris malzemesi olarak polimer matrisler yer almaktadır. Saf polimerler mekanik özellikleri bakımından gerek metallere gerekse seramiklere kıyasla dayanıksız malzemelerdir. Ancak takviye edilmeleri durumunda ise metal ve seramiklere nazaran düşük yoğunluklu, yüksek spesifik mukavemet, spesifik modül ve rijit yapıya sahip olabilmektedirler (Buragohain, 2017; Chawla, 2012; Mallick, 2007).

Son yıllarda kullanımı artan Termoplastik Elastomerler (TPE), termoplastik malzemelerin kolay işleme ve geri dönüşüm özellikleriyle, termoset kauçukların

fiziksel özellikleri olan esneklik ve elastikiyeti bir araya getiren çok yönlü bir malzeme grubudur. TPE'ler yapı itibarı ile biri kauçuk özellikleri gösteren elastomerik, diğeri ise termoplastik özellikleri gösteren rijit yapıda iki fazdan oluşan malzemeler olarak tanımlanır. Elastomerik faz, elastikiyet, yumuşaklık, esneklik, kalıcı deformasyon ve minimum kullanım sıcaklığı gibi malzemenin kauçuk malzemelere benzer özelliklerini belirler. TPE'ler termoset kauçuk ve sert termoplastiklerin arasındaki boşlukta köprü işlevi görmektedir (Lee ve diğ., 2009; John ve diğ., 2016; Sreekanth ve diğ., 2009; Kadam ve diğ., 2013; Hao ve diğ., 2016). Ancak katkısız polimer kullanımı onlardan istenen özellikleri karşılamakta yetersiz kalabilir. Bu yüzden polimerler elyaf ya da partiküller ile takviye edilebilirler.

Elyaf takviyeli kompozitlerde performansı etkileyen en önemli faktör matris ile elyaf arasındaki ara yüzey yapışması ve elyaf ile polimer arasındaki bağ dayanımıdır. Yapısal bütünlük ve polimer kompozitlerin ömrü elyaf-matris ara yüzeyindeki kararlılığa önemli bir şekilde bağlıdır. Bu yüzden elyaf-matris ara yüzeyini karakterize etmek son derece önemlidir. Bununla birlikte matris ile takviye elemanları arasındaki etkileşimi iyileştirmek için çeşitli yüzey modifikasyon işlemleri uygulanabilir. Bu işlemlerden biri de yüzey silanlama işlemidir. Silanlar kompozitlerde ve yapışma uygulamalarında kullanılan etkili bağlama ajanlarıdır. Silan bağlama ajanları, elyaflar ve matrisler arasında kovalent bağ yaparlar. Silanlama elyaf ile matris arasındaki uyumluluğu artırır ve mekanik özellikleri geliştirir (Xie ve diğ., 2010; Singha ve diğ., 2013; George ve diğ., 2016; John ve diğ., 2008; Qi ve diğ., 2014).

Öte yandan partikül ve elyaf takviyesini eş zamanlı olarak içeren hibrit kompozitler de kullanılabilir. Bu kompozitlerde amaç elyaf ve partikül takviye elemanları arasında sinerjik bir etki oluşturmaktır. Hibrit kompozitler dayanım/ağırlık oranı, düşük maliyet ve kolay üretilebilme sebebiyle birçok mühendislik uygulamasında kullanılırlar. Hibrit kompozitler çekme modülü, basma dayanımı ve darbe dayanımı gibi özelliklerin kombinasyonunu sağlar. Son yıllarda, hibrit kompozitler yüksek performans sergileyen malzemeler oldukları için kullanımları hızla artmaktadır. Hibrit kompozitler genellikle farklı tiplerde elyafların ve partiküllerin özelliklerini birlikte elde etmek gerektiğinde kullanılırlar. Hibrit kompozitlerin davranışı onu

oluşturan bileşenlerin toplamıdır. Hibrit kompozitler onu oluşturan bileşenlerin avantaj ve dezavantajı arasında daha iyi bir denge kurarlar. İki ya da daha fazla tipte elyaf içeren bir hibrit kompozit kullandığımızda, elyaflardan birinin olumlu özelliği diğerinin olumsuz özelliğini tamamlar. Sonuç olarak, doğru bir malzeme tasarımı ile fiyat-performans arasında iyi bir denge kurulabilir (Gururaja ve Rao, 2012; Jawaid ve Khalil, 2011; Nunna ve diğ., 2012; Madhusudhan ve Swaroop, 2016; Mohammed ve diğ., 2015; Sathishkumar ve diğ., 2014).

Bu tez çalışmasında hibrit araçlardaki aktarma organlarında bulunan tork limitleyici sistem içerisinde sönümleme görevi üstlenen termoplastik poliester elastomer esaslı malzemenin aşınma davranışı ve eş zamanlı olarak mekanik, termomekanik ve termal performanslarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda hegzagonal bor nitrür (HBN) ve borik asit partikülleri ile bazalt elyaf, cam elyaf ve karbon elyafı değişen bileşimlerde içeren kompozitler hazırlanmıştır. Bununla birlikte HBN, borik asit, bazalt elyaf yüzeyine silanlama yöntemiyle yüzey modifikasyon işlemi uygulanmış ve başarımı FTIR analizi ile değerlendirilmiştir. Sonrasında, bu takviye malzemelerinin, polimerin tribolojik, mekanik, termal ve termomekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Termoplastik poliester elastomer matrisli kompozitler, ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Tribolojik özelliklerin karakterizasyonu aşınma testi ile, mekanik özellikler çekme ve üç nokta eğme testi ile, termomekanik özellikler dinamik mekanik analiz ile, termal özellikler ise diferansiyel taramalı kalorimetri, ısı iletkenlik katsayısı ve termogravimetrik analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Çekme testi sonucu kopan yüzeyler ve aşınma testi sonucu aşınmış yüzeylerin morfolojik analizi SEM analizi ile araştırılmıştır.

Çalışmanın 1. bölümünde, çalışmada kullanılan malzemeler ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bunun yanı sıra bu bölümde, kompozitlerin üretim yöntemleri, silanlama işlemi ve kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan testler ve analizler yer almaktadır. Bununla birlikte 1. bölümün sonunda çalışmanın özgünlüğüne yer verilmiştir. Çalışmanın 2. bölümünde ise literatür taraması yapılmış ve tarama sonucunda elde edilen bilgiler anlatılmıştır. Çalışmanın 3. bölümü, tez kapsamında kullanılan malzemelerin özellikleri, kompozit karışım oranları, kompozitlerin üretim koşulları, kompozitlere uygulanan karakterizasyon

yöntemlerinin parametrelerini içermektedir. Çalışmanın 4. bölümünde, takviye elemanlarına uygulanan silanlama işleminin sonuçları verilmiş, ayrıca üretilen kompozitlerin test sonuçları paylaşılmış ve tartışılmıştır. Son bölümde ise tez çalışması sistematığıne bağlı olarak tespit edilenler ve öneriler yer almaktadır.



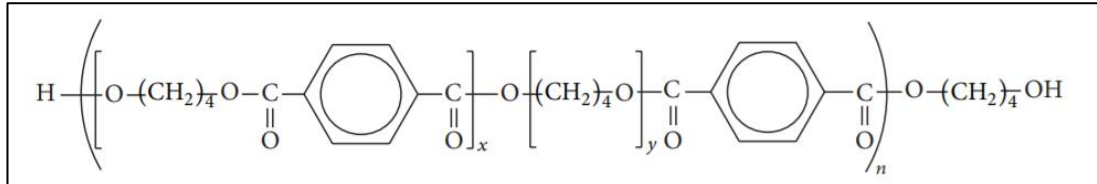
1. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan malzemelerle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Ardından takviye elemanı yüzeyine uygulanan silanlama işlemi anlatılmıştır. Sonrasında, kompozit malzemelerin üretim yöntemleri hakkında bilgi verilmiş ve bölümün sonunda çalışmanın özgün yanına yer verilmiştir.

1.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

1.1.1. Termoplastik poliester elastomer

Termoplastik elastomerler ilk olarak 1965 yılında Shell Kimya Şirketi tarafından üretilmiştir. Termoplastik elastomerin üretilme amacı, kauçuklar gibi özellikler sergileyen ve termoplastikler gibi üretilebilen malzeme ihtiyacının karşılanmasıdır. Bu amaç, polimer içerisindeki mikroyapısal seviyedeki sert ve yumuşak fazlar ile karakterize edilen bir malzeme sınıfının geliştirilmesiyle başarılmıştır (Drobny, 2014). Termoplastik poliester elastomerin kimyasal yapısı Şekil 1.1'de görülmektedir (Hussain ve diğ., 2016).



Şekil 1.1. Termoplastik poliester elastomerin kimyasal yapısı (Hussain ve diğ., 2016)

Termoplastik poliester elastomerler (TPE), elastomerlerin elastik özellikleri ile termoplastiklerin iyi proses edilebilme ve dayanım özelliklerini birlikte barındıran önemli mühendislik malzemeleridir (Lee ve diğ., 2009; Sreekanth ve diğ., 2009; Hemanth ve diğ., 2014). Bu sebeple TPE kullanımı her geçen gün artmaktadır. Termoplastik poliester elastomerler iyi mekanik özellikler sergiledikleri için birçok otomobil parçasında kullanılmaktadır (Lee ve diğ., 2009). TPE'ler geleneksel elastomer malzemelerin aksine iyi işlenebilirlik, iyi biyobozunurluk ve iyi ısı direnci sergilerler (Hao ve diğ., 2016). TPE oda sıcaklığında elastomerik davranış sergiler ve

yüksek sıcaklıklarda termoplastikler gibi şekillendirilebilir. Düşük sıcaklıklarda bile darbe dayanımı çok iyidir. Çok hafif ve geri dönüştürülebilir olması sebebiyle kauçukların yerine kullanılabilir (Lee ve diğ., 2011). TPE mükemmel bir esneme yorulma dayanımına sahiptir ve geniş bir sıcaklık aralığında kullanım imkanı sunar. Yırtılmaya, darbeye, sürünmeye karşı dirençlidir. Ayrıca hidrokarbonlara ve çeşitli akışkanlara maruz kaldığında bile üstün tokluk özellikleri gösterir. TPE'nin mekanik ve termal özellikleri onu oluşturan yumuşak ve sert segmentlerin bileşimine göre belirlenebilir. Bu sebeple yumuşak ve sert segment bileşiminin, mekanik ve termal davranışa etkisi birçok araştırmacı için ilgi çekmiştir (Sreekanth ve diğ., 2009; John ve diğ., 2016).

Termoplastik poliester elastomerler kauçuğumsu elastomerler ile rijit plastikler arasında köprü vazifesi görür (Zaman ve diğ., 2011; Wang ve diğ., 2016). Du Pont firması tarafından Hytrel ticari adı altında geliştirilen termoplastik poliester elastomer, poli(bütilen teraftalat) (PBT) sert (kristalin) segmentinden ve uzun poli(eter glikol) zincirlerinin temel alındığı yumuşak (amorf) segmentten oluşan en sık kullanılan TPE türüdür (Sreekanth ve diğ., 2009; Gaikwad ve Gaval, 2015; Yang ve diğ., 2015; Junji ve diğ., 2008). TPE matrisindeki sert segmentler termoplastik özelliklere yol açar. Yumuşak amorf yapı ise düşük sıcaklık esnekliğini ve termal kararlılığı belirler (Bae ve diğ., 2013). TPE'ler, enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyon, şişirme ile kalıplama, eriyikten dökme ve döner kalıplama gibi çeşitli termoplastik işleme teknikleri kullanılarak yüksek performanslı parçaların üretiminde kullanılabilir.

Termoplastik poliester elastomer matrisli kompozitler, dişliler ve zincir dişlileri gibi birçok otomobil parçasında, yüksek mukavemet gerektiren endüstriyel hortumlarda, sızdırmazlık ürünlerinde, kayışlarda, sönümleme elemanlarında, darbe ve ses absorblayan cihazlarda, yaylarda ve bağlantı elemanlarında, esnek kaplinlerde, kayak botlarında, fiber optik kablolarında, tel kaplamalarında, spor malzemelerinde, ev eşyalarında, elektrik-elektronikte kullanılırlar (Sreekanth ve diğ., 2009; Hemanth ve diğ., 2014; Hao ve diğ., 2016; Bae ve diğ., 2013; Yang ve diğ., 2013; Hemanth ve diğ., 2015; Ma ve diğ., 2014; Kang ve diğ., 2015).

Çalışma kapsamında kullanılan TPE, hibrit araçlardaki aktarma organlarında bulunan tork limitleyici sistem içerisinde sönümlenme amacıyla kullanılmaktadır. Ancak TPE sönümlenme görevini yerine getirirken, yüzeyi aşınmaya maruz kalmaktadır. TPE'nin yay içerisindeki sönümlenme görevi mekanizması ve bu mekanizma içerisinde çalışması sonrasında yüzeyindeki aşınma Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2. Tork limitleyici sistem içerisinde kullanılan TPE ve aşınma yüzeyine ait firmadan gelen bir görsel

1.1.2. Bazalt elyaf

Bazalt taşı, volkanik kayalardan elde edilen ve doğada sık rastlanan, hemen hemen tüm ülkelerde bulunan bir malzemedir. Bazalt ilk olarak Amerikalı bilim adamları tarafından 1923 yılında keşfedilmiştir. İkinci dünya savaşı sırasında bazalt askeri araştırmalar için geliştirilmiş ve Amerika, Avrupa ve Sovyetler Birliği tarafından savunma ve havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmıştır. Sovyetler Birliği'nin 1985 yılında; günümüzde kullanılan sürekli bazalt elyafı üretmesiyle, bu elyafı uzay ve havacılık sanayiinin yanında otomotiv, inşaat, izolasyon ve savunma sanayi gibi birçok endüstri için kompozit ürünler geliştirerek kullanıma sunmuştur. Bazalt elyaf üretimi ilk olarak bazalt kayaların toz haline getirilmesi ile başlar ve sonrasında 1500-1700 °C arasında camsı bir sıvı haline dönüştürülür. Daha sonra bir ekstrüder yardımıyla lifler halinde üretilerek bir araya getirilir ve elyaf demetleri olarak sarılır. Bazalt minerali eser miktarda alümina, magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, silisyum dioksit ve demir oksitlerinden meydana gelir. Kimyasal içeriği coğrafi konumdaki dağılıma göre değişebilmektedir. Mekanik ve kimyasal

özellikleri cam elyafa benzeyen bazalt elyafın iyi mekanik dayanım, mükemmel ses ve ısı yalıtım özelliği ve yanıcı olmaması diğer avantajları arasındadır. Karbon elyaftan daha ekonomiktir. Bazalt elyafın yüzeyi kolayca modifiye edilebilir ve kompozit üretiminde matrisle uyumluluğu artırılabilir. Bazalt elyaf sahip olduğu bu avantajların yanında mükemmel geri dönüştürülebilirlik ve geniş çalışma sıcaklıklarına sahip olmasından dolayı son yıllarda araştırmacıların ve özellikle kompozit endüstrisinin ilgisini çekmektedir (Fiore ve diğ., 2015; Dhand ve diğ., 2015; Singha, 2012).

1.1.3. Cam elyaf

Elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler için cam elyaf; maliyeti, hafifliği, mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle en yaygın kullanılan elyaf takviye elemanıdır. Ancak cam elyafların mekanik özellikleri, karbon fiberler ile kıyaslandığında düşük modül ve çekme dayanımına sahiptir. Cam elyafların, üretim yöntemleri ve eklenen bazı kimyasallara göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. A-cam, E-cam, S-cam ve C-cam olarak dört sınıfa ayrılır.

- A Cam, Pencerelerde ve şişelerde yaygın kullanılan yüksek oranda alkali içeren cam çeşididir. Kompozitler de çok fazla kullanılmaz.
- E-cam, diğer cam elyaf türlerine göre yüksek mukavemete ve sertliğe, düşük maliyete, iyi elektriksel özelliklere sahiptir. E-cam, çoğunlukla filaman sarma üretiminde kullanılır. Kompozitler takviye elemanı olarak en çok kullanılan cam türüdür.
- S-cam, E-cam'a göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptir ve maliyeti yüksektir. Bu nedenle, havacılık, savunma endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.
- C-cam, kimyasal çözeltilere karşı yüksek direnç gösterir ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Bu nedenle C-cam, boru, basınçlı kap, depolama tankı gibi yerlerde kompozit yapıların korozyon etkilerinden korumak için dış tabakada bir koruyucu tabaka olarak kullanılır (Campbell, 2004; Murphy, 2001).

1.1.4. Karbon elyaf

Karbon elyaf, karbonlaşmış akrilik elyaf, katran ve naylondan meydana gelir. Karbon elyaflar yüksek dayanım, yüksek modül ve aşınma direncine sahip malzemelerdir ve polimer matrisli kompozit malzemelerde yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemeye üstün mekanik özellikler ve düşük yoğunluk kazandırır. Karbon elyaflar tüm elyaflar arasında en yüksek spesifik modül ve en yüksek spesifik dayanım değerlerine sahiptir. Karbon elyafların yapısındaki grafit tabakaları ve karbon atomları arasındaki güçlü kimyasal bağ, onlara yüksek elastisite modülü ve çekme dayanımı kazandırır. Karbon elyaflar, dayanım, bükülmezlik, hafiflik ve üstün yorulma karakteristiği gibi kritik gereksinimlerin olduğu yerler için son derece uygun malzemelerdir. Bununla birlikte yüksek sıcaklık, kimyasal inörtlük ve yüksek titreşim sönümlenmesinin önemli olduğu yerlerde de kendilerine uygulama alanı bulurlar. Ayrıca karbon elyaflar iyi elektrik iletkenliği, iyi ısıl iletkenlik ve düşük ısıl genişleme katsayısına sahiptirler. Karbon elyaflarının kimyasal yapısının kontrolü önemlidir. Çünkü sahip olduğu iletkenlik ve mekanik özellikler kimyasal yapısına bağlıdır. Karbon elyaf üretimi için gerekli olan kimyasal reaksiyonlar maliyetli ve zordur. Karbon elyafların üretilmesi için inert bir atmosfer ve 1200 °C ile 3000 °C arasındaki sıcaklıklar gereklidir. Karbon elyafların kullanıldığı iki temel sektör vardır. Bunlar uzay ve nükleer mühendislik sektörü ile genel mühendislik ve ulaşım sektörüdür. Genel mühendislik sektöründe rulmanlar, dişliler, fan kanatları ve otomobil gövdeleri gibi yerlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte iki sektörün gereksinimleri birbirinden tamamen farklıdır. Karbon elyafların büyük bir kısmı maksimum performans ve yakıt tasarrufu istenen ancak üretim maliyetlerinin ilk planda olmadığı havacılık ve uzay sektöründe kullanılmaktadır. Karbon elyafların genel mühendislikte ve ulaşım sektöründe kullanılmaları yüksek maliyetleri sebebiyle kısıtlanmaktadır ve yalnızca kritik performans istenilen uzay, havacılık, savunma ve otomotiv endüstrisinin önemli uygulama alanlarında kullanılabilmektedirler (Chand, 2000; Yao ve diğ., 2018).

1.1.5. Borik asit

Borik asit tabakalı yapısından kaynaklanan iyi yağlama özellikleri sebebiyle sıkça kullanılan bir yağlayıcıdır. HBN'ye benzer olarak B, O ve H atomları yapı içerisinde

sıkıca paketlenmiş halde ve birbirlerine kovalent bağlarla bağlıken, tabakalar ise birbirlerine zayıf van der Waals bağları ile bağlıdırlar. Böylece tabakalar birbirlerine göre kolayca kayarken sistemin yağlama özelliğini sağlarlar (URL-1, 2016). Borik asit, elementel borun bir oksit asiti olup, formülü H_3BO_3 şeklindedir. Borik asit, kokusuz, tatsız, havada kararlı, beyaz kristaller şeklinde bir maddedir. Molekül ağırlığı 61,83 gr/mol, erime noktası 169 °C ve kaynama noktası 300 °C'dir. Özgül ağırlığı 1,46 gr/cm³tür. Borik asit suda orta derecede çözünür. Sıcak sudaki çözünürlüğü soğuk sudakinden fazladır. Benzer şekilde alkol ve gliserinde de çözünmektedir (Deshmukh ve diğ., 2006).

1.1.6. Hegzagonal bor nitrür

Bor nitrür (BN) izoelektronik özellikte seramik bir malzemedir ve karbon gibi birçok allotropik formda bulunmaktadır. Bor nitrürün en yaygın yapıları hegzagonal formda (grafit benzeri) ve kübik formda (elmas benzeri) olanlarıdır. HBN grafit benzeri yapısı ile katmanlı yapıda bir malzemedir. HBN'nin düzlemsel ağ örgüleri düzenli olarak istiflenmiştir ve bu durum beraberinde kompozitlerde elektrik akımı bariyeri gibi davranma özelliğini de getirir. HBN'nin katmanlı kristal yapısında her bir tabakadaki moleküller birbirlerine karşılıklı olarak kuvvetli kovalent bağlarla bağlıken tabakalar ise birbirlerine zayıf van der Waals kuvvetleriyle bağlıdırlar. Katmanlı yapının kayması kolay olduğu için bu tabakalar kolayca kayarlar. Bu sebeple de HBN polimerlerin aşınma direncini iyileştirir. Ayrıca kuvvetli kimyasal ve ısıl kararlılığa sahiptir. Düşük ısıl genleşme sergiler, ısıl şok direnci yüksektir ve yüksek ısıl iletkenlik katsayısına sahiptir (Bernard ve Miele, 2014; Jiang ve diğ., 2015).

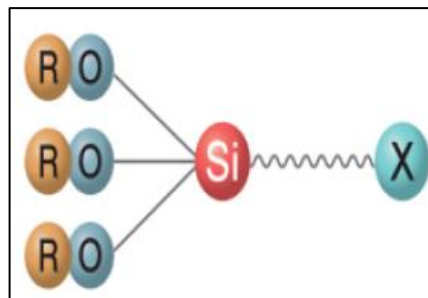
1.2. Silanlama İşlemi

Takviye elemanları ve polimerlerin yüzeyleri arasındaki uyumsuzluk nedeniyle oluşabilen, matris ile takviye elemanı arasındaki zayıf arayüzey yapışması kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz bir şekilde etkiler. Ayrıca bu uyumsuzluk sebebiyle takviye elemanları matris içerisinde aglomera olma eğiliminde olabilirler ve polimer matriste homojen bir dağılım sergileyemezler. Bununla birlikte polimer matrisin takviye elemanlarını ıslatamaması zayıf bir arayüzey yapışmasına sebep olur. Bu nedenle, matristen takviye elemanlarına olan gerilim transferi

etkinliği azalır. Polimer matrisli kompozitlerde arayüzey yapışmasını iyileştirmek ve kompozitlerin özelliklerini geliştirmek için çeşitli silanlar bağlama ajanı olarak uygulanabilmektedir. Sonuç olarak, takviye elemanlarına yüzey silanlama işlemi uygulandığında takviye elemanlarının polimer tarafından ıslanabilirliği ve arayüzeyin yapışma kalitesi iyileştirilir. Takviye elemanlarının performansı, kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde çok önemlidir (Xie ve diğ., 2010; Shooki ve diğ., 2008).

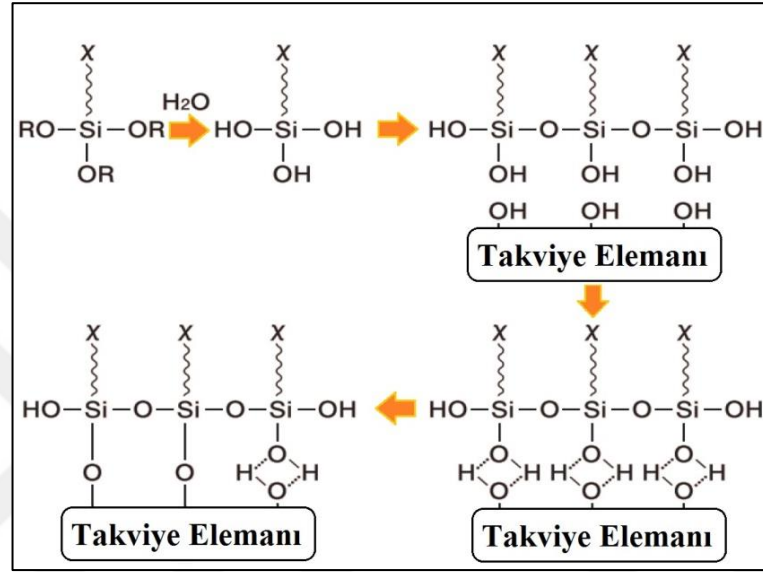
Silan bağlama ajanı, matris ve takviye elemanı arasındaki arayüzeyde kimyasal bir köprü oluşturma fonksiyonu olan kimyasal bir malzemedir. Silan, takviye elemanı yüzeyi ile polimer fazın yüzeyinde bir reaksiyon oluşturarak arayüzey yapışmasını iyileştirir. Bununla birlikte silan kaplama ajanları çeşitli fonksiyonel gruplar oluşturarak iki yüzey arasındaki yapışma kabiliyetini iyileştirebilirler ve uyumluluğu arttırabilirler. Silan bağlama ajanı iki farklı fonksiyonel grup içerir. Bunlardan biri polimerik matrise bağlanırken diğeri ise takviye elemanının yüzeyi ile reaksiyona girer. Silan bağlama ajanı arayüzeyde kovalent bir bağ oluşturarak polimer matris ile takviye elemanı arasında moleküler bir köprü oluşturur. Takviye elemanının yüzeyindeki hidroksil gruplar ile polimer matris yüzeyi arasında reaksiyon oluşur. Bu sayede kompozit sistemin özellikleri iyileşir (Xie ve diğ., 2010).

Silan bağlama ajanları, silikon bazlı kimyasal malzemelerdir. Silanların yapısında biri organik diğeri ise inorganik olmak üzere iki farklı reaktif grup bulunur. Silan bağlama ajanlarının genel yapısı $(RO)_3SiCH_2CH_2CH_2CH_2X$ şeklinde ifade edilir. Burada (RO) ile ifade edilen grup hidroliz edilebilir alkoksi (metoksi, etoksi) grup, (X) ile ifade edilen grup ise organik (amino, epoksi) gruptur. Silan bağlama ajanının moleküler yapısı Şekil 1.3'te görülmektedir (URL-2, 2019).



Şekil 1.3. Silan bağlama ajanı moleküler yapısı (URL-2, 2019)

Takviye elemanlarının silan bağlama ajanları ile modifiye edilmesi işleminde ilk olarak su/alkol karışımında hidroliz işlemi gerçekleşir. Hidroliz aşamasında silan ve su ile birlikte silanol grupları oluşur ve takviye elemanı yüzeyindeki hidroksil gruplarıyla reaksiyona girer. Silan bağlama ajanında X ile ifade edilen grup ise polimer ile reaksiyona giren fonksiyonel gruptur (Shooki ve diğ., 2008). Silanlama işleminin şematik gösterimi Şekil 1.4'te verilmiştir (URL-2, 2019).



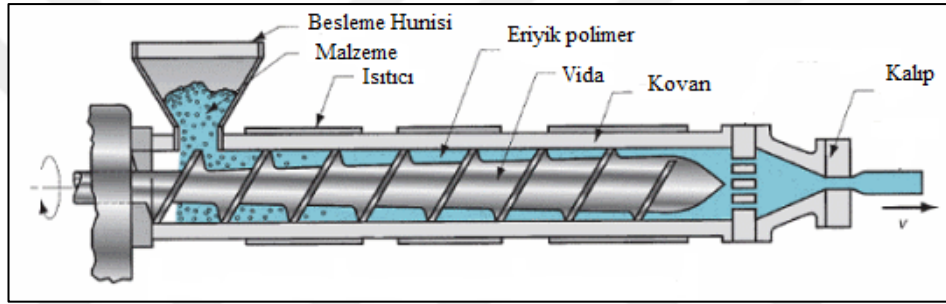
Şekil 1.4. Silanlama işleminin şematik gösterimi (URL-2, 2019)

Silan bağlama ajanları polimerin viskozitesini azaltarak takviye elemanlarının polimer matristeki boşluklara girmesine imkan sağlar. Ancak yüksek oranlarda silan kullanımı plastikleştirici bir etki oluşturabilir. Bu durum da kompozitin özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir (Shooki ve diğ., 2008).

1.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Ekstrüzyon, katı plastik bir malzemeyi eriyik viskoz bir akışkana ve daha sonra elverişli kullanım için katı veya esnek bir film ürüne dönüştürme işlemidir. Ekstrüzyon işlemi sürekli bir proses olup pek çok plastik ürününün üretimi için uygun bir yöntemdir. Bu işleme tekniği tüp, boru, plaka, film, tel kaplama ve profil üretimlerinin yanı sıra plastik karışımları elde etmek amacıyla da kullanılır. Katı plastik malzemenin eriyik bir viskoz akışkan haline gelmesi dönen vidanın mekanik kayma kuvveti ve elektrik direnç ısıtıcılarından sağlanan ısı sayesinde ekstrüderin

kovan kısmında gerçekleşir. En çok kullanılan plastik ekstrüzyon yöntemi vida ekstrüzyonudur. Vida ekstrüzyonu kovan içinde dönen bir sarmal besleme vidasından oluşur. Ekstrüder vidası sarmal hareket edebilen bir mildir. Daha fazla karıştırmanın gerekli olduğu yerlerde iki vida da kullanılabilir. Çift vidalı ekstrüderler tüm ekstrüzyon proseslerinin yaklaşık %10'unu oluşturur. Malzeme vida tarafından ısıtıldığı ve sıkıştırıldığı kovana sürüklenir. Plastik malzeme erime sıcaklığının üzerine ısıtılır ve oluşan eriyik basınç altında tutulur. Eriyik plastik malzeme daha sonra kafa kısmı olarak adlandırılan bir bölüme yönlendirilir (Goffreda ve diğ., 1998; Rauwendaal, 2011; Harper, 1999). Bir ekstrüderin yapısı Şekil 1.5'te görülmektedir (URL-3, 2017).

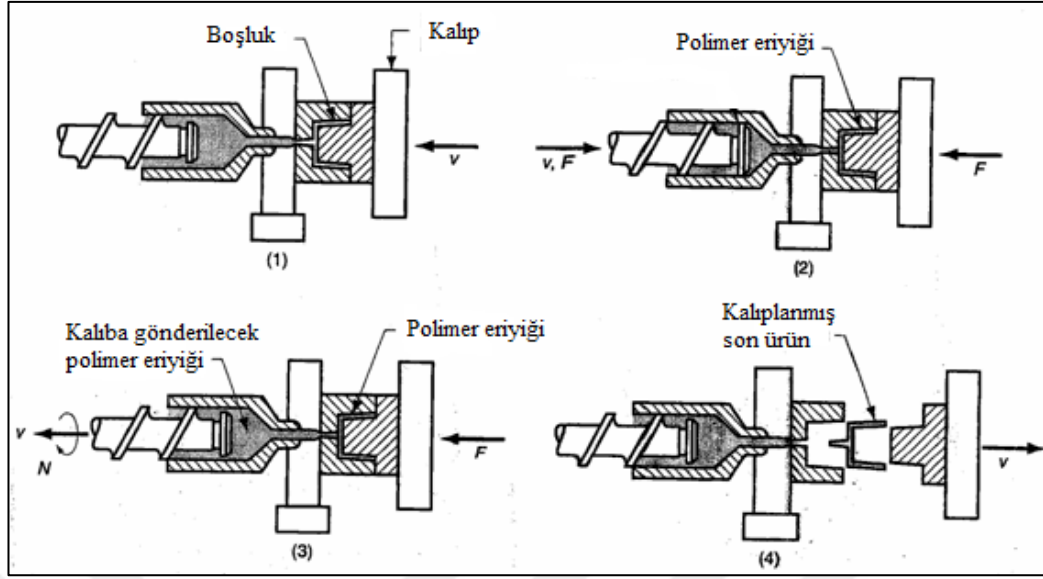


Şekil 1.5. Bir ekstrüderin yapısı (URL-3, 2017)

Plastik üretimi için kullanılan en önemli işleme metodu enjeksiyon kalıplamadır. Termoplastik malzemelerin üçte birinden fazlası bu yöntem ile üretilmekte ve polimer işleme ekipmanlarının yarısından fazlası enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılmaktadır.

Enjeksiyon ekipmanı, prosese uygun bir ekstrüder ve ucuna değiştirilebilen kalıp takılabilen bir piston silindir sisteminden oluşur. Silindirin bir ucunda bulunan huniden granül haldeki şekil verilecek malzeme beslenir ve elektrikli ısıtıcılar yardımıyla ısıtılır.

Daha sonra eriyik, kalıba uygun basınç altında enjekte edilir ve soğutma süresinin ardından kalıp açılarak son kalıplanmış ürün alınır (Zeng ve diğ., 2011). Enjeksiyonla kalıplama işleminin aşamaları Şekil 1.6'da görülmektedir (URL-4, 2017).



Şekil 1.6. Enjeksiyonla kalıplama işleminin aşamaları (URL-4, 2017)

1.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri

1.4.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

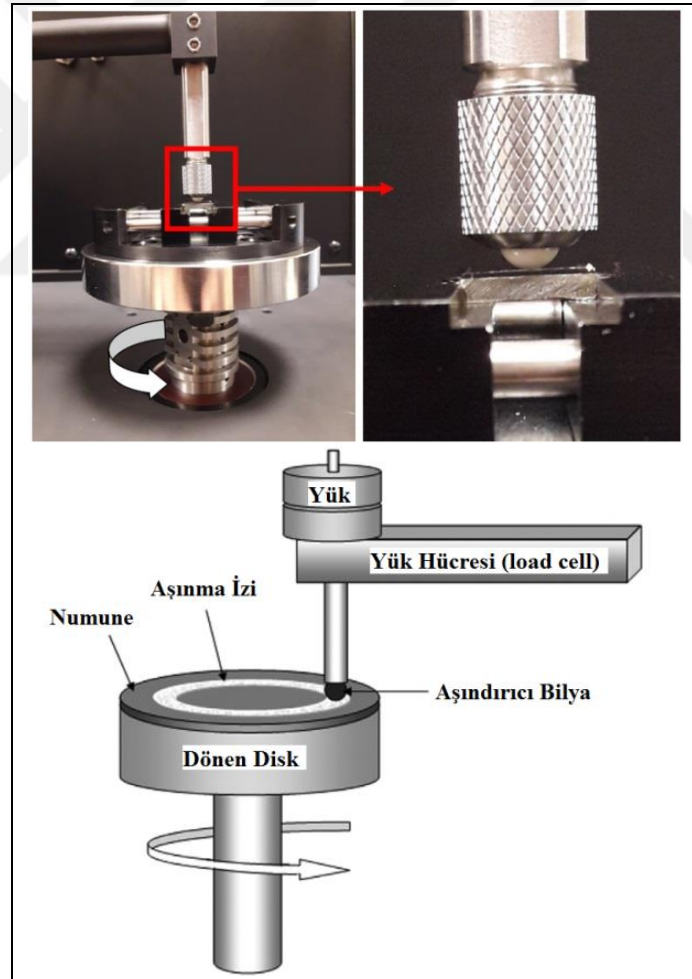
FTIR spektroskopisi bir titreşim spektroskopisi şeklidir ve FTIR spektrumu hem moleküler yapıyı hem de moleküler ortamı yansıtır. FTIR analizi bir moleküldeki atomların titreşimine dayanır. Bu teknikte, örnek bir kızılötesi kaynaktan elde edilen kızılötesi radyasyona maruz bırakılır. Örnek tarafından bu radyasyonun bir kısmı emilirken, kalan radyasyon enerjisi örnekteki titreşim hareketlerini uyarır. Titreşim hareketindeki bu değişiklikler bantların titreşim spektrumunu oluşturur. Her spektral bant, frekansı ve genliği ile karakterize edilir (Duygu ve diğ., 2009; Stuart, 2004).

1.4.2. Aşınma testi

Polimerler için temel aşınma mekanizmaları adhezif, abrazif ve yorulma aşınmasıdır. Abrazif aşınma sert partiküllerin polimer yüzeyini kazımasıyla oluşur. Bu mekanizmada aşınmanın meydana gelmesindeki önemli parametre yüzey pürüzlülüğüdür. Adhezif aşınma mekanizmasında ise polimer yüzeyindeki aşınma polimerin başka bir malzeme üzerinde kaymasıyla meydana gelir. Polimer yüzeyindeki kayma kuvveti sebebiyle polimer yüzeyinde adhezif aşınma meydana gelir. Sonuç olarak, aşınan polimer malzemenin bir kısmı aşındırıcı yüzeyine transfer

olur ve transfer filmi oluşturur, bir başka kısmı ise sürtünme bölgesinden aşınma döküntüsü olarak ayrılır (Sinha ve Briscoe, 2009).

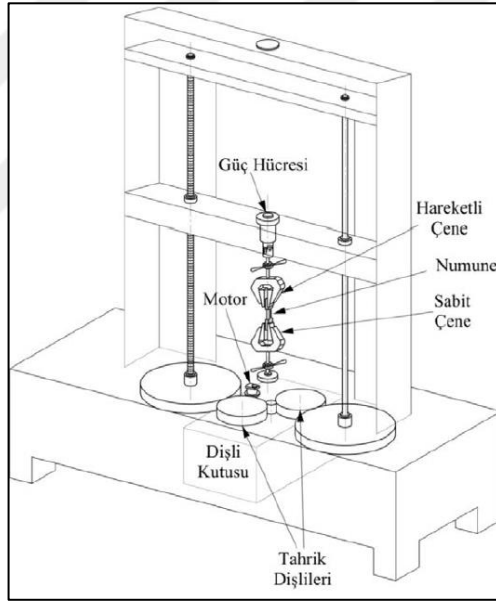
Bu çalışmada kompozitin aşınma özelliklerini belirlemek için pin-on-disk tipi aşınma test cihazı kullanılmıştır. Aşınma test cihazında test numunesi dönen bir diske sabitlenir. Ardından yük koluna çalışılmak istenen yük uygulanır ve yük kolunun ucunda bulunan aşındırıcı bilyanın numune yüzeyine temas etmesi sağlanır. Test boyunca aşındırılan numune yüzeyindeki sürtünme katsayısı değeri ölçülür ve bilgisayar aracılığıyla kaydedilir. Numunenin kayma hızı, kayma mesafesi, numune yüzeyindeki sürtünme yarıçapı ve numune yüzeyine uygulanan yük parametreleri farklı değerlerde seçilebilir. Aşınma testinin çalışma mekanizmasını anlatan bir görsel Şekil 1.7'de görülmektedir (Hashemi ve diğ., 2019).



Şekil 1.7. Aşınma testinin şematik gösterimi (Hashemi ve diğ., 2019)

1.4.3. Çekme testi

Mekanik testler mühendislik malzemelerinin temel özelliklerini değerlendirmede, yeni malzemelerin geliştirilmesinde ve kalite kontrolünde önemli rol oynarlar. Çekme testinde mekanik özellikleri belirlemek için standart test numunesi, çekme testi cihazına yerleştirilerek tek eksen doğrultusunda deforme edilir. Numune kopuncaya kadar sergilediği uzama miktarı ve kuvvet değeri kaydedilir. Çekme testi sabit deformasyon hızı ya da sabit kuvvet altında yapılabilir. Çekme testi sonucunda elde edilen yük-uzama ($F-x$ ya da $\sigma-\epsilon$) eğrisinden malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı, young modülü ve kopma uzaması gibi özellikleri belirlenebilir (Nielsen ve Landel, 1994; Davis, 2004). Çekme cihazının ekipmanları şematik olarak Şekil 1.8’de gösterilmiştir (Yılmaz, 2015).

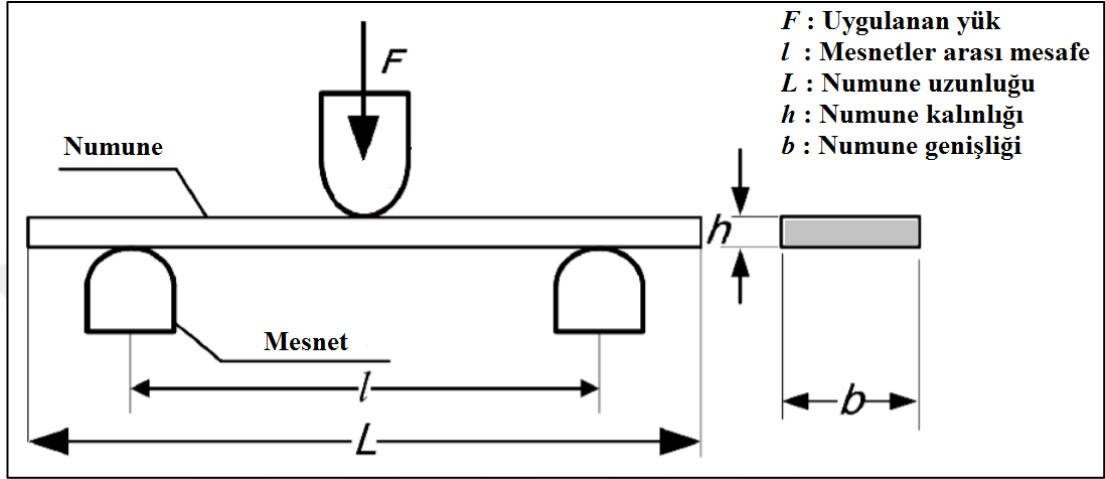


Şekil 1.8. Çekme cihazının şematik gösterimi (Yılmaz, 2015)

1.4.4. Üç nokta eğme testi

Üç nokta eğme testinde, çekme testinden farklı olarak örnekte oluşan gerilmenin dağılımı örneğin kesiti boyunca üniform değildir. Numunenin tarafsız eksene göre bir tarafı basma etkili eğilme gerilmesine maruz kalırken, diğer tarafı çekme etkili eğilme gerilmesine maruz kalır. Numunede meydana gelen eğilme gerilmesi eğilme momenti sebebiyle oluşur. Bu nedenle örneğin eğilme gerilmesi değerini hesaplamak için eğilme momenti ve mukavemet momenti değerleri hesaplanır. Üç nokta eğme

testinde her iki ucundan mesnetlere yerleştirilen standart test numunesinin ortasından bir kuvvet uygulanır ve kullanılan numunenin kesitine göre hesaplanan eğilme gerilmesi değeri kaydedilir. Bu test sonucunda malzemenin eğilme dayanımı, eğilme modülü gibi mekanik özellikleri belirlenebilir (Brown, 1999). Üç nokta eğme testinin şematik bir gösterimi Şekil 1.9'da görülmektedir (Hou ve diğ., 2016).



Şekil 1.9. Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi (Hou ve diğ., 2016)

1.4.5. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizi

Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizi ile vakum ortamında oluşturulan ve elektromagnetik lenslerle inceltiren elektron demetleri aracılığıyla analiz edilen numuneye ait yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilerek malzemelerin analiz edilmesi sağlanır. Mikroskopun en üst kısmında bulunan elektron tabancası ile elektron demetleri üretilir. Üretilen bu elektron demetleri vakum altında tutulan dikey bir yol boyunca ilerlerler. Daha sonra bu elektron demetleri elektromagnetik alan ve ışınları test edilecek örneğe odaklayan mercekler boyunca ilerler. Elektron demetleri numuneye çarptığında, numuneden elektronlar ve X-ışınları kopar. Dedektör kısmında bu X-ışınları, geri saçılmış elektronlar ve ikincil elektronlar toplanarak sinyale dönüştürülür ve ekrana aktarılır. Böylece örneğin yüzey topografyası görüntülenmiş olur (Reimer, 1998; Stokes, 2008).

1.4.6. Isıl iletkenlik katsayısı analizi

Isıl iletkenlik katsayısı λ (W/m.K), malzemelerin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak, birim sıcaklık farkında, birim alanda, birim uzunluk boyunca ısıyı ne kadar

iletildiğinin ifadesidir. Başka bir ifadeyle malzeme içinde ısının ne kadar hızlı aktığının bir ölçüsüdür. Yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip malzemeler iletken, düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip malzemeler yalıtkan olarak ifade edilirler (Çengel ve Turner, 2001).

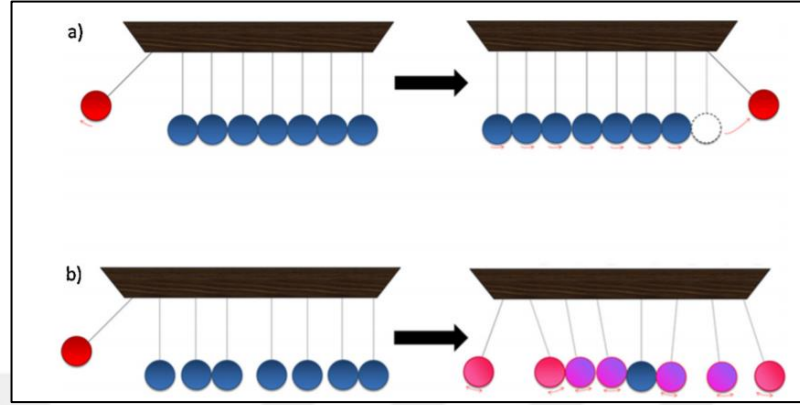
Çalışmada kullanılan ısı iletkenlik katsayısı ölçüm metodunda, malzemelerin ısı iletkenliğini karakterize etmek için numuneye anlık bir sabit ısı uygulayan tek taraflı, arayüzeyli bir ısı kaynağı kullanılır ve cihazda bulunan ısı yansıtma sensörü ısı iletkenlik katsayısını doğrudan ölçer. Ölçüm süresi 1 ila 3 saniye arasındadır (URL-5, 2019).

Polimerler izolasyon malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılırlar. Bununla birlikte, polimerlerin ısı iletkenlik katsayılarını iyileştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Isının verimli bir şekilde dağılmasını sağlamak için yüksek ısı iletkenliği istenmektedir. Polimerler, düşük atomik yoğunluk, zayıf etkileşim ya da kimyasal bağlanma, kompleks kristal yapı ve molekülleri arası titreşimde yüksek hareketlilik (anharmonicity) sebebiyle düşük ısı iletkenlik katsayısı sergilerler (Tsekmes ve diğ., 2013).

Fonon transferi çoğu polimerde ısı iletiminin temel mekanizmasıdır. Fononlar kendi aralarındaki ve atomlarla olan etkileşimler yoluyla ısı enerjisini transfer ederler. Dislokasyon, boşluk ve safsızlık gibi kusurlar fonon saçılmasına sebep olabilir. Polimer matrisli kompozitler gibi çok fazlı bir sistemde saçılma da, fononlar bir fazı diğerinden ayıran bir sınırdan yayıldığında meydana gelir. Polimerlerin ısı iletkenliği grafit, karbon siyahı, karbon elyaf, seramik ya da metal partiküller gibi ısı iletken takviye elemanları ile iyileştirilebilir. Fonon şu şekilde açıklanmaktadır; 0 K'de (mutlak sıcaklık) atomlar minimum enerjiye sahiptir ve sıcaklık arttıkça titreşim başlar. Bu titreşimlere fonon denir. Malzeme fonon kazanarak veya kaybederek ısı kazanır veya kaybeder. Fonon bir parçacık değildir, bir durumu anlatmak için kullanılır. Fonon, bir kristal örgüsünde bulunan atomların ortak titreşimlerinin nicesidir (Tsekmes ve diğ., 2013).

Düşük takviye oranında (%20'nin altında) polimer kompozitlerin ısı iletkenlik değerinde önemli bir değişiklik olmaz ve kompozitin ısı iletkenlik katsayısını matris belirler. Ancak yüksek takviye oranında (%30 üzerinde) polimer matrisli

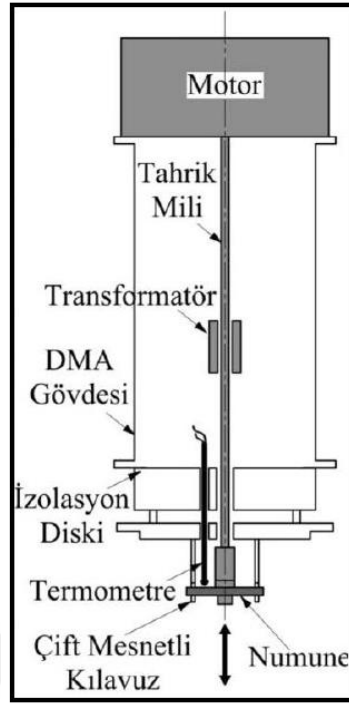
kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde artış olması beklenir (Tsekmes ve diğ., 2013). Polimerlerdeki ısı iletkenliğe ait bir görsel Şekil 1.10'da görülmektedir (Burger ve diğ., 2016).



Şekil 1.10. a) polimerlerde yüksek ısı iletkenlik b) polimerlerde dŐuk ısı iletkenlik (Burger ve diğ., 2016)

1.4.7. Dinamik mekanik analiz (DMA)

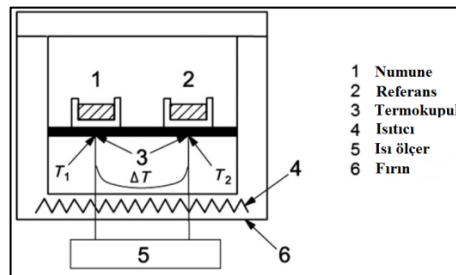
Dinamik mekanik analiz, elyaf ya da partikül takviyeli polimer matrisli kompozitlerde ara yüzey etkileşimini değerlendirmek için kullanılabilen bir yöntemdir. DMA cihazı, bir malzemenin dŐuk uzamada uğradığı periyodik deformatsyona verdiği iki tip yanıtı ler. Bunlar elastik (bükülmezlik) ve sönümleme (enerji kaybı) terimleridir. Sönümleme faktörü, bir malzeme içinde gerçekleşen tüm moleküler hareketler için duyarlı bir göstergedir. Elyaf ya da partikül takviyeli polimerik bir kompozit malzemede ise takviye malzemesi ile matris arasındaki ara yüzeyde meydana gelen moleküler hareketler, malzemenin sönümleme özelliğine, diğer bileŐenlerden ayrı olarak bir katkı sağlar. Dolayısıyla ara yüzeydeki sönümleme olayının incelenmesi, ara yüzey etkileşiminin niteliğini değerlendirmekte yardımcı olur. Başka bir deyiŐle elastik özellikteki takviye malzemesi, viskoelastik özellikteki polimerik matris ve takviye malzemesi-matris ara yüzeyinden oluşan bir kompozit sisteminde, deformatsyon enerjisi matris malzemesinde ve ara yüzeyde kayba uğrar. Eğer matris malzemesi, takviye malzemesi yükleme miktarı ve yönlenmesi gibi parametreler sabit tutulursa, sönümleme faktörü takviye malzemesi-matris arasındaki ara yüzeyi değerlendirmekte kullanılabılır (Menard, 1999). DMA cihazının yapısı ve ekipmanları Şekil 1.11'de verilmiştir (Yılmaz, 2015).



Şekil 1.11. DMA cihazının şematik gösterimi (Yılmaz, 2015)

1.4.8. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi

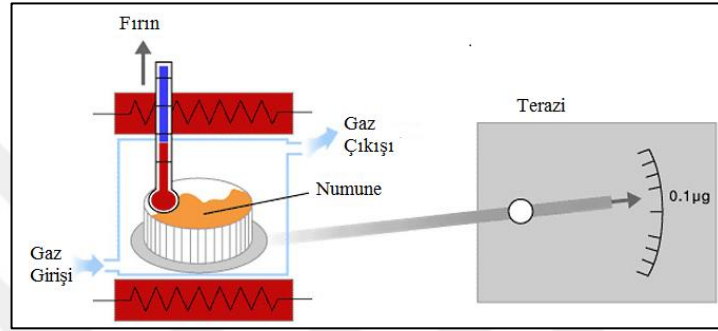
Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi, bir malzemenin ısı emilimini ya da ısı kaybını sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçer ve kaydeder. Malzemenin sıcaklığa göre verdiği tepkiler o maddenin yapısı, saflığı ve dayanıklılığı gibi özellikleri hakkında bilgi verir (Höhne ve diğ., 2003). DSC cihazının şematik bir görüntüsü ve bileşenleri Şekil 1.12’de görülmektedir (Hongois ve diğ., 2011). Numune ağırlığı tespit edildikten sonra alüminyumdan yapılmış olan numune kabına yerleştirilir. Referans kısmındaki kap ise boş bırakılır. Daha sonra referans ve örnek aynı sıcaklığa ısıtılarak veya soğutulurken absorbe ettikleri ısı enerjileri karşılaştırılır.



Şekil 1.12. DSC cihazının şematik görüntüsü (Hongois ve diğ., 2011)

1.4.9. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, belirlenen atmosfer şartlarında, artan sıcaklıkla bir örneğin kütlesinde meydana gelen değişimin sıcaklık ve zamanla değişiminin incelendiği bir ısıl analiz yöntemidir. Bu analiz sonucunda örnekte meydana gelebilecek ısıl bozunma ve oksidasyon tepkimeleri, buharlaşma, süblimleşme ve desorpsiyon gibi fiziksel değişimler gözlenebilir (Boudenne ve diğ., 2011). Tipik bir TGA cihazının şematik gösterimi ve bileşenleri Şekil 1.13'te görülmektedir (URL-6, 2017).



Şekil 1.13. TGA cihazının şematik gösterimi (URL-6, 2017)

1.5. Çalışmanın Özgün Yanı

Çalışma kapsamında kullanılan TPE elastik özellikleri sebebiyle, sönümleme amacıyla yay malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak bu görevini yerine getirirken aşınmaya maruz kalmaktadır. Yapılan literatür çalışmasında görülmüştür ki, geleneksel malzemelerle kıyaslandığında bazı üstün özelliklere sahip olmalarına rağmen katkısız polimerler aşınmanın meydana geldiği uygulamalar için arzu edilen tüm gereksinimleri karşılayamazlar. Bu nedenle polimerik malzemelerin aşınma özelliklerini iyileştirici yönde etki etmesi için partiküller ya da fiberler takviye edici olarak matrise katılabilirler. Polimerlere partikül ve fiber takviyesi mekanik özellikleri iyileştirmesinin yanında matrisin aşınma direncini de belirgin biçimde iyileştirmektedir. Özellikle hegzagonal bor nitrür ve borik asit gibi yağlayıcıların aşınma özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir. Çalışma kapsamında ülkemizde yüksek rezerve sahip bor mineralleri kullanılmıştır. Literatürde TPE matrise borik asit ve hegzagonal bor nitrür partiküllerinin takviye edildiği bir çalışma bulunmamaktadır. Bu noktada bor minerallerinin TPE matris üzerindeki etkisi araştırmaya açık ve ilgi çekici bir konudur. Dolayısıyla tezin özgünlüğü ortaya

çıkılmaktadır. Bu tez çalışması sayesinde bor minerallerinin matrise ne ölçüde katkı yaptığı belirlenmiş ve literatürdeki bu eksiklik giderilmiştir. Buna ek olarak partiküllerin TPE matris içerisindeki dağılımının iyileşmesi amacıyla partikül yüzeylerine silanlama işlemi uygulanmış ve bu işlemin incelenen özellikler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Partiküllerin silanlanmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar olduğu yapılan literatür çalışmasında görülmektedir. Ancak borik asit ve hegzagonal bor nitrürün silanlanarak TPE matrise ilave edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle ortaya konulan malzeme reçetesi bilim dünyasındaki araştırmacılar ve endüstri uygulamaları için ilk kez ortaya çıkarılmış olacaktır.

Bununla birlikte, bilindiği üzere partikül takviyesi polimerlerin mekanik özelliklerini tek başlarına iyileştirmede yeterli olamamaktadırlar. Polimerlerin özellikle dayanım, modül gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri de elyaf ilavesidir. Elyaf ilavesi ile mekanik ve tribolojik özelliklerde belirgin bir artış elde etmek mümkün olmaktadır. Buna ek olarak yapılan literatür araştırmasında da polimer matrise özellikle partikül ve fiber takviyesinin birlikte yapıldığı durumda sinerjik bir etki oluştuğu ve böylece mekanik performansta ve aşınma direncinde iyileşme meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Buradan yola çıkarak tez çalışmasında karbon elyaf (CF), cam elyaf (GF) ve bazalt elyaf (BF) olmak üzere üç farklı elyaf türünün özellikler üzerine etkisi değerlendirilmiş ayrıca bu elyaf türlerinin yukarıda bahsedilen partiküller ile birlikte kullanılmasıyla sinerjik bir etki oluşup oluşmayacağı değerlendirilmiştir. Öte yandan bazalt elyaf ve partikül içeren kompozitlerde; bazalt elyaf ve partikül takviyesinin her ikisinin de silanlandığı, sadece elyafın silanlanıp partikülün silanlanmadığı, sadece partikülün silanlanıp elyafın silanlanmadığı oryantasyonlar olmak üzere çapraz bir şekilde silanlamanın etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak tribolojik ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş bir yay malzemesi elde edilmiş ve yeni bir kompozit malzeme ortaya çıkarılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde literatür taraması yapılmış ve TPE matrisli kompozitlerin incelendiği çalışmalar, BF/siBF takviyeli kompozitlerin incelendiği çalışmalar, BA/siBA takviyeli kompozitlerin incelendiği çalışmalar, HBN/siHBN takviyeli kompozitlerin incelendiği çalışmalar, GF veya CF takviyeli kompozitlerin incelendiği çalışmalar ve hibrit kompozitlerin incelendiği çalışmalar ayrı başlıklar altında anlatılmıştır.

2.1. TPE Matrisli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar

Qiu ve diğ., (2016) termoplastik poliester elastomer matrisli grafen takviyeli nanokompozitlerin mekanik ve viskoelastik özelliklerini incelemiştir. Grafenler; yüzeyleri fonksiyonelleştirilmiş ve işlem uygulanmamış olarak termoplastik elastomer matrise eklenmiştir. Sonuçlar grafenin kompozit malzemenin modül, akma ve çekme dayanımı değerlerini arttırdığını ve yüzeyi fonksiyonel hale getirilmiş grafenin ise iyileşen arayüzey etkileşimleri sebebiyle mekanik özellikleri daha da iyileştirdiğini belirtmiştir. Bununla birlikte grafen eklenmesiyle kopma uzaması değerleri de artmıştır. Çünkü, matristeki sert poli(bütlen tereftalat) kısmının yüzeyine grafen yoğun şekilde nüfuz etmiştir ve kompozitte yük taşıma görevi görmüştür. Bu durum matristeki yumuşak ve sürekli olan poly(tetramethylene glykol) kısmın deforme olma kabiliyetini artırır. DSC sonuçlarına göre matrisin kristalinite oranı derecesi artmıştır. Bunun sebebi grafenin matriste oluşturduğu çekirdeklenme etkisidir ve bu durum erime entalpisindeki artış ile doğrulanmıştır. Yüzey işlemiyle birlikte çekme dayanımı ve modül değerleri artmıştır. Bunun sebebi ise matris zincirleri ile partiküller arasındaki yük transferinin iyileştirilmiş olmasıdır. Genellikle partikül takviyesi sistemin rijitliğini artırır. Bunun sonucunda da kompozitin plastisitesi ya da sünekliği katkısız polimere göre azalır. Ancak bu çalışmada kompozitin kopma uzaması, katkısız polimer ile kıyaslandığında artmıştır. Bu şaşırtıcı bir sonuçtur. Başka çalışmalarda da grafenin elastomer matrisin kopma uzamasını arttırdığı ile ilgili sonuçlar vardır. Bu çalışmalarda bu artış, arayüzey

etkileşiminin iyileşmesine ve takviye malzemesinin iyi dağılmasına ya da ağ yapısının iyileşmesine bağlanmıştır. Ancak, iyileşen arayüzey yapışması ya da daha iyi ağ yapısı oluşumu polimer kompozitin daha rijit olmasına sebep olur ya da bir başka ifadeyle plastisiteyi düşürür. Bu nedenle sistemde ortaya çıkan durumla ilgili bu açıklamalar yapılamaz. Grafen partikülleri polimerdeki sert faza karşı yumuşak faza olana göre daha iyi afinitiyeye sahiptir. Bu nedenle polimer kompozitteki sert faz tabakasının yüzeyinde çok miktarda grafen bulunur. Bunun sonucunda grafence zengin sert kısım bilya (ball) gibi davranır ve grafenle birlikte rulman (bearing-like) benzeri bir yapı oluşturur. Bunun sonucunda grafen ile yumuşak sürekli faz arasındaki arayüzeyde daha az sürtünme olur. Bu durum sistemin deforme olabilme kabiliyetini özellikle yüksek gerinim ya da gerilme seviyeleri için artırır. Sert kısmın yüzeyindeki grafence zenginlik durumu grafenin yüzey modifikasyonu ile birlikte daha da artmaktadır. Bununla birlikte sert fazın yüzeyinde daha yüksek grafen konsantrasyonu oluşur. Bunun sonucunda bilyalı rulman (bearing ball) etkisi ortaya çıkar ve yüzeyi modifikasyonlu grafen içeren kompozit daha yüksek kopma uzaması sergiler.

Sreekanth ve diğ., (2009) termoplastik poliester elastomer olan Hytrel'e çeşitli oranlarda mika ilavesi yaparak mekanik, ısıl, elektrik, reolojik ve morfolojik özelliklerini incelemiştir. Eğilme dayanımı ve modül gibi mekanik özellikler mika konsantrasyonu ile birlikte artarken çekme dayanımı mikanın yüksek oranlarda ilavesiyle düşmüştür. Elektriksel ve ısıl özellikler iyileşmiştir. Morfolojik çalışmalar takviye elemanının düşük konsantrasyonlarında polimer matris içerisinde iyi bir dağılıma sergilediğini ortaya çıkarmıştır. Mikanın düşük oranlarda takviyesiyle çekme dayanımı artarken, yüksek oranlarda azalmıştır. Artışın sebebi mikanın platy (düz) bir yapıya sahip olması sebebiyle iyi bir takviye elemanı olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak takviye oranı arttığında partiküller aglomera olma eğilimindedir ve çekme dayanımını düşürür. Kopma uzaması değerleri takviye elemanı ilavesiyle birlikte, matrisin hareketliliğinin ve deforme olabilmesinin düşmesi sebebiyle azalmıştır. Eğilme dayanımı artan mika oranıyla birlikte artmıştır. Eğilme özelliklerinde deformasyon gerilimi için toplam alanın önemi büyüktür. Eğilme modülü de artan mika oranıyla birlikte artmıştır. Darbe dayanımı takviye elemanı ile birlikte azalmıştır. Takviye elemanı ile birlikte malzemenin elastisitesi

azalmıştır ve bu nedenle matrisin deforme olabilme kabiliyeti ve sünekliği azalmıştır. Bunun sonucunda kompozit zayıf bir yapı oluşturma eğilimindedir. Takviye elemanının konsantrasyonunun artmasıyla birlikte matrisin enerji absorbe etme kabiliyeti azalır ve tokluğu düşer, bu nedenle darbe dayanımı da azalır. DSC sonuçlarına göre mika ilavesiyle kompozitin ısı kararlılığı ve erime sıcaklığı artmıştır. Mika çekirdeklenme ajanı gibi rol alarak kristallenme sıcaklığını arttırmıştır. Bunun sebebi, küçük ve üniform kristalit boyut dağılımıdır. Sonuç olarak takviye elemanlarının polimerlere ilavesiyle, rijitlik, dayanım ve ısı kararlılık artar ancak kopma uzaması düşer.

Chen ve diğ., (2016) termoplastik poliester elastomerin çekirdeklenmesini silika nanopartikülleri varlığında incelemişlerdir. Termoplastik poliester elastomerlerin özelliklerinin belirlenmesi için sert fazın kristallenme kontrolü önemlidir. Termoplastik elastomerin kristallenme davranışı nanosilikanın çekirdeklenme ajanı olarak kullanılmasıyla araştırılmıştır. Nanosilikalar çekirdeklenme ajanı gibi davranarak kristalizasyon sıcaklığını 30 °C arttırmıştır. Bununla birlikte kristalizasyon prosesi, partikül boyutuna ve partikül yüzey işlemine önemli ölçüde bağlıdır. Bu durum partiküllerin çekirdeklenme kabiliyeti ve sistem viskozitesinin değişimiyle yakından ilgilidir. Kompozitin kristalizasyon sıcaklığı partikülün yüzey işlemiyle yakından ilişkilidir, kristalizasyon oranı ise silikanın partikül boyutuna bağlıdır. Silikaya uygulanan silanlama işlemiyle birlikte matris içindeki dağılımı iyileşmiştir. Partikül takviyesiyle birlikte kompozitin viskozitesi artmıştır. Çünkü nanopartiküllerin akışı engelleyen bir etkisi vardır. Matris ile partiküller arasındaki afinite silanlama işleminden sonra artmıştır. Kristalizasyon sıcaklığı artmıştır. Çünkü nanopartiküller çekirdeklenme bölgeleri yaratarak, matrisin kristalizasyonu boyunca çekirdeklenmeyi teşvik etmiştir. Çekirdeklenmiş kompozitler daha yüksek erime sıcaklığı sergilerler. Çünkü partiküllerin varlığında daha ince yapıli kristalit yapılar ve daha fazla kristaller oluşur. Bununla birlikte matrisin kristalinite derecesi partikülün varlığından bağımsızdır. Çünkü erime entalpisi değerleri sabittir. Silanlanmamış partikül ve daha az oranda partikül içeren kompozitler daha düşük kristalizasyon sıcaklığı gösterir. Bu durum, partikülün heterojen çekirdeklenme etkisinin silanlama işlemine ve partikül boyutuna bağlı olduğunu gösterir. Bununla birlikte partiküllerin, matrisin kristallenme morfolojisine çekirdeklenme etkisini

belirlemek oldukça zordur. Çünkü katkısız matris ve takviyeli matris küçük sferülit oluşumları gösterir. Sonuç olarak, matrisin çekirdeklenmesi ve kristal büyümesi partikül boyutuna ve yüzey işlemine bağlıdır. Partiküller heterojen bölgeler yaratarak çekirdeklenmeyi teşvik eder. Partiküllerin rolü, büyümeyi fiziksel olarak sınırlayarak engellemektir.

Qiu ve diğ., (2018) farklı boyutlarda iki farklı türde partikül içeren termoplastik poliester elastomerin özelliklerini incelemişlerdir. İki boyutlu grafen ve üç boyutlu slag partikülleri kullanılmıştır. Partikül takviyesi termoplastik poliester elastomerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için başvurulun temel yöntemlerden biridir. Dayanımdaki artış young modülünde artışa sebep olur, ancak bu durum termoplastik poliester elastomerin kullanımında istenmeyen bir durumdur. Yüksek dayanımlı düşük modüllü termoplastik poliester elastomerler tercih sebebidir. Partikül takviyesi çekme dayanımını iyileştirmek için iyi bir yöntemdir. Dayanımın iyileşme seviyesi partikül dağılımına, arayüzey yapışmasına, partikül miktarına ve boyutuna bağlıdır. Bununla birlikte dayanımdaki iyileşme young modülünde de iyileşmeye sebep olur. Çünkü partiküllerin varlığında sistemin rijitliği artar. Genellikle çok fazlı polimerik sistemin, young modülü (E) üç bileşenin katkısı ile elde edilir. Bunlar matris, takviye elemanı ve arayüzeydir ve Denklem (2.1) olarak şu şekilde ifade edilmektedir;

$$E = \Phi_1 E_{\text{matris}} + \Phi_2 E_{\text{takviye}} + (1 - \Phi_1 - \Phi_2) E_{\text{arayüzey}} \quad (2.1)$$

Burada; Φ_1 ve Φ_2 ve, matris ve takviye elemanının sırasıyla hacim oranıdır. E değerini düşük tutmak için, takviye elemanının ya da arayüzeyin hacim oranı azaltılmalıdır. Bununla birlikte bu durum dayanımın iyileşmesine aykırıdır. Çalışmada partikül takviyesiyle birlikte kompozitin modül değerinin artmış olduğu belirtilmiştir.

Huang ve diğ., (2016) termoplastik poliester elastomeri poli(bütülen tereftalat) ile harmanlayarak mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Poli(bütülen tereftalat) termoplastik poliester elastomerin sürekli yumuşak fazı ile karıştırılmazken, diğer sert faz ile karıştırılabilir. Böylece, birbiri ile uyumlu olan bu iki polimerin karışımları çok düşük arayüzey gerilimleri ortaya çıkarırlar ve iki faz arasında çok iyi arayüzey yapışması elde edilir. Bu da termoplastik poliester elastomerin kontrol

edilebilir özellikler ile hazırlanabilmesini mümkün kılar. Mekanik test sonuçlarına göre poli(bütilen tereftalat) artan oranıyla birlikte kompozitin modül, akma dayanımı ve çekme dayanımı artar. Sistemin artan rijitliği sistemin plastisitesini düşürür. Kopma uzaması değeri azalır.

Hussain ve diğ., (2016) termoplastik elastomere poli(bütilen tereftalat) (PBT) ve nanokil ile politetrafloraetilen (PTFE) takviyesinin mekanik ve ısıl özelliklere etkisini incelemiştir. Mekanik özellikler için; eğilme dayanımı, eğilme modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması incelenmiştir. Isıl özellikleri incelemek için TGA ve DSC analizi yapılmıştır. Kırılan yüzeylerin yüzey morfolojisini gözlemlemek için SEM kullanılmıştır. Termoplastik poliestere elastomerler iki fazlı yapıdan oluşur. Bunlardan biri “sert” diğeri ise “yumuşak” fazdır. “Yumuşak” faz malzemeye elastomerik karakteristiğini verirken, “sert” faz sabitlenmiş zincir ağı içerir. Takviye elemanları eklendiğinde mekanik özelliklerde iyileşme olmuştur. Bunun sebebi takviye elemanlarının homojen bir şekilde dağılması ve matris ile aralarında iyi bir arayüzey bağlanması oluşmasıdır. DSC sonuçlarına göre erime sıcaklığı değerlerinde PTFE ve kil takviyesi ile birlikte artış olmuştur. Bunun sebebi iyi arayüzey bağlanması ve dağılımın uyumlaştırıcı kullanılmasıyla birlikte iyileşmesidir. TGA sonuçlarına göre PTFE kullanıldığında bozulma sıcaklığında azalma olmuştur. Bunun sebebi PTFE'nin düşük molekül ağırlıklı organik moleküllerinin buharlaşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Zhou ve Burkhart, (2011) termoplastik poliestere elastomer bazlı TiO₂ nanopartikül takviyeli kompozitlerin ısıl ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Örneklere; SEM, DSC, TGA, DMA ve çekme testi uygulanmıştır. SEM sonuçlarına göre matris ile takviye elemanı arasında kimyasal bağların oluşması sebebiyle güçlü arayüzey etkileşimleri gözlenmiştir. Partikül takviyesi ile birlikte yumuşak ve sert fazın camı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı ve ısıl kararlılığı gibi ısıl özelliklerinin hepsi artmıştır. Çekme dayanımı ve modül artmıştır. Artan partikül oranı kompozitin mekanik özelliklerini ve ısıl kararlılığını arttırmıştır. Termoplastik elastomerler mikroyapılarındaki ayırık fazlı yapıları nedeniyle dayanım, esneklik ve tekrar şekillendirilebilirliğin bir kombinasyonunu sergiler. Termoplastik elastomerler sert kristalin faz ve yumuşak kauçuğumsu faz olmak üzere iki farklı fazın birleşiminden oluşan kopolimerlerdir. Termoplastik elastomerlerin dayanımı sert faz tarafından

sağlanırken, elastomerik davranışı yumuşak faz tarafından sağlanır. Termoplastik elastomerler, yüksek sıcaklıklarda sert faz eriyip akışkan hale geldiğinde şekillendirilebilir. Eriyik durumda, sert ve yumuşak fazlar yapıda homojen bir karışım oluşturur. Soğutmaya, sert fazlar kristalize olur ve fiziksel çapraz bağlar gibi davranır. Dupont 1972 yılında termoplastik poliestere elastomeri Hytrel ticari adıyla piyasaya sürmüştür. Günümüzde, termoplastik poliestere elastomerler yaygın şekilde üretilir ve birçok alanda kullanılırlar. Ticari termoplastik poliestere elastomerler genel olarak sert faz olarak poli(bütilen tereftalat) (PBT) ve esnek faz olarak poli(tetrametil glikol) (PTMG) esaslıdır. Birçok araştırmacı, PBT-PTMG sisteminin kristalizasyonundan sonra iki fazlı model olarak tanımlamıştır; kristalin bir PBT faz ve kristalin olmayan PBT ile karışmış homojen amorf bir PTMG faz. Örneğin; PBT-PTMG kopolimerin sertliği 0-50 °C arasındaki sıcaklıkta esnek PTMG içeriğinin ağırlıkça %60'tan fazla olması sebebiyle azalır. Bunun yanında, PBT-PTMG sisteminin çekme dayanımı PTMG'nin moleküler ağırlığı 650-2000 g/mol arasında iken rijit PBT içeriğine ve sıcaklığa bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan TiO₂ partikül-matris etkileşimini artırarak, polimerlerin asidik fonksiyonelliği ile reaksiyona girebilir. SEM sonuçlarına göre hidrofilik TiO₂ partikülleri TPE matriste güçlü bir şekilde aglomera olur ve artan partikül oranıyla aglomerasyon derecesi artar. Hidrofilik TiO₂ nanopartiküllerin yüzeyi proses boyunca bir miktar hidroksil grup oluşturur. Bu hidroksil gruplar nanopartiküller arasında yüksek derecede aglomerasyona sebep olan hidrojen bağları oluşturabilir. T_g değerindeki artışın sebebi partiküllerin rijit PBT bloğuna kimyasal bağlanması ve amorf PBT faz ile kısmen karışmasıdır. Partikül ilavesiyle matristeki kimyasal ve fiziksel etkileşimler sebebiyle makromolekül zincirlerinin hareketliliği kısıtlanmıştır. Erime sıcaklığındaki artışın sebebi matris ve takviye elemanı arasındaki kimyasal bağlanma ile zincir uzunluğunun ve molekül ağırlığının artmasıdır. Bununla birlikte artan partikül oranıyla birlikte erime sıcaklığı düşmüştür. Bunun sebebi artan partikül oranıyla birlikte yapıdaki PBT ve PTMG miktarının azalmasıdır. Kristallenme sıcaklığındaki artışın sebebi partiküllerin matristeki çekirdeklenme etkisidir. Çekme dayanımı değerleri matristen partiküllere güçlü gerilim transferi sebebiyle artmıştır.

Kadam ve diğ., (2013) poli(vinil klorit)/termoplastik poliestere elastomer harmanının özelliklerine nano-alümina takviyesinin etkisini incelemişlerdir. Polimerlerin oranı

50/50 olduğu zaman en yüksek kopma uzaması değeri elde edilmiştir. Düşük olan dayanım ve modül değerlerini artırmak için %1, 3, 5, 7 olacak şekilde nano-alümina partikülleri eklenmiştir. Hazırlanan kompozitlerin mekanik, termal, reolojik, morfolojik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. %5 alümina takviyesi çekme dayanımında en optimum iyileşmeyi sağlamıştır. Bunun zerindeki oranlarda partikülün aglomera olduğu SEM analizi ile tespit edilmiştir. Çekme dayanımı ve modül değerlerinde artış olurken kopma uzaması değeri azalmıştır. Camsı geçiş sıcaklığı, ilk bozunma sıcaklığı, viskozite değerleri artarken yüzde ağırlık bozunma oranı artan takviye miktarı ile azalmıştır. FTIR analizi ile polimerler arasında ve partiküller arasında kimyasal etkileşim olmadığı kanıtlanmıştır. Hytrel çok yüksek moleküler ağırlığa sahiptir. Yapısında çok sayıda zincir kıvrılması ve molekül dolaşıklığı (entanglements) vardır. Bu kıvrılmış ve dolaşık hale gelmiş yapı PVC ile karıştırılınca polimerik zincirlerin moleküler dizilişini etkiler. Harman sisteminde alan başına düşen moleküler paketlemeyi azaltır. Bu durum kristaliniteyi azaltır ve harmanın yük taşıma kapasitesini azaltır. Harmanda yüksek oranda hytrel kullanılması, yük taşıma kapasitesini daha da azaltır. Bu durumda, çekme modülü ve çekme dayanımı değeri artan Hytrel oranıyla birlikte azalır. Moleküler kristalinite de oluşan bu azalış polimer zincirlerinin daha serbest şekilde hareket etmelerini sağlayarak kopma uzaması değerini arttırır. Alümina takviyesi harman molekülleri ile etkileşim için yüksek bir yüzey alanı sağlar ve sistemin kristalinitesi artar. Ancak %5 takviye oranıyla birlikte partiküller aglomera olur ve sistemin kristalinitesini azaltır. Alümina yüksek sıcaklıklarda yüksek termal iletkenlik gösterir. Bu nedenle polimerin de ısı iletkenliği, absorbe edilen ısının kolayca dağılması sebebiyle artar.

Hemanth ve diğ., (2015) kısa elyaf ve mikro partikül takviyeli termoplastik poliester elastomer/politetrafloraetilen kompozitin fiziko-mekanik davranışını incelemişlerdir. Kısa elyafların ve partikül takviyesinin polimerlerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir. Elyaf ve partikülün türü, morfolojisi, boyutu, takviye oranı ve homojen dağılımı kompozitin performansını etkiler. Bu çalışmada kısa cam ve karbon elyaf ile mikro boyutlu silikon karpit, alümina ve molibden disülfid kompozite takviye amacıyla eklenmiştir. Mekanik özelliklerde en fazla iyileşme %20 elyaf içeren kompozitte elde edilmiştir. Mekanik özelliklerde daha da iyileşme elde etmek için %20 elyaf içeren kompozite partikül takviyesi yapılmıştır. Sinerjik etkiyle

birlikte, kompozitin sertlik, çekme modülü, eğilme ve darbe dayanımı değerlerinde artış olmuştur. Takviye elemanlarının dağılımı SEM analizi ile incelenmiştir. Takviye elemanlarıyla birlikte kompozitin yoğunluk değerleri artmıştır. Mikrosertlik kompozitin mekanik özellikleriyle yakından alakalıdır. Daha yüksek sertliğe sahip olan polimer daha düşük kopma uzaması sergiler ancak yük taşıma kapasitesi artar. Genellikle, partikül takviyesi polimerin mekanik özelliklerini artırır. Partikül takviyesi ile kristalinite ve lamel kalınlığı artar ve sferülit boyutu azalır. Lamel kalınlığındaki artış kompozitin sertlik değerini kontrol etmede önemli bir rol oynar. Sertlikteki artışla birlikte, matris ile takviye elemanları arasındaki ıslanabilirlik ya da bağlanma artar. SEM analizi ile PTFE'nin aglomera olmadığı ve homojen şekilde dağıldığı görülmektedir. Erime sıcaklığının düşük olması sebebiyle, zayıf bağ dayanımı olur ve partiküller yerinden çıkar ve çatlaklar oluşur. Bu durum zayıf çekme özelliklerine sebep olur. Daha homojen dağılım için uyumlaştırıcılar kullanılabilir. Artan elyaf ve partikül takviye oranıyla birlikte kompozitin bükülmezliği artar ve tokluğu azalır. Kısa elyaf takviyeli kompozitlerin özellikleri elyaf hacim oranına, elyaf yönleneşine, en-boy oranına ve elyaf/matris arayüzeyinin kalitesine bağlıdır. Elyaf takviyeli kompozitin en iyi çekme özelliklerini sergilemesinin sebebi arayüzey yapışmasının iyi olmasına bağlıdır. İyi arayüzey yapışması matristen takviye elemanına olan gerilimi iyi bir şekilde sağlar. Partikül takviyesinin çekme dayanımını ve kopma uzamasını düşürmesinin sebebi zayıf olan arayüzey yapışmasıdır. Zayıf olan yapışma ile iyi bir gerilim transferi gerçekleşmez. Bunun bir başka sebebi ise partiküllerin uygun olmayan şekilli köşe noktaları sebebiyle kompozitte gerilme yığılmasına sebep olmasıdır. Eğilme dayanımı kompozitin eğilme davranışı ile ilgili bilgi verir. Elyaf takviyesi ile birlikte iyi bir eğilme dayanımı sergilenmiştir. Uygulanan yük matrise etki eder ve iyi bir transfer olması durumunda elyafa aktarılır. Bu da kompozitin yük taşıma kapasitesini artırır.

Bae ve diğ., (2013) termoplastik poliester elastomer/çok duvarlı (multi-walled) nanotüplerin reolojik, termal ve elektrik özelliklerini incelemiştir. Nanotüp takviye oranı %0,1 ile %0,7 arasında alınmıştır. %0,1 takviye oranında kristalizasyon sıcaklığı 15 °C artmıştır. %5 takviye oranında bu artış 22 °C'dir. Depo modülü değerleri artan takviye oranıyla artmıştır. SEM analizine göre %2 ve %5 oranında

takviyenin yapıda homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum matris ile takviye elemanı arasındaki afinite derecesinin yüksek olduğunu gösterir. Kristalizasyon sıcaklığındaki artışın sebebi takviye elemanının çekirdeklenme ajanı gibi rol almasıdır. Takviye elemanları zincir hareketliliğini kısıtlar ve çekirdeklenme ajanı olarak kristalizasyonu arttırır. Kristal boyutundaki azalma, zincir hareketliliğini kısıtlar ve çekirdeklenme bölgelerini arttırır. Takviye oranıyla birlikte kompozitin depo modülü değerleri artmıştır. Bunun sebebi zincir hareketlerinin kısıtlanmasıdır.

Huang ve diğ., (2017) spodumen slag (cüruf) takviyeli termoplastik poliester elastomer kompozitlerin termal kararlılığı ve mekanik özelliklerine arayüzey yapısının ve yüzey işlemin etkilerini incelemiştir. Kompozitin termal bozunma sıcaklığında 277 °C'den 350 °C'ye çıkararak %26 oranında iyileşme sağlamışlardır. Yüzey işlemi ile birlikte takviye elemanın özellikleri iyilemiştir. Bu da çekme dayanımını ve kopma uzamasını azaltmıştır. Yüzey işlemi ile birlikte partiküller matriste daha homojen bir şekilde dağılmış ve arayüzey yapışması iyilemiştir. Bu da kompozitin yük taşıma kapasitesini iyileştirmiştir. Partikül takviyesi ile birlikte sistemin viskoelastisitesinin artmasıyla depo modülü değeri artmıştır. Partikül takviyesiyle birlikte termal kararlılık artmıştır. Çünkü partikül takviyesinin fiziksel koruyucu bariyer özelliği bulunmaktadır. Partikül takviyesiyle birlikte kompozitin modül ve dayanım değerleri artmıştır. Bununla birlikte sistemin kopma uzaması değerleri azalmıştır. Çünkü sistemin rijitliği artmıştır. Takviye elemanının ilavesiyle birlikte plastisite düşmüş ve rijitlik artmıştır. Kristalizasyon sıcaklığı katkısız polimere göre artmıştır. Bunun sebebi takviye elemanının sert faz üzerindeki heterojen çekirdeklenme etkisidir. Tüm kompozitlerin erime sıcaklığı artmıştır. Bunun sebebi daha ince lamelli kristalitlerin oluşması ve daha az kusurun oluşmasıdır. Bununla birlikte kristalinite takviye elemanından bağımsızdır çünkü sistemin erime entalpisi değerleri değişmemiştir. Bu durum mekanik dayanımdaki artışı doğrular. Partikül takviyesine uygulanan yüzey işlemi ile birlikte heterojen çekirdeklenme azalmıştır çünkü kompozitin kristalizasyon sıcaklığı azalmıştır.

Bai ve diğ., (2014) poli(trimetil tereftalat)/termoplastik poliester elastomer harmanlarının hazırlanması, morfolojisi ve özelliklerini incelemiştir. Kompozitin karıştırılabilirliği, kristalizasyon ve erime davranışı, faz morfolojisi, dinamik mekanik davranışı, reolojik davranışı, sferülit morfolojisi ve mekanik özellikleri,

DSC, SEM, DMA, çekme testi ile incelenmiştir. Kompozitin darbe dayanımı değeri artan TPE oranıyla birlikte artmıştır. Çekme dayanımı değeri ise %10 TPE oranında maksimuma ulaşmıştır. Yüksek sıcaklıklarda poli(trimetil tereftalat)'ın çekirdeklenme oluşumu ve büyümesi TPE ilavesiyle artmıştır, ancak sıcaklık düşmesiyle kristalizasyon oranı artmıştır. Artan TPE içeriğiyle sferülitler daha küçük hal almıştır. Artan TPE ile birlikte viskozite artmıştır. Tüm kompozitler eriyik durumdayken elastik davranıştan çok viskoz davranış sergilemiştir.

Pesetskii ve diğ., (2017) poli(bütülen tereftalat) ve termoplastik poliester elastomerin yapısına ve özelliklerine izosiyanat zincir uzatıcının etkilerini incelemiştir. Zincir uzatıcı ilavesi ile birlikte kompozitin eriyik viskozitesi artmıştır. Artan takviye oranıyla birlikte akma dayanımı değerleri azalmıştır. Darbe dayanımı değerleri artmıştır. Kristalizasyon sıcaklığında azalma olmuştur. Bu durum artan molekül ağırlığıyla birlikte moleküler hareketliliğin kısıtlanmasını açıklamaktadır. Zincir uzatıcı eklenmesi moleküler hareketliliği kısıtladığı için depo modülü değerlerini arttırır.

Yang ve diğ., (2015) alüminyum fosfinat içeren termoplastik poliester elastomer/seryum karbonat hidroksit kompozitlerin alev geciktiricilik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Morfoloji analizlerine göre partikül takviyesi matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmıştır. TGA analizine göre TPE'ye takviye elemanları eklendiğinde termal bozunma sıcaklığı azalmıştır. Alev geciktiricilik testine göre katkısız TPE'nin alev geciktiricilik özelliği takviye elemanları ile iyileştirilmiştir. Bununla birlikte kompozitin çekme özelliklerinde de gelişme olmuştur. Çekme özelliklerindeki iyileşme bükülmezliğin artması ve takviye elemanlarının yapıda iyi bir dağılım sergilemesi ile açıklanmıştır. Alüminyum fosfinat ilavesiyle çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri azalmıştır. Bunun sebebi matris ile alüminyum fosfinat arasındaki uyumsuzluk sebebiyle matris ile takviye elemanı arayüzeyinde oluşan süreksizliklere bağlanmıştır.

Ma ve diğ., (2014) fonksiyonelleştirilmiş grafen takviyeli termoplastik poliester elastomer nanokompozitlerin özelliklerini incelemiştir. Fonksiyonel hale getirilmiş grafen ilavesiyle daha iyi dağılım sağlanmış ve TPE'nin mekanik, termal ve kristalizasyon özellikleri iyileştirilmiştir. %0,1 fonksiyonelleştirilmiş grafen

ilavesiyle çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri artmıştır. Dahası, %10 ağırlık kaybındaki bozunma sıcaklığı, -70 °C'deki depo modülü ve kristalizasyon pik sıcaklığı geliştirilmiştir. Mekanik ve termal özelliklerdeki iyileşmeler homojen dağılıma ve takviye elemanı ile matris arasındaki güçlü arayüzey yapışmasına bağlıdır. Kristalizasyon sıcaklığı grafen ilavesiyle artmıştır. Bunun sebebi grafenin TPE'de etkili çekirdeklenme ajanı etkisidir ve bu durum polimerdeki sert fazın kristalizasyonunu hızlandırır. %0,1 oranında grafen ilavesiyle çekme dayanımı ve modül değerleri artmıştır. Ancak %1 oranındaki takviye ile aglomera olma sebebiyle kompozitin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri azalmıştır. DMA sonuçlarına göre kompozitin depo modülü grafen ilavesiyle artmıştır. Bunun sebebi polimer zincirlerinin hareketliliğinin sınırlanmasıdır. %0,1 fonksiyonelleştirilmiş grafen ilavesi ile depo modülü değeri daha da artmıştır. Bunun sebebi takviye elemanı ile matris arasındaki güçlü arayüzey yapışmasının oluşmasıdır. Fonksiyonelleştirilmiş grafen, kompozitte kimyasal ve fiziksel çapraz bağlanma noktası olarak rol alır ve matris ile takviye elemanı arasında etkili bir yük transferi sağlar. Çekme davranışına benzer şekilde, polimer matrise %1 grafen takviyesiyle depo modülü azalmıştır.

2.2. BF/siBF Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar

Deak ve diğ., (2010) nylon 6 matrisli kompozit malzemeye silanlanmış bazalt elyaf ilave ederek arayüzey özelliklerini incelemiştir. Kompozitlerin SEM analizi, statik ve dinamik mekanik testleri, DMA analizleri arayüzey yapışma kalitesini belirlemek için yapılmıştır. Bu testlerin sonucunda bazalt elyafın yüzeyini silanlamanın kompozitin özelliklerini iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bazalt elyafların yüzeydeki varlığı FTIR analizi ile kanıtlanmıştır.

Espana ve diğ., (2013) farklı silan bağlama ajanlarının bazalt elyaf takviyeli biobazlı epoksi matrisli kompozit laminatların özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu amaçla kompozitlere DSC analizi, mekanik özellikleri belirlemek için çekme, eğme, darbe ve sertlik testleri yapmışlardır. Test sonuçlarına göre silanlamayla birlikte kompozitlerin mekanik özellikleri iyileşmiştir.

Kurniawan ve diğ., (2013) bazalt elyaf/polilaktik asit kompozitlerinin mekanik özelliklerine silanlamanın etkisini incelemiştir. Kompozitlerin mekanik

özelliklerini geliştirmek için çeşitli türlerde yüzey silanlama yapılmıştır. Optimum mekanik özellikler su bazlı çözeltilerde çözülen silan ile elde edilmiştir. Silanlanmış bütün BF/PLA kompozitleri, uzama haricinde daha yüksek mekanik özellikler sergilemiştir. Silanlanmış bazalt elyafın morfolojisi, bazalt elyaf yüzeyi boyunca aynı oranda dağılmış silan tabakası göstermiştir. Beklendiği gibi, silanlanmış bazalt elyaf daha pürüzsüz bir görünüme sahip olmuştur. Bazalt elyaftaki silan varlığı FTIR ile incelenmiştir. FTIR analizinde Si-O pikleri görülmüştür. Bu daha yoğun silanol olduğunu gösterir. Benzer şekilde bazalt elyaf yüzeyinde artan silan ile birlikte daha çok Si-O-Si bağı oluşmuştur. Silan varlığında ergime sıcaklığı (T_m) ve PLA'nın kristalitesi azalmıştır. Düşük kristalinite ve ergime sıcaklığı polimer matrisin düşük sertliğiyle alakalıdır. Bazalt elyaf yüzeyinde, PLA ile silan arasında daha iyi arayüzey yapışması olduğu için silanlanmış kompozit daha yüksek mekanik özellikler sergilemiştir.

Samper ve diğ., (2014) bazalt elyaf takviyeli kompozit malzemelere silan bağlama ajanının etkisini incelemişlerdir. Kompozitlerin elyaf-matris ara yüzey kayma dayanımı incelenmiştir. Bazalt elyaflar, reçine ile elyaf arasındaki yapışmayı geliştirmek için dört farklı silan ile modifiye edilmiştir. Silanlanmış bazalt elyaf silanlanmamış olana göre daha yüksek çekme dayanımı sergilemiştir. Bu davranış, elyaf yüzeylerindeki kusurların iyileşmesi sebebiyle olabilir. Bağlama ajanı ile modifiye edilmiş kompozitlerdeki birleşme, işlem yapılmamışlara göre çok sağlam olmuştur. Silanlama ince bir silan tabakası oluşturmuş ve bu tabaka silandaki hidrolize alkali grup ile bazalt yüzeyindeki hidroksil fonksiyonel grup arasında güçlü bir bağ yapmıştır. Başka bir ifadeyle, amino ya da glisidin fonksiyonu hala aktiftir ve elyaf-matris arasında iyi etkileşim için epoksi reçine ile tepkimeye girmiştir. Silan bağlama ajanı elyaf ve matris arasında güçlü etkileşim için kilit bir role sahiptir. Silan yüzeyi, düşük yüzey pürüzlülüğü sergilemiştir.

Arslan ve Dogan, (2018) bazalt elyaf takviyeli poli(bütilen tereftalat) matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine silan başlama ajanının etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, (3-aminopropil) trietoksisilan(AP), (3-glisitiloksiyopropil) trimetoksisilan (GP) ve (3-trimetoksilil) propil metakrilat (MA) olmak üzere 3 farklı silan kullanmışlardır. Kompozitlerin çekme, eğilme, darbe, termomekanik ve morfolojik özelliklerini incelemek için çeşitli testler yapmışlardır. Çekme dayanımı ve modülde

önemli bir artış elde ederken, eğilme dayanımında az miktarda iyileşme olduğu ve darbe özelliklerinde herhangi bir değişim olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Eğilme modülü ve elastik modül sonuçlarına göre en etkili silan bağlama ajanlarını GP>AP>MA olarak sıralamışlardır. Mekanik özelliklerde ki iyileşmeyi bazalt elyaf ile matris arasındaki arayüzey yapışmasının iyileşmesine bağlamışlardır. Silanlamayla birlikte oluşan kovalent bağın, mekanik özelliklerdeki bu artışın sebebi olduğunu belirtmişlerdir.

Lee ve diğ., (2017) epoksi matrisli silanlanmış bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin ısı ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla 3-(aminopropil) trietoksisilan (APS) ve 3-(metakriloksipropil) trimetoksisilan (MPS) olmak üzere 2 farklı silan bağlama ajanı ve %1, 3 ve 10 olmak üzere 3 farklı elyaf yükleme oranı belirlemişlerdir. Kompozitlerin ısı ve bozunma özelliklerini incelemek için DSC ve TGA testleri uygulamışlardır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için ise çekme testi gerçekleştirmişlerdir. Camsı geçiş sıcaklığında herhangi bir değişiklik olmazken, çekme dayanımı değerlerinde artış olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebini ise elyaf ve matris arayüzeyindeki fiziksel ve kimyasal etkileşimlerin silan bağlama ajanının etkin rolü ile birlikte iyileştiğini, bunun da arayüzeydeki gerilim dağılımını geliştirdiği şeklinde açıklamışlardır.

Sang ve diğ., (2017) poli(bütien süksinat) matrisli silanlanmış bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin kristallenme ve çekme özelliklerini incelemişlerdir. KH550 silan bağlama ajanı kullanmışlardır. Silanlama işleminin, kompozitlerin kristalin yapısına, izotermal kristalleşme prosesine ve mekanik performansına olan etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Matris ile elyaf arasındaki silanlama işlemiyle artan arayüzey etkileşimi ve çekirdeklenme kabiliyeti sebebiyle matrisin kristallenmesi artmıştır. Diğer bir ifadeyle bazalt elyaf kompozit malzemede çekirdeklenme ajanı gibi bir rol üstlenmiştir. Bununla birlikte bazalt elyaf, matriste heterojen çekirdeklenme bölgeleri yaratarak kristallenme oranını arttırmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre, silanlanmış bazalt elyaf ile birlikte kompozitin çekme dayanımı ve modül değerleri iyileşmiştir. Silanlamayla birlikte matris-elyaf arasındaki arayüzey uyumluluğu iyileşmiş ve arayüzeyde matris ve elyaf arasında oluşabilecek mikroboşluklar önlenmiştir.

Czigány ve diğ., (2008) bazalt elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin arayüzey modifikasyonunun mekanik performansına etkisini incelemişlerdir. Bazalt elyafların yüzeyleri silan bağlama ajanı ile kaplandıktan sonra kompozitler sıcak presleme yöntemi ile üretilmiştir. Kompozitlere çekme testi, üç nokta eğme testi, charpy testi ve DMA gibi statik ve dinamik mekanik testler uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre silanlamayla birlikte kompozitlerin mekanik özellikleri iyileşmiştir. Çekme testi sonucu kırılan yüzeylerin SEM görüntülerinde matris ve takviye elemanı arasında daha güçlü bir yapışma olduğunu ispat etmişlerdir.

Kurniawan ve diğ., (2015) bazalt elyaf takviyeli polilaktik asit matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine elyaf yüzeyini silanlamanın etkilerini incelemişlerdir. silanlanmış bazalt elyaf takviyeli kompozitler yüzey morfolojileri için FTIR, ısıl özellikleri için DSC ve dayanım, bükülmezlik, kopma uzaması gibi mekanik özelliklerini incelemek için çekme testi ile test edilmişlerdir. Silanlamayla birlikte çekme dayanımı ve bükülmezlik özelliklerinin arayüzey etkileşiminin iyileşmesi sebebiyle arttığını belirtmişlerdir. Ancak kopma uzaması değerlerinde azalma olduğunu görmüşlerdir. Bunun sebebini silanlamayla birlikte yüzeyde oluşan tabaka dökülmesi (layer exfoliation) durumu ile açıklamışlardır. DSC sonuçlarına göre silanlamayla birlikte kristalinitenin düştüğünü belirtmişlerdir. Takviye elemanı ile matris arasındaki iyileşmeyi şöyle açıklamaktadırlar; aralarında daha iyi bir hidrojen bağı dağılımı olabileceğini ya da silan ile arayüzey arasında daha iyi van der Waals etkileşimleri olabileceğini öngörmüşlerdir.

Zegaoui ve diğ., (2018) silanlanmış bazalt elyaf takviyeli siyanat esteri/benzoksazin matrisli kompozitlerin morfolojik, mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Takviye elemanlarının kimyasal inörtlüğü ve zayıf afinitesi sebebiyle aglomera olma eğiliminde olabileceğini bu sebeple yüzeylerinin modifiye edilmeleri gerektiğini belirtmişlerdir. Silanlama işleminin ise polar gruplar aracılığıyla takviye elemanı ile matris arasında kimyasal bağlardan bir köprü oluşturarak üstesinden gelinebileceğini ifade etmişlerdir. Bu amaçla, silanlanmış bazalt elyaf takviyeli kompozitlere SEM, FTIR, eğilme testi, darbe dayanımı testi, mikrosertlik testi, DSC ve TGA analizi yapmışlardır. Mekanik test sonuçlarına göre eğilme dayanımı, eğilme modülü, darbe dayanımı ve mikrosertlik değerlerinde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Kompozitlerin termal kararlılıklarının iyileştiği sonucuna ulaşmışlardır. SEM ve

FTIR testlerinden elde edilen verilerden matris ile silanlanmış bazalt elyaf arasında iyi dağılım ve yapışma olduğunu kanıtlamışlardır. DSC sonuçlarına göre bazalt elyaf kristaliniteyi arttırmıştır. Bunun sebebini ise şu şekilde açıklamışlardır; elyafın bir engelleyici olarak rol aldığını ve polimer kompozitte çapraz bağlanma ağının heterojenliğini arttırdığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak artan heterojenlik boş alanları minimize etmiştir ve matrisin hareketliliğini sınırlandırmıştır.

Yu ve diğ., (2019) farklı moleküler yapıya sahip amino-silan bağlama ajanlarının bazalt elyaf takviyeli poliamid 6,6 kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Elyaf ve takviye elemanı arasındaki arayüzey dayanımını iyileştirmek için amino-silan bağlama ajanı kullanmışlardır. Kompozitlerin yapışma özellikleri polar amino gruplar ile silan bağlama ajanındaki polar olmayan uzun CH₂ zincirlerinin bazalt elyaf yüzeyinde etkileşime girmesiyle iyileşmiştir. Silan bağlama ajanı ile birlikte, elyaf ve takviye elemanı arasında kimyasal reaksiyon bağı ve güçlü fiziksel bağlanma aracılığıyla arayüzey dayanımı iyileştirilir. Silan bağlama ajanlarındaki zincir moleküllerinin sonundaki amino, epoksi, ve üredio organo-fonksiyonel gruplar matris yüzeyi ile kimyasal ya da hidrojen bağları oluşturabilir. Elyaf yüzeyindeki fonksiyonel grupların belirlenmesi için FTIR analizi yapılmıştır. Bazalt elyaf ile kristalinite artmıştır. Bazalt elyaf daha çok kristal çekirdeklenme noktaları oluşturur bu da matrisin çekirdeklenmesini teşvik eder. Bu sayede daha yüksek kristallenme derecesi elde edilir. Silanlamayla birlikte kristallenme derecesi artmıştır. Çünkü silan bağlama ajanı yapıda çekirdeklenme ajanı gibi rol almış ve arayüzey kristallenmesini arttırmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre silanlanmış bazalt elyaf takviyeli kompozitler daha yüksek değerler sergilemişlerdir. Bunun sebebi takviye elemanı ve matris arasındaki arayüzey yapışmasının iyileşmesidir. DMA sonuçlarına göre depo modülü değerleri artmıştır. Bunun sebebi ise; silan bağlama ajanları ile birlikte iyi bir etkileşim olmuş bu da bükülmezliği arttırmıştır.

Guo ve diğ., (2015) silanlanmış bazalt elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Bazalt elyaf yüzeyi K550 silan bağlama ajanı modifiye edilmiştir. Bazalt elyafların çekme dayanımı test edilmiş ve SEM ile incelenmiştir. Kompozitlerin mekanik özellikleri elektronik universal test cihazı ve darbe test cihazı ile, termal özellikleri TGA ve DMA ile test edilmiştir. Mekanik özellikler saf polipropilene göre artmıştır çünkü kompozit malzemelerin

arayüzeyi silanlanma ile birlikte iyileşmiştir. Silanlamayla birlikte elyaf yüzeyindeki kusurlar azalmış ve elyaf yüzeyinde daha üniform bir tabaka elde edilmiştir. Termal kararlılık ve dinamik viskoelastisite saf polipropylene göre daha iyi olmuştur. Bununla birlikte KH550 silan bağlama ajanının konsantrasyonunun termal kararlılık üzerine bir etkisi olmadığı bulunmuştur. SEM analizi ile silanlanmamış bazalt elyafın matris ile zayıf bir yapışmaya sahip olduğu kanıtlanmış ve silanlamayla birlikte kompozitin yapışma özellikleri iyileşmiştir. Silanlanmamış bazalt elyafın yüzeyi bazı malzemelere göre inörttür. Bu durum elyaf ile matris arasında zayıf yapışmaya sebep olur. Bu nedenle bazalt, kompozitten daha kolay ayrılır ve gerilme yığılması oluşturur bu da kompozitin dayanımını azaltır. Silan eklenmesi, takviye elemanı ile matris arasındaki arayüzey dayanımını iyileştirir. Silan konsantrasyonunun çok düşük ya da çok fazla olması durumunda matris ile takviye elemanı arasında daha zayıf arayüzey dayanımı ve daha zayıf arayüzey tabakası oluşabilir. Bu durum farklı malzemelerde silanlama işleminin plastikleştirici etkisinin de baskın gelebileceğinin bir kanıtıdır.

Xin ve diğ., (2008) silanlanmış bazalt elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Polimer matris ve takviye elemanı arasındaki arayüzey bağlanmasını iyileştirmek için KH-550 silan bağlama ajanı kullanmışlardır. Silanlamanın varlığını FTIR analiziyle kanıtlamışlardır. Silanlamayla birlikte aşınma özelliklerinin iyileştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca aşınma yüzeylerini SEM analizi ile değerlendirmişlerdir.

Kaifang ve diğ., (2013) kırılmış bazalt elyaf takviyeli ahşap bazlı kompozitlerde yüzey işleminin mekanik özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, arayüzey özelliklerini iyileştirmek için bazalt elyaflar silan bağlama ajanı ile kaplanmıştır. Bazalt elyafın kimyasal olarak inört ve hidrofobik bir malzeme olduğu için zayıf arayüzey yapışmasına sebebiyet verdiği belirtilmiştir. Bağlama ajanının moleküler yapısında iki fonksiyonel grup oluşur. Bu gruplardan biri hidrofobik takviye elemanı ile kimyasal reaksiyon oluştururken diğeri hidrojen bağı oluşturarak hidrofilik matris ile birleşir. Bağlama ajanları takviye elemanı ile matris arasında bir köprü oluşturur, böylece arayüzey iyileşir. Ayrıca bağlama ajanları dayanımı, ıslanabilirliği ve dağılımı önemli bir şekilde iyileştirir. %0,25, %0,5, %0,75, %1,00, %1,25 olmak üzere farklı oranlarda silan oranları denenmiştir. Ahşap kompozitlere

çekme ve eğilme testleri uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre en yüksek değerlere %0,75 oranında silan bağlama ajanı içeren numunelerde ulaşılmıştır. Çekme testindeki bu iyileşmenin, bazalt elyafın silanlamayla birlikte matriste daha iyi dağılması ve iyi bir yapışma sergilemesi sebebiyle olduğu belirtilmiştir.

2.3. BA/siBA Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar

Baysal ve diğ., (2007) borik asit ve boraks takviyeli ahşap polimer kompozitlerin fiziksel, biyolojik, mekanik ve alevlenme özelliklerini incelemiştir. Borik asit ve boraks %1 oranında ilave edilmiştir. Borik asit düşük erime sıcaklığına sahiptir ve alev içerisinde yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında camsı filmler oluşturur. Bu nedenle alev geciktirici özelliği vardır ve bu özelliğini boraks ile birlikte kullanıldığında daha etkin bir şekilde gösterir. Bu çalışmadaki sonuçlara göre, borik asit ilavesiyle ahşap polimer kompozitin alevlenmeye karşı olan özelliği iyileştirilmiştir. Bununla birlikte borik asit ilavesiyle elastisite modülünde azalma yaşanmıştır.

Cavdar ve diğ., (2015) ahşap talaşı takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin mekanik, alevlenme ve ısıl özelliklerine borik asit ve boraks ilavesinin etkilerini incelemiştir. Boraks takviyeli kompozitlerin borik asit takviyeli kompozitlere göre çekme dayanımı ve modül değerlerinde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Boron bileşikler polimerlerde, ahşaplarda ve ahşap ürünlerinde alev geciktirici olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Boron bileşiklerinin bu amaçla kullanımı toksik olmamaları, çevre dostu olmaları, yüksek ısıl ve biyolojik dirençleri sebebiyle 1980ler itibariyle yoğun şekilde artmıştır. Çalışmada, yanma özelliklerinin yanında, çekme, eğilme ve darbe dayanımı ile çekme ve eğilme modülü özellikleri belirlenmiştir. Isıl özellikler için TGA testi yapılmıştır. Morfolojik özellikler SEM ile incelenmiştir. Artan elyaf oranıyla birlikte çekme dayanımı düşmüştür. Bunu şöyle açıklamışlardır; hidrofilik elyaflar hidrofobik polimer matrisler ile uyumsuzluk içerisindedir ve kümeler (clusters) oluşturma eğilimindedirler. Bununla birlikte elyaf yüzeylerinin vaks (waxes) ve selülozik olmayan maddelere sahip olması takviye elemanı ve polimer matris arasında zayıf yapışmaya sebep olabilir. Borik asitin ahşap talaşı polimere ilavesiyle dayanım düşmüştür. Borik asit kimyasal olarak sadece ahşap ürünleriyle bağ kurar. Bunun sonucunda polimer matris ve ahşap talaşı

arasındaki uyumsuzluk artar. Boraksta da benzer sonuçlar vardır. Borax yüksek alkalın karakter sergiler (pH: 9,4) ve yüksek tamponlama kapasitesine sahiptir. Çekme modülü elyaf takviyesiyle artmıştır. Bu karışımlar kuralı ile açıklanabilir; kompozitin bu özelliği matrisin ve takviye elemanın ağırlık hacim oranına bağlıdır. Ahşap, polimere göre daha yüksek modül değerine sahiptir ve matristeki ahşap miktarı arttıkça daha yüksek modül değerleri elde edilir. Kopma uzaması değerleri elyaf takviyesiyle birlikte kompozitin bükülmezliğinin artması sebebiyle artmıştır. TGA sonuçlarına göre borik asit ilavesiyle bozunma sıcaklığı azalmış ve kütle kaybı hızı artmıştır. Borik asit düşük dehidrasyon sıcaklığına sahiptir. SEM sonuçlarına göre borik asitli kompozitlerde daha fazla boşluk vardır. Bu durum dayanımdaki azalmayı açıklamaktadır.

Burroughs ve diğ., (1999) borik asit takviyeli polimerlerin özelliklerini incelemişlerdir. Borik oksit partikülleri, PTFE ve epoksi kompozitlerde kullanılarak aşınma oranı değerlerinde azalma sağlanmıştır. Ayrıca borik oksit partikülleri sürtünme katsayısını da azaltmışlardır. Yağlama mekanizması, yağlayıcı borik asitin katı lamelleri arasında kolayca kayabilmesinden kaynaklanır. Öyle ki, borik asitin molekülleri birbirlerine hidrojen bağları ile bağlıdır. Ancak tabakalar arasındaki zayıf etkileşim onların kolayca birbirleri üzerinde kayabilmelerine olanak sağlar. Kayarak yönlene bu tabakalar kaygan bir yüzey oluşmasını sağlar. Bu sayede arayüzey kayma dayanımı düşer ve sürtünme azalır. Borik asit kompozitin kayan yüzeyi boyunca yayılır ve aşındırıcı ile kompozit arasında oluşan arayüzeye transfer olur ve sürtünmeyi azaltır. Bu sayede iyi bir transfer filmi oluşumu gerçekleşir. Dolayısıyla borik asit polimer kompozitlerde düşük sürtünme ve aşınma direnci sağlar.

Demirel ve diğ., (2009) çinko borat/borik asit takviyeli poliester kompozitlerin alev geciktiricilik ve fiziksel-mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Cam elyaf takviyeli poliester kompozitler borik asit, çinko borat ve magnezyum hidroksit gibi alev geciktirici malzemeler kullanılarak kompozitin alev geciktiriciliğinin iyileşmesi hedeflenmiştir. Alev geciktiriciliğinde en fazla iyileşme borik asit içeren kompozitlerde gerçekleşmiştir. Bu malzemelerin kullanılmasıyla kompozitin mekanik özellikleri kötüleşmiştir. Borik asit cam elyaf takviyeli kompozit içerisinde iyi bir dağılım sergileyerek elyaf ve matris arasındaki arayüzey etkileşimini

iyileştirmiştir. TGA sonuçlarına göre borik asit matrisin bozunma sıcaklığını düşürmüştür.

Mutlu ve diğ., (2007) fren balatalarında kullanılan fenolik kompozitlerin tribolojik özelliklerine borik asitin etkisini incelemişlerdir. Borik asit takviyesiyle sürtünme katsayısında kararlılık sağlanmıştır. Ayrıca, ısının artmasıyla borik asit içeren kompozitlerin sürtünme katsayısı daha kararlı bir hal almıştır. Çünkü borik asit sistemde bulunan suyu emer ve daha stabil bir yapı oluşturur.

Duzcukoglu ve Şahin, (2011) borik asit içeren kanola yağının sürtünme durumu altındaki aşınma davranışını incelemişlerdir. Borik asit, lamelli bir katı malzeme olmasıyla aşınma ile ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır. Borik asit tabakalı (lamelli) bir yapıya sahiptir. Bu yapı borik asite kendini yağlama özelliği verir ve katı bir yağlayıcı olarak kullanılır. Borik asit molekülleri birbirlerine hidrojen bağları ile bağlanarak bir tabaka oluştururlar ve bu tabakalar da birbirlerine zayıf Van der Waals kuvvetleri ile bağlıdır. Bu durum moleküllerin kolayca kaymasını sağlar ve kayma dayanımını ve sürtünmeyi azaltır. Borik asit kullanılması sürtünmeyi düşürerek yağlamayı iyileştirir. Düşük sürtünmenin sebebi borik asitin tabakalı kristal yapısından kaynaklanmaktadır. Kayma gerilmesi altında, kristal tabakalar birbirleri üzerinde kayarlar. Yağlayıcı malzemelerin viskozitesi düşüktür. Borik asit, grafit, molibden disülfid, tungsten disülfid tabakalı katı yağlayıcılar olarak bilinirler. Borik asitin kullanılmasıyla, yüzeydeki çatlakların arasına penetre olur ve bir yağlayıcı film oluşturur. Oluşan bu yağlayıcı film sürtünme katsayısını düşürür ve kayma kuvveti altında atomik tabakalar arasındaki ikincil bağları etkiler. Sonuç olarak kanola yapı ve borik asit kullanımı sürtünme katsayısını ve aşınmayı azaltmıştır.

Özdemir ve diğ., (2016) borik asit ilavesinin Etilen Propilen Dien Termonomer (EPDM) sentetik kauçuğun mekanik ve termal özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Borik asit renksiz kristalli ya da beyaz renkte toz formundadır. Erime sıcaklığı 170,9 °C'dir. Borik asit moleküler yapısı sebebiyle etkili bir katı yağlayıcı ajanı gibi davranır. Borik asitin önemli karakteristik özelliklerinden biri de çevre dostu olması ve toksik olmamasıdır. TGA sonuçlarına göre borik asit eklenmesiyle malzemenin termal kararlılığı azalmıştır. DMA sonuçlarına göre borik asit ilavesi depo modülü

değerini arttırmıştır. Borik asit kristalli yapısından dolayı polimer matriste takviye elemanı olarak rol almıştır. Borik asit ve EPDM hidrojen ve oksijen içerir, hidrojen bağı kompozitte malzemedeki moleküler bağlanma için önemli bir bağıdır ve hidrojen bağı sıcaklığa bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda depo modülündeki artış hidrojen bağı dayanımının artmasıdır. %10 borik asit ilavesiyle, çekme dayanımı ve kopma uzaması artarken, %20 borik asit ilavesinde bu değerler düşmüştür. Bunun sebebi borik asitin yağlayıcı etkisidir. Borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerleri düşmüştür.

Panda ve diğ., (2019) nano ve mikro boyutlu borik asitin poli(aril-eter-keton) (PAEK) kompozitlerde katı yağlayıcı olarak kullanılmasını incelemiştir. İyi bir tribolojik özellik için aşındırıcı ile aşınan arasındaki etkili transfer filmi çok önemlidir. Transfer filminin kompozisyonu, kalitesi, üniform olması, kalınlığı ve yapışma kalitesi filmin özelliklerini belirler. PTFE, grafit, HBN, MoS₂, WS₂ önemli katı yağlayıcılardır. Borik asit, tabakalar arasında kolayca kayabilmesi sebebiyle bir katı yağlayıcıdır. Bu özellik borik asite düşük sürtünme katsayısı ve yüksek yük taşıma kapasitesi verir. TGA sonuçlarına göre borik asit ilavesiyle, bozunma sıcaklığı düşmüştür. Borik asit erime sıcaklığı olan 170 °C'de bozunmaya başlar. Bu da kompozitin termal kararlılığını düşürür. Isıl iletkenlik katsayısı sonuçlarına göre borik asit ilavesiyle polimer kompozitin ısıl iletkenlik katsayısı değerleri düşmüştür. Borik asitin bozunması (düşük erime sıcaklığına sahip olması nedeniyle viskozitesinin düşük olması) sebebiyle partiküller arası bant boşluğu olur. Bu durum ısı transfer ağının engellenmesine sebep olur. Dolayısıyla kompozitin ısı iletme kabiliyetini azaltır. Aşınma testi sonuçlarına göre sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri azalmıştır. Borik asit yağlayıcı özellikleri sebebiyle, etkili ve üniform bir transfer filmi oluşturmuştur.

Polat ve Kaynak, (2016) katkısız ve elyaf takviyeli poliamid-6 kompozitin alev geciktiriciliği özelliğine bor oksit ve borik asitin etkisini incelemiştir. Alev geciktiricilik özelliği bor oksit ve borik asit ilavesiyle iyileşmiştir. TGA sonuçlarına göre bor oksit ve borik asit ilavesiyle polimerin bozunma sıcaklığı düşmüştür. Çekme testi sonuçlarına göre modül değerleri borik asit ilavesiyle artmıştır. Ancak kopma uzaması değeri, malzemenin süneklik seviyesindeki önemli azalma sebebiyle düşmüştür. Cam elyaf ilavesiyle birlikte matrisin hem modülü hem de çekme

dayanımı artmıştır. Bunun sebebi matristen elyafa olan etkili yük transferidir. Ancak cam elyaf takviyeli kompozite borik asit ilavesiyle çekme dayanımı değerleri düşmüştür. Bunun sebebi matristen partiküle olan yük transferi mekanizmasının etkinliğinin azalmasıdır. Etkinliğin azalmasında partiküllerin çok düşük en-boy oranına sahip olması olabilir. SEM sonuçlarına göre, dayanımda artış ve esneklikte düşüş olan numunelerin kırılma yüzeyleri daha pürüzsüz kırılma yüzeyi olarak görüntülenmiştir.

2.4. HBN/siHBN Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar

Zhou ve diğ., (2014) hegzagonal bor nitrür takviyeli epoksi kompozitlerin termal, elektriksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Hegzagonal bor nitrürün silanlanarak epoksiye ilave edilmesiyle kompozitlerin camsı geçiş sıcaklığı ve termal kararlılığı iyileşmiştir. Silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren epoksiler, işlem uygulanmamış hegzagonal bor nitrür içerenlere göre daha yüksek ısı iletkenlik sergilemişlerdir. Silan bağlama ajanlarının, bir kompozitte matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey bağlanmasını iyileştirdiği bilinmektedir. Bu iyileşme kompozit malzemelerin mekanik ve ısı iletkenlik özelliklerinin de iyileşmesini sağlar. Camsı geçiş sıcaklığında bir artış olmuştur. Bunun sebebi hegzagonal bor nitrürün zincir hareketliliğini kısıtlamasıdır. Arayüzey bağlanmasının iyileşmesiyle matris zincirleri arasındaki serbest hacim azalır, bu da camsı geçiş sıcaklığını artırır. TGA sonuçlarına göre HBN ilavesi ile kompozitin termal kararlılığı artmıştır. Bunun sebebi HBN'nin yüksek ısı kapasitesi ve takviye elemanı ile matris arasındaki arayüzey etkileşimlerinin iyileşmesidir. HBN ilavesi ile kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri artmıştır. HBN matrise göre yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Kompozitlerin ısı iletkenliği takviye elemanının şekli, boyutu ve miktarı ile kontrol edilebilir. Takviye elemanının matris içerisinde iletken bir ağ oluşturabilme yeteneği en-boy oranına ve takviye miktarına bağlıdır. Düşük oranlarda HBN ilavesi ısı iletkenlik katsayısını iyileştirmez. Çünkü partiküller arasında etkileşim olmaz ve birbirlerinden uzak kalırlar. Ancak yüksek partikül ilavesinde ısı iletkenlik katsayısı artar. Çünkü partiküller birbirlerine temas etme eğilimindedir ve matriste partikül kümeleri oluştururlar. Bu durum ısı yayılımını kolaylaştırır. Çekme modülü ve eğilme modülü değerleri HBN'nin matrise göre yüksek rijitliğe sahip olması sebebiyle artmıştır. SEM analizine göre silanlama işlemi ile birlikte HBN matris içerisinde daha homojen

bir davranış sergilemiş ve partiküller arasındaki hava boşlukları ve kusurlar azalmıştır. Silanlamayla birlikte ısı iletkenlik katsayısının artmasının sebebi, arayüzey bağının iyileşmesi ve arayüzeydeki boşluk hacminin azalmasıdır.

Mittal ve diğ., (2017) yüzeyi fonksiyonelleştirilmiş hegzagonal bor nitrür takviyeli poli(metil metakrilat)/poliimit kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. Silanlama işlemi XRD ve FTIR analizi ile incelenmiştir. Kompozitlerin termal özellikleri TGA ile, tribolojik özellikleri aşınma testi ile incelenmiştir. Hegzagonal bor nitrür kararlı olması ve yeterince yumuşak olması sebebiyle yağlamada kullanılabilir. HBN tabakalı bir yapıya sahiptir ve bu tabakalı yapı birbirine van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu yüzden tabakalar birbirleri üzerinden kolayca kayabilirler. Sonuç olarak, HBN katı yağlayıcı olarak kullanılabilir. HBN'yi polimer matrise ilave ettiğimizde karşımıza iki temel problem çıkar. Bunlardan biri partiküller ve matris arasındaki zayıf arayüzey etkileşimi diğeri ise matriste homojen olmayan dağılımdır. Bunun üstesinden gelmek için HBN yüzeyleri silan bağlama ajanı kullanılarak fonksiyonel hale getirilir. Organo-silan kullanarak yüzey modifikasyonu yapmak, HBN ve polimer matris arasındaki etkileşimleri iyileştirir. Ek olarak, daha iyi dağılım olmasını sağlar. Bunun sonucunda termal ve mekanik özellikler iyileşir. DSC ve TGA sonuçlarına göre silanlama işlemiyle birlikte arayüzey iyileşmiş ve daha homojen bir dağılım sağlanmıştır. Bunun sonucunda HBN bir ısı bariyeri gibi davranmış ve polimer zincirlerinin hareketlerini rijitleştirmiştir. Tribolojik test sonuçlarına göre, HBN boşlukları doldurarak matrisi daha kompakt hale getirmiştir. Sonuç olarak polimer kompozitin yüzeyi daha pürüzsüz bir hale gelmiştir. Dahası, HBN lamelli yapısı sebebiyle iyi yağlayıcı özellikleri sağlamıştır. Silanlamayla birlikte, matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey özellikleri ve uyumluluk iyileşmiş, partiküller daha homojen bir şekilde dağılmıştır. Sonuç olarak kompozitin sürtünme katsayısı değerleri azalmıştır.

Jin ve diğ., (2013) hegzagonal bor nitrürün yüzey fonksiyonelleştirmesini ve bunun kompozitlerin yapısına ve performansına etkilerini incelemişlerdir. Kompozitlere DMA, TGA, elektrik ve termal özelliklerin testleri yapılmıştır. Kompozitlerin özellikleri takviye elemanlarının yüzey özellikleri ile yakından ilgilidir. Çünkü takviye elemanının yüzeyindeki değişim kompozitin sadece kimyasal yapısı, serbest

hacim ve çapraz bağlanma yoğunluğunu belirlemez. Aynı zamanda matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey özelliklerini belirler. Yüzey işlemi ile birlikte iyi bir arayüzey elde edilir. Depo modülü değerleri artmıştır. Çünkü matrise yüksek modüllü ve yüksek çapraz bağlanma yoğunluklu malzemeler eklenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı değerleri artmıştır. HBN'nin ısı iletkenliği yüksektir ve matriste ısı iletkenlik kanalları oluşturmuştur.

Muratov ve diğ., (2015) silanlanmış HBN takviyeli polipropilen (PP) kompozitlerin ısı iletkenliklerini incelemiştir. Çalışmada, 3-amino-propil-3-etoksi-silan (APTES) kullanılmışlardır. Silanla birlikte HBN'nin yüzeyine silan fonksiyonel grupları, kovalent bağlar ile bağlanmışlardır. Silanlamayla birlikte silanlanmamış olan HBN içeren kompozitlere göre ısı iletkenlik katsayısı 2 kat, saf PP'ye göre ise 2,5-4 kat artmıştır. Partikül takviyeli kompozitlerde iyi termal iletkenlik özellikleri yüksek takviye oranı ve iyi bir matris-takviye elemanı etkileşimi ile elde edilir. Bu etkileşimi iyileştirmek için çeşitli bağlama ajanları kullanılabilir. HBN partikülü, APTES ile düşük bir afiniteye sahiptir. Çünkü bağlanma reaksiyonu yüzeyde hidroksil grupların varlığını gerektirir. Hidroksil grupların oluşumu için çeşitli işlemler uygulanabilir. Bu çalışmada hidroksil grupların oluşumu için HBN partikülleri 1100 °C'de tavlansmıştır. FTIR sonuçlarına göre –OH (hidroksil) grubu 3200 cm⁻¹ 'de pik absorblanması göstermiştir. Bu durum yüzeyde hidroksil grupların varlığının bir kanıtıdır. TGA sonuçlarına göre HBN ilavesiyle bozunma sıcaklığı değerleri artmıştır. Isıl iletkenlik katsayısı değerlerinde artış gözlenmiştir. Ancak silanlamayla birlikte bir miktar düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi silanlama işleminin fonon saçılmasına sebep olmasıdır.

Pan ve diğ., (2017) HBN/PTFE kompozitlerin silanlama işlemiyle birlikte ısı iletkenlik katsayısı ve elektriksel özelliklerini iyileştirmeyi incelemiştir. Yüzey işleminden sonra HBN partikülleri ve PTFE arasındaki arayüzey yapışması iyileşmiş ve HBN partiküllerinin PTFE matris içerisindeki düzlem içi oryantasyon derecesi (in-plane orientation degree) azalmıştır. Bu durumda kompozitlerin ısı iletkenliklerini iyileştirmiştir. En iyi iyileşme silanlanmış %30 HBN içeren kompozitte olmuştur. Saf PTFE'ye göre yaklaşık 2,7 kat bir iyileşme sağlanmıştır. Dahası, iyileşen arayüzey yapışmasıyla birlikte HBN'nin yüzey hidrofilitesi azalmıştır. Organik polimerlerin yüzeyi hidrofobik iken, inorganik takviye

elemanlarının yüzeyi hidrofilitir. Yüzey özelliklerindeki bu önemli fark kompozitlerin performansını etkiler. Zayıf arayüzey uyumluluğu arayüzeyde yüksek ısı dirence sebep olur bu da ısı iletkenliğinin etkinliğini azaltır. Silan bağlama ajanları inorganik takviye elemanlarının yüzey hidrofilitesini azaltır ve polimer matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey uyumluluğunu iyileştirir. FTIR sonuçlarına göre 3440 cm^{-1} 'de hidroksil gruplara ait pikte silanlama işlemi ile birlikte absorblanma meydana gelmiştir. Polimerik esaslı kompozitlerin ısı iletkenliği birçok faktörden etkilenir. Polimer matris ve takviye elemanı arasındaki arayüzey ısı direnci, takviye elemanının matris içerisindeki dağılımı bunlardan birkaçıdır. HBN anizotropik ısı iletkenlik katsayısına sahiptir. HBN'nin ısı iletkenlik katsayısı düzlem içi (in-plane) yönünde 600 W/mK iken, düzlemler arası (through-plane) yönünde sadece 2 W/mK 'dir. Bu yüzden takviye elemanının yönlendirilmesi ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesinde çok önemli bir rol üstlenir. HBN'nin yağlayıcı özelliğinden dolayı düzlem içi yönlendirilmesi fazladır. Ancak silanlamayla birlikte bu azalmıştır. Silanlama işlemi kompozitin yağlayıcı özelliğini azaltmış olabilir. Yarı kristalin polimerlerde ısı transferi kristal kafesler arasındaki titreşime dayanır. Genellikle fonon saçılması, lamel kristali ile lameller arasındaki bölgede oluşur. Bu durumda ısı iletkenlik katsayısını düşürür. Artan takviye oranıyla birlikte arayüzeydeki boşluk ve kusurlar artar. Silanlama işlemi ile birlikte arayüzey uyumluluğu iyileşir ve fonon saçılması azalır. TGA sonuçlarına göre HBN ilavesiyle birlikte bozunma sıcaklığı değerleri artmıştır. Bu durum şöyle açıklanır; HBN yüksek ısı iletkenliğe sahiptir ve ısıtma boyunca ısıyı dağıtır ve böylece polimer kompozit daha yüksek sıcaklıklarda bozunmaya uğrar.

Gu ve diğ., (2012) HBN takviyeli epoksi kompozitlerin ısı iletkenliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla HBN'yi silanlanmış ve silanlanmamış olarak matrise eklemişlerdir. %60 oranında HBN içeren kompozit saf polimere göre yaklaşık 5 kat daha iyi ısı iletkenlik sergilemiştir. Mekanik özelliklerde en optimum sonucu veren oran %10 HBN içeren kompozittir. HBN ilavesiyle ısı bozunma sıcaklığı değerleri artmıştır. Yüzey silanlama işlemi kompozitin ısı iletkenlik ve mekanik özellikleri üzerinde pozitif bir etki yaratmıştır. Yüzey modifikasyon işlemi takviye elemanı ile matris arasındaki arayüzey etkileşimini iyileştirmek için etkili bir metottur. Silanlama işlemi, inorganik takviye elemanının yüzeyinde monomoleküler bir tabaka

oluşturup takviye elemanlarının ıslanabilirliğini ve dağılımını iyileştirir. Bu çalışmayla HBN kullanılarak ısı iletkenlik zincirlerinin ve ağının maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Silan bağlama ajanı ile birlikte ise HBN'nin yüzeyi fonksiyonel hale getirilerek arayüzey fonon saçılması minimize edilmiş ve ısı iletkenlik katsayısı iyileştirilmiştir. Ayrıca partiküllerin ıslanabilirliği ve dağılımı geliştirilerek mekanik özellikler iyileştirilmiştir. FTIR sonuçlarına göre hidroksil (-OH) gruplara ait pik 3440 cm^{-1} 'de görülmüştür. Ancak silanlamayla birlikte bu pik ortadan kalkmıştır. Bunun sebebi HBN'nin yüzeyinin silan ile kaplanmasıdır. Isı iletkenlik sonuçlarına göre HBN ile birlikte ısı iletkenlik katsayısı artmıştır. Bunun sebebi arayüzeydeki fonon saçılmasının azalması ve ısı direncin azalmasıdır. Eğilme testi sonuçlarına göre %10 HBN ilavesine kadar etkili bir gerilim transferiyle eğilme dayanımı artmıştır. Ancak artan oranla birlikte eğilme dayanımı değerleri düşmüştür. Bunun sebebi üniform olmayan dağılım sebebiyle oluşan gerilme yığılmasıdır. TGA sonuçlarına göre artan HBN oranıyla birlikte kompozitin ısı bozunma sıcaklığı artmıştır. HBN yüksek ısı kapasitesi ve yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bu yüzden HBN ısı enerjisiyi absorbe etme eğilimindedir ve bu da kompozitin bozunma sıcaklığını yükseltir.

Yu ve diğ., (2018) fonksiyonelleştirilmiş bor nitrür takviyeli epoksi kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Bor nitrür takviyesiyle epoksinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı azalmıştır. Yüzeyi fonksiyonelleştirilmiş HBN takviyeli kompozit en iyi sürtünme davranışını sergilemiştir. Çünkü HBN lamelli yapısından dolayı kendisini yağlama performansı göstermektedir. Hegzagonal bor nitrür, bor ve azot atomlarından oluşan bal beteği benzeri bir yapıya sahiptir. Tipik iki boyutlu tabakalar birbirlerine zayıf van der Waals kuvvetleriyle bağlıken, bor ve azot atomları birbirlerine kuvvetli kovalent bağlar ile bağlıdır. Bu yüzden HBN mükemmel yağlama özelliği sergiler. HBN yağlayıcı özelliği sebebiyle kompozitte katı bir yağlayıcı transfer filmi oluşturur ve bu sayede sürtünme katsayısı değerleri azalır. İyi bir dağılım da, sürtünme katsayısını etkileyen önemli bir anahtar faktördür.

Kızılkaya ve diğ., (2012) poliimid/hegzagonal bor nitrür kompozitlerin sentezini ve karakterizasyonunu incelemiştir. Çalışmada takviye elemanı ile matris arasındaki afiniteyi iyileştirmek için silan bağlama ajanı kullanmışlardır. TGA sonuçlarına göre HBN ilavesiyle bozunma sıcaklığı değerleri artmıştır. HBN kömür oluşumu (char

formation) gibi davranır ve kömür akması (char yield) yanmazlık direnciyle alakalıdır. HBN'nin oksidasyonu için gereken aktivasyon enerjisi karbondan yüksektir. Bu yüzden HBN'nin termal kararlılığı karbondan yüksektir. Bunun sonucunda, HBN polimer zincirlerini termo-oksidatif bir prosesten korur. DSC sonuçlarına göre T_g değerleri artan HBN oranıyla birlikte artmıştır. T_g polimerlerin yapısı ve özellikleri ile ilgili önemli bir parametredir. Genelde, T_g polimer zincir esnekliğinden, moleküler ağırlıktan etkilenir. HBN ilavesiyle zincir esnekliği azalmış böylece zincir hareketliliği azalmış ve T_g değeri artmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre HBN ilavesiyle modül, kopma uzaması ve çekme dayanımı değerleri sistematik bir şekilde azalmıştır. Elastik modüldeki bu azalış HBN ve matris arasındaki zayıf arayüzeyle ilişkilidir. Kopma uzamasındaki ani düşüşün sebebi organik-inorganik ağ (Si-O-Si) yapısı ile oluşan çapraz bağlanma yoğunluğunun artmasıdır. Gerilme altında, zincirlerin hareketleri kısıtlanır ve uzama önemli bir şekilde azalır.

Jang ve diğ., (2017) silan bağlama ajanları ile yüzeyi modifiye edilmiş BN/epoksi kompozitlerin ısı iletkenliğini incelemiştir. Hegzagonal bor nitürün yüzeyinin silanlanmasıyla birlikte kompozitin ısı iletkenlik katsayısı değeri yaklaşık %45 artmıştır. Yüzey silanlamayla birlikte takviye elemanı ile matris arasındaki afinite artmış ve takviye elemanları matris içerisinde daha iyi bir dağılım sergilemişlerdir. İnorganik takviye elemanı ile polimer arasındaki arayüzey yapışmasının iyileşmesi; iyi mekanik özellikler ve yüksek ısı direnç gibi olumlu sonuçlar ortaya çıkarır. Alkoksisilanlar, takviye elemanı ile matris arasında reaksiyona girerek arayüzey boyunca kovalent bağ oluştururlar. Bu bağların hem hidrolizlenebilir hem de şekillendirilebilir olduğu ve bu nedenle organik/inorganik arayüzeyde stres rahatlaması sağladığı belirtilmiştir. Sonuçlara göre, yapışma ve dayanıklılıkta iyileşme sağlanmıştır. HBN'nin yüzey modifikasyon işlemi ısı iletkenliği iyileştirmiştir. Çünkü silanlama işlemi ile birlikte HBN'nin matristeki dağılımı iyileşmiştir. Ayrıca matris ile takviye elemanı arasında yüksek arayüzey afinitesi sağlanmıştır.

Fang ve diğ., (2016) hegzagonal bor nitür takviyeli polimerik kompozitleri ve onların termal sektördeki uygulamalarını incelemiştir. HBN gibi iki boyutlu yapıya sahip malzemeler elektrik yalıtkanlığı ve yüksek ısı iletkenlik gösterirler. Elektriksel olarak yalıtkan olan malzemelerde ısı iletimi; fonon transferi (partikül

titreşiminin, yüksek titreşim frekanslı atomlardan daha az frekanslı olana doğru olması) aracılığıyla olur. HBN gibi malzemelerde ise, katı kristal yapı ve güçlü atomik bağ, kristal kafes aracılığıyla fonon transferi için yararlıdır. Kompozitlerde matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey fonon transferini engelleyebilir ve fonon saçılması oluşturur. Bu durum fonon uyumsuzluğu (“phonon mismatch”) olarak adlandırılır. HBN yüksek en-boy oranına sahip olduğu için yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Bu sayede arayüzeyde düşük termal direnç sergilenir ve ısı iletimi artar. HBN’nin yönlendirilmesi de ısı iletkenliği etkiler. İyi bir şekilde yönlendirilen partiküller fonon transferi köprüleri kurarlar ve partiküller arasındaki mesafe azalır. HBN’nin yüzey modifikasyonu da ısı iletkenliğini etkiler. Yüzey modifikasyon işlemi ile arayüzey termal direnci azaltılır. Silanlama işlemi ile yüzeyde hidroksil fonksiyonel gruplar oluşturulur ve arayüzey termal direnci azaltılır.

Hou ve diğ., (2014) yüzeyi modifiye edilmiş bor nitrit takviyeli epoksi kompozitlerin hazırlanmasını ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. HBN partikülleri APTES silan ile modifiye edilmiştir. HBN ilavesiyle birlikte kompozitin termal iletkenliği artmıştır. Ayrıca ısı kararlılık, depo modülü ve camsı geçiş sıcaklığı değerleri de iyileşmiştir. Kompozitler mükemmel elektrik yalıtıcılığı özelliği göstermişlerdir. HBN’nin yüksek en-boy oranına sahip olması ısı iletkenlik katsayısının artmasını sağlar. Beyaz grafit olarak bilinen HBN tabakalı bir yapıya sahiptir. Hegzagonal bor nitritin yüksek oranda kullanılması homojen bir şekilde dağılmamasını sağlar bu da arayüzeyde yüksek termal direnç sebeptir. Termal direnç fonon saçılmasıyla birlikte termal transferi azaltır. Bu nedenle polimer ve takviye elemanı arasındaki ıslanabilirlik ve yapışmanın artması için yüzey modifikasyonu işlemi uygulanabilir. Yüksek takviye oranıyla birlikte matris ve takviye elemanı arasındaki afinite artar ve ısı iletkenlik katsayısı iyileşir. Silanlamayla birlikte ısı iletkenlik katsayıları daha da artmıştır. Silanlamayla birlikte daha homojen bir dağılım sergilenmiş ve takviye elemanı ile matris arasındaki uyumluluk ve arayüzey afinitesi artmıştır. Silan molekülleri köprü gibi davranarak güçlü arayüzey etkileşimleri oluşturmuşlar ve bu durumda arayüzey termal direncini azaltmış ve ısı iletkenlik katsayısını arttırmıştır. TGA sonuçlarına göre HBN ilavesiyle bozunma sıcaklığı değerleri artmıştır. Arayüzey afinitesinin iyileşmesiyle termal kararlılık artmıştır. DMA sonuçlarına göre HBN ilavesiyle depo modülü

değerleri artmıştır. HBN ilavesi matrisin zincir hareketlerini kısıtlamıştır. Çekme testi sonuçlarına göre belli bir orana kadar çekme dayanımı değerleri artmıştır. Ancak daha sonra düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi yüksek takviye oranının matriste bölgesel gerilme yığılması noktaları oluşturmasıdır. Silanlamayla birlikte çekme dayanımı değerleri artmıştır. Bunun sebebi partiküllerin daha iyi bir dağılım sergilemeleri ve takviye elemanı ile matris arasındaki yapışmanın ve uyumluluğun artmasıdır.

Ayrılmis ve diğ., (2014) hegzagonal bor nitrür takviyeli ahşap-plastik kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. %50 ahşap talaşı %50 termoplastik (yüksek yoğunluklu polietilen ya da polipropilen) %3 bağlama ajanı ve %2, 4, 6 HBN içeren kompozitler hazırlanmıştır. HBN ilavesiyle birlikte eğilme özellikleri ve çekme özellikleri iyileşmiştir. Depo modülü değeri artmıştır. Kopma uzaması değerleri HBN ilavesiyle artmıştır. DSC sonuçlarına göre, kristalinite, erime entalpisi ve kristalizasyon entalpisi değerleri artmıştır. Kristalizasyon pik sıcaklığındaki artışın sebebi HBN'nin etkili bir çekirdeklenme ajanı gibi davranması ve kristalizasyon oranını arttırmasıdır. HBN, 1,22 TPa ile mükemmel young modülü değerine sahiptir (karbon nanotüpteki gibi). Eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri HBN ilavesiyle birlikte artmıştır. Çünkü takviye elemanı ile birlikte zincirlerin hareketliliği kısıtlanmış ve bükülmezliği artmıştır. Ancak belli bir orandan sonra eğilme modülü ve eğilme dayanımı azalmıştır. Bunun sebebi artan HBN oranıyla birlikte partiküllerin aglomera olmasıdır. Çekme dayanımı değerleri artmıştır. Bunun sebebi zincir hareketliliğinin kısıtlanmasıdır. DSC sonuçlarına göre kristalizasyon derecesi artan HBN oranıyla artmıştır. Bunun sebebi çekirdeklenme ajanlarının kristalizasyon başlangıcı için bölgeler oluşturması ve kristalizasyon sıcaklığını arttırmasıdır. Kristalizasyon entalpisi ahşap talaşı eklenmesiyle azalmıştır. Kristalizasyon entalpisi bir malzemeyi dondurmak için gereken enerjidir. Düşük kristalizasyon entalpisinin sebebi, ahşap talaşının partiküller etrafında zincirlerin kolayca paketlenmesine izin vermesidir. Bununla birlikte artan HBN ile birlikte kristalizasyon entalpisi artmıştır. Bunun sebebi HBN'nin heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturarak kristalizasyon oranını ve kristalizasyon derecesini teşvik etmesidir. Kristalizasyon derecesinin artmasıyla çekme dayanımı ve modül değerleri artmıştır. Çünkü kristalin bölgeler fiziksel çapraz bağlanma gibi davranmış ve mekanik özellikleri arttırmıştır.

2.5. GF veya CF Takviyeli Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar

Fu ve diğ., (2000) polipropylene kısa cam elyaf ve kısa karbon elyaf ilavesinin çekme özelliklerine etkisini incelemiştir. Elyaf takviyesiyle kompozitin çekme dayanımı ve modül değerleri artarken, kopma uzaması değerleri malzemenin daha gevrek hale gelmesi sebebiyle azalmıştır. Elyaf takviyesinin çekme dayanımını ve modülü arttırdığı literatürden beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte artan elyaf oranıyla birlikte kompozitin kopma uzaması değeri azalmaktadır. Çekme gerilmesine maruz kalan kompozit malzemedeki elyafın sonunda ya da uç kısımlarında çatlak oluşumu başlar ve elyaf-matris arayüzeyi boyunca ya da matris içerisinde ilerler. Ardından kompozit çok fazla uzama sergilemeden kırılır. Elyaf ilavesiyle birlikte kompozit gevrek bir kırılma davranışı sergiler ve düşük gerilmelerde lineer bir deformasyon sergilerken yüksek gerilmelerde lineer olmayan bir deformasyon sergiler. Karbon elyaf içeren kompozitler cam elyaf içerenlere göre daha yüksek çekme dayanımı değerlerine ulaşmışlardır. Çünkü karbon elyafın çekme dayanımı cam elyafın çekme dayanımından yüksektir. Çekme dayanımı ve modüldeki bu artış karışımlar kuralı ile açıklanmıştır. Kompozitin çekme dayanımı (σ_c) için kullanılan karışımlar kuralı, Denklem (2.2) ile ifade edilir;

$$\sigma_c = \lambda_e \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad (2.2)$$

Burada λ_e , elyaf uzunluğuna ve yönlenmesine bağlı olarak elyaf etkinlik faktörüdür. σ_f elyafın çekme dayanımını, V_f elyaf hacim oranını, σ_m matrisin çekme dayanımını ifade eder.

Kompozitin çekme modülü (E_c) için kullanılan karışımlar kuralı, Denklem (2.3) şöyledir;

$$E_c = \lambda_e E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (2.3)$$

Burada λ_e , elyaf uzunluğuna ve yönlenmesine bağlı olarak elyaf etkinlik faktörüdür. E_f elyafın modülünü, V_f elyaf hacim oranını, E_m matrisin modülünü ifade eder.

Elyaf etkinlik faktörünün değeri, elyaf boyunun kısalması ve elyaf en-boy oranının azalmasıyla düşer. Elyaf eklenmesiyle birlikte kompozitin kopma uzamasının düşmesinin sebebi, kompozitin bükülmezliğinin artmasıyla oluşan gevrekleşme

etkisidir. Bu etki, elyafın uçlarında çatlak oluşumu ile başlar. Uzama arttığında kısa elyafların uçlarında daha fazla çatlak oluşur. Bu çatlak yük transferi ile diğer elyaflara aktarılır. Bu elyaflar çatlak bölgesinde adeta bir köprü görevi görür. Elyaf ve matristeki çatlak ilerlemesi zayıf bir bölgeye ulaştığında kritik bir seviyeye çıkar ve daha fazla yük taşıyamadığı için kırılır.

Li ve diğ., (2013) cam elyaf takviyeli poliamid 6 kompozitlerin tribolojik özelliklerine katı yağlayıcı ilavesinin etkisini incelemiştir. Elyaf takviyeli kompozitler yüksek spesifik dayanım ve spesifik modül değerlerine sahip oldukları için aşınma özelliklerinin ön planda olduğu uygulamalarda tercih edilirler. Bununla birlikte bu aşınma özelliklerinin etkinliğini arttırmak için PTFE, UHMWPE, grafit, MoS₂, HBN ve borik asit gibi katı yağlayıcılar eklenebilir. Katı yağlayıcılar oluşan transfer filmi ile aşındırıcı arasındaki bağ dayanımını arttırarak tribolojik özellikleri iyileştirir. Cam elyaf ilavesiyle birlikte kompozitin sürtünme katsayısı değeri azalmıştır. Bununla birlikte cam elyaf takviyeli kompozite katı yağlayıcı ilavesiyle birlikte sürtünme katsayısı değerleri daha da düşmüştür. Bunun sebebi katı yağlayıcıların üniform ve sürekli bir transfer filmi oluşmasına katkı sağlamasıdır. Ayrıca katı yağlayıcı ilavesiyle birlikte malzeme yüzeyindeki kayma gerilmesi değeri azalır ve bu da sürtünme katsayısı değerini düşürür.

Hassan ve diğ., (2011) cam elyaf takviyeli polipropilenin DSC, DMA ve mekanik özelliklerine bağlama ajanı etkisini incelemiştir. Cam elyaf takviyesiyle kristalizasyon derecesinin azaldığını belirtmişlerdir. Bunun sebebini şöyle açıklamaktadırlar; cam elyaf takviyesi, polimer zincirlerindeki lineer kristallenebilir sıraları kesmektedir ve kristalizasyon derecesi daha fazla esnek amorf bölge belirterek azalmaktadır. Bununla birlikte kullanılan bağlama ajanı ile kristalizasyon derecesi artmıştır. Bunun sebebi bağlama ajanı varlığında matrisin çekirdeklenmesinin iyileşmesidir. Depo modülü malzemenin yük taşıma kapasitesi ile yakından alakalıdır ve eğilme modülü ile benzer özellikler göstermektedir. Elyaf ilavesiyle birlikte depo modülü değeri artmaktadır. Bunun sebebi, arayüzeydeki gerilim transferi derecesinin artması ve bu sayede malzemenin bükülmezliğinin artmasıdır. Bununla birlikte bağlama ajanı kullanılmasıyla depo modülü değeri azalmıştır. Bunun sebebi, bağlama ajanı kullanımının iyi bir matris-elyaf yapışması için uygun olmaması ve arayüzeydeki gerilim transferi etkinliğini azaltmasıdır

şeklinde açıklanmıştır. Elyaf takviyesiyle birlikte çekme dayanımı değeri azalmıştır. Bunun sebebi zayıf olan matris fiber arayüzey yapışması ile açıklanmıştır. Arayüzey zayıf olduğunda matristen elyafa gerilim transferi etkili bir şekilde gerçekleşmez. Arayüzeyde zayıf bir yapışma olduğunda takviye elemanları arayüzeydeki kusurları arttırır ve dayanımı azaltır. Modül değeri cam elyaf takviyesi ile artmıştır. Elyaf polimerlere göre rijit malzemelerdir ve modül değerini arttırırlar. Eğilme dayanımı değerleri elyaf takviyesiyle artmıştır. Bunun sebebi gevrek ve tok bir malzeme olan cam elyafın ilavesiyle kompozitin de bükülmezliğinin artmasıdır. Bağlama ajanı ilavesiyle eğilme modülü değeri azalmıştır. Bu sonuç DMA sonuçları ile örtüşmektedir. Bağlama ajanı iyi bir matris-elyaf arayüzey yapışması için yeterli değildir ve arayüzeydeki gerilim transferi etkinliğini azaltır.

Ramesh ve diğ., (2013) sisal, jute (hint kenevir) ve cam elyaf takviyeli poliester kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit malzemeler yüksek çekme dayanımı, düşük termal genleşme, yüksek dayanım/ağırlık oranı gibi özellikler sebebiyle geleneksel malzemelerin yerine kullanılmaya başlamıştır. Özellikle doğal olan sisal ve jute fiber takviyeli polimer kompozitler yüksek spesifik dayanım, düşük ağırlık ve biyobozunabilirlik özellikleri sebebiyle ilgiyi her geçen gün üzerilerine çekmektedirler. Bu çalışmada cam elyaf takviyeli kompozitlere sisal ve jute fiber ilavesinin çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Arayüzey özellikleri, iç çatlaklar ve kırılan yüzeylerin iç yapısı SEM analizi ile incelenmiştir. Sonuçlar sisal ve jute fiber ilavesinin özellikleri iyileştirdiğini göstermektedir. Jute fiber içeren kompozitlerin en iyi çekme dayanımı değerini verdiği belirtilmiştir. Jute ve sisal fiberi birlikte içeren kompozitin en iyi eğilme dayanımı değerini verdiği belirtilmiştir. Maksimum darbe dayanımı sisal fiber içeren kompozitlerde elde edilmiştir. SEM analizine göre kırılan yüzeylerde iç çatlaklar ve kırılmalar gözlenmiştir.

Chen ve diğ., (2014) cam elyaf ve grafen oksit takviyeli yüksek performanslı polimer kompozitlerin özelliklerini incelemişlerdir. Cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin arayüzey özelliklerini iyileştirmek için grafen oksit (GO) eklenmiştir. Bu sayede cam elyaf ile matris arasındaki arayüzey dayanımı ve tokluğu iyileştirmiştir. Cam elyaf ile polimer arasındaki arayüzey yapışması zayıf ıslanabilirlik sebebiyle kötü olma eğiliminde olabilmektedir. Bu arayüzey

yapışmasını iyileştirmek için GO eklenebilir. Yapılan mekanik test sonucunda GO ilavesiyle cam elyaf ile matris arasındaki arayüzeyin iyileştiği ve mekanik özelliğın arttığı belirtilmiştir.

Jia ve diğ., (2005) karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin kuru kayma ve su yağlama altındaki aşınma davranışını incelemişlerdir. Su ile yağlanmış aşındırıcı ile yapılan testlerde, kuru kayma altında yapılan testlere göre daha düşük sürtünme katsayısı ve daha iyi aşınma direnci elde edilmiştir. Adhezif aşınmada polimerde oluşan transfer filmi bir yağlayıcı gibi rol alarak kompozitin sürtünme katsayısını düşürür.

Karsli ve Aytac, (2013) kısa karbon fiber takviyeli poliamid 6 kompozitlerin çekme ve termomekanik özelliklerini incelemişlerdir. Mekanik test sonuçlarına göre artan karbon fiber oranıyla çekme dayanımı, modül ve sertlik değerleri artarken kompozitlerin kopma uzaması değerleri azalmıştır. DSC sonuçlarına göre T_g ve T_m değerleri karbon fiber ilavesiyle önemli bir şekilde değişmemiştir. Bununla birlikte relatif kristalinite derecesi azalmıştır. DMA sonuçlarına göre kompozitlerin depo modülü değerleri artmıştır.

Dong ve diğ., (2012) cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli epoksi hibrit kompozitlerin eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla kompozitlere üç nokta eğilme testi uygulamışlardır. Kompozitlerin eğilme modülü ve eğilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Yüksek eğilme dayanımına sahip karbon elyaf ve cam elyaf ilavesiyle birlikte kompozitin de eğilme dayanımı değerleri artmıştır.

Rezaei ve diğ., (2009) kısa karbon fiber takviyeli polipropilen kompozitlerin termomekanik özelliklerine fiber boyunun etkisini incelemişlerdir. Kompozitlerin termal kararlılığı TGA analizi ile sönümlene özellikleri DMA analizi ile belirlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre fiber boyunun artmasıyla birlikte kompozitlerin termal kararlılığı ve sönümlene özellikleri iyileşmiştir. TGA sonuçlarında meydana gelen bu artışın karbon fiberin ısı tutma kapasitesinin polipropilenden daha yüksek olmasına bağlanmıştır. Depo modülünde meydana gelen artış ise karbon fiberin moleküler zincir hareketlerini sınırlandırmasına bağlanmıştır.

Qin ve diğ., (2015) karbon fiber takviyeli epoksi kompozitlere grafen nanoplatelet takviyesinin mekanik ve elektriksel özelliklere etkisini incelemişlerdir. Grafen ilavesiyle birlikte kompozitin eğilme dayanımı ve tabakalararası kayma dayanımı değerleri artmıştır. Bununla birlikte kompozitin elektrik iletkenliğinde de iyileşme sağlanmıştır. Grafenin ilavesiyle birlikte matris içerisinde homojen bir dağılım sergilenmiş ve bu sayede matris ile elyaf arasındaki arayüzey yapışması iyileşmiştir. Bunun sonucunda da mekanik özelliklerde iyileşme olmuştur. Elektrik iletkenliğinin artmasının sebebi ise grafenin sahip olduğu yüksek iletkenlik kabiliyetidir. Bu kabiliyeti ile matris ile elyaf arasında iletkenlik yolları oluşturmuştur.

2.6. Hibrit Kompozitlerin İncelendiği Çalışmalar

Lin ve diğ., (2012) polieterketon polimere, karbon elyaf ve nano zirkonyum oksit ilavesinin eş zamanlı olarak eklenmesiyle hibrit etkinin mekanik ve aşınma özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçlara göre partikül ve elyaf takviyesinin eş zamanlı ilavesi çekme dayanımı ve modül değerlerini arttırmıştır. Hibrit kompozitlerde partikül takviyesinin etkisi çok önemlidir. Partikül takviyesi ve elyaf takviyesi arasındaki sinerjik etki sebebiyle aşınma özellikleri daha da iyileşmiştir.

Pedrazzoli ve diğ., (2014) epoksi kompozitlerin arayüzey ve mekanik özelliklerine grafit ve cam elyaf ilavesinin sinerjik etkilerini incelemişlerdir. Grafit eklenmesiyle birlikte cam elyaf ve epoksi arasında daha güçlü bir arayüzey oluşmasına olanak sağlanmıştır. Hibrit kompozitlerde matris-elyaf arasında partiküller yer almış ve arayüzey özelliklerinin gelişmesiyle birlikte çekme modülü, çekme dayanımı, darbe direnci iyileşmiştir. Bu da, daha hafif daha güçlü kompozitlerin elde edilmesini sağlamıştır. Cam elyaf-epoksi kompozitlere grafit ilavesiyle birlikte güçlü bir grafit-matris etkileşimi oluşmuş ve polimer zincirlerinin kısıtlanması sebebiyle depo modülü ve viskoelastik özellikler iyileşmiştir. Sonuç olarak hibrit takviyesi, iyileşmiş mekanik özelliklere sahip daha hafif kompozitlerin elde edilmesini sağlamıştır. Arayüzey yapışmasının iyi olmasıyla birlikte, kompozit daha iyi mekanik ve viskoelastik özellikler sergiler ve matris ile takviye elemanı arasındaki kimyasal afinite daha fazla olur. Cam elyaf-epoksi kompozitlere grafit ilavesiyle çekme dayanımı ve modül artarken kopma uzaması azalmıştır. Bu durum partikül takviyesiyle birlikte matrisin daha gevrek hale geldiğini gösterir. Partikül

takviyesinin hibrit kompozitte mekanik özellikleri iyileştirmesi, matris ve elyaf arasında arayüzey kayma dayanımını artırarak, arayüzeyde daha iyi gerilim transferi olmasını sağlar. Artan sıcaklıkla birlikte polimer zincirlerinin daha hareketli hale gelmesi sebebiyle depo modülü ve viskozite düşer. Camsı geçiş sıcaklığının üstündeki düşüş, elastik-katı davranıştan viskoz-sıvı davranışa geçiş olarak açıklanır.

Cho ve Bahadur, (2005) bakır oksit ve elyaf takviyeli polifenilen sülfid kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemiştir. %1 ve %4 arasında kısa karbon elyaf ve aramid elyaf kullanırlarken, %5 ve %15 arasında partikül takviyesi kullanmışlardır. Partikül takviyesi ile elyaf takviyesinin eş zamanlı yapılmasıyla tribolojik davranış modifiye edilmiş ve aşınma oranı azalmıştır. Transfer filmi oluşumu iyileşmiş, sürtünme katsayısı düşmüştür. Partikül takviyesi daha üniform ve tutarlı transfer filmi oluşumu sağlamıştır. Transfer filmi oluşmasıyla birlikte aşındırıcı partikül yüzeyindeki sertlikler, aşınan partikül yüzeyi çok fazla deforme edemez ve aşınma oranı azalır. Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı aramid elyaf takviyeli kompozitlere göre iki kat daha düşüktür. Çünkü karbonun yağlama etkisi bulunmaktadır. Aşınma oranı ve sürtünme katsayısı kompozit ile aşındırıcı arayüzeyindeki transfer filmi oluşumu ile yakından ilgilidir. İnce ve sürekli, üniform bir transfer filminin oluşumu aşınma oranını azaltır.

Wang ve diğ., (2010) karbon elyaf ve grafit takviyeli poliimit kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı ilavesiyle birlikte tribolojik özelliklerin iyileştiğini belirtmişlerdir. Polimerler tribolojik özelliklerinin iyileşmesi için elyaflar ve katı yağlayıcılar ile takviye edilebilirler. Grafitler tabakalı bir yapıya sahiptir ve bu tabakalar arasında zayıf van der Waals bağları bulunur. Bu bağlar kayma kuvvetleri altında kolayca kırılırlar. Bu durum grafitin matriste bir yağlayıcı gibi davranarak sürtünme katsayısını azaltmasına sebep olur.

Szakacs ve Meszaros, (2018) bazalt ve karbon elyaf takviyeli poliamit 6 hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerine karbon nanotüplerin sinerjik etkilerini incelemiştir. Karbon nanotüp ilavesiyle çekme özellikleri iyileşmiştir. Bu iyileşmenin sebebi karbon nanotüpün düzenli bir şekilde dağılmasıdır. Hibritlemenin amacı, fonksiyonel özellikleri destekleyerek kompozitin dayanım özelliklerini

iyileştirmektir. Partiküller elyaf ile matris arasındaki bağlanmanın daha iyi olmasını sağlayabilir. Matris ile elyaf arasına giren partiküller yük transferini iyileştirir. Bu da kompozitin tabakaları arasındaki kayma dayanımını iyileştirir. Sadece partikül ilavesiyle birlikte çekme dayanımı değerleri bir miktar düşmüştür. Bunun sebebi partiküllerin yapı içerisinde iyi bir şekilde dağılamamalarıdır. Bazalt elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozitlere partikül takviyesi ile birlikte çekme dayanımı değerleri daha da artmıştır. Bu durum elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı ilavesiyle ortaya çıkan sinerjik etki sebebiyledir. Elyaf takviyesi partiküllerin yapıda daha homojen dağılmalarını sağlamıştır. DSC sonuçlarına göre kristalinite derecesi partikül takviyesi ile azalmıştır. Ancak elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı olması durumunda artmıştır. Partikül takviyesi çekirdeklenme ajanı gibi davranabilir, bu durumda kristalinite oranını artırır. Ancak öte yandan, iyi dağılmış partiküller kristal büyümesini engelleyebilirler.

Li ve diğ., (2011) poli vinil alkol (PVA) matrise karbon nanotüp (CNT) ve grafen oksit (GO) nano partiküllerini eş zamanlı ilave ederek kompozitin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Optik görüntüleme sonucunda PVA matristeki CNT dağılımının GO ilavesiyle birlikte iyileştiği görülmüştür. GO-CNT etkileşimi kuvvetli bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu nedenle CNT'ün aglomera olmasının üstesinden gelinmiştir. CNT ve GO'in birlikte kullanılmasıyla oluşan sinerjik etki durumu kompozitin sadece CNT ya da GO içermesine göre çekme dayanımı ve young modülü gibi mekanik özellikleri iyileştirmiştir. Bu iyileşme GO ve CNT'ün iyi bir şekilde dağılım sergilemesinden kaynaklanmaktadır. GO kompozit içerisinde dağıtma ajanı olarak rol almıştır.

Guo ve diğ., (2009) nano silisyum dioksit (SiO_2) ve kısa karbon fiber takviyeli epoksi hibrit kompozitlerin kayma aşınması performansını incelemişlerdir. Karbon elyaf ve SiO_2 'in birlikte ilavesiyle birlikte nano- SiO_2 ve matris arasındaki arayüzey etkileşimi iyileşmiştir. Kompozitin aşınma özelliklerindeki iyileşmeyle birlikte pozitif sinerjik etkinin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Nano- SiO_2 'in yağlayıcı etkisi sebebiyle iyi bir transfer filmi oluştuğu ve iyi aşınma direnci ile düşük sürtünme davranışı sergilendiği belirtilmiştir. SiO_2 yüzeyine uygulanan işlem ile birlikte takviye elemanı ile matris arasındaki arayüzey etkileşiminin dayanımı artmıştır.

Jiang ve diğ., (2003) poli(vinil klorit) (PVC) matrisli ahşap talaşı ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Darbe dayanımında cam elyaf ile ahşap talaşı arasında hibrit etki sebebiyle üç boyutlu bir ağ yapısı oluştuğu için önemli bir iyileşme sağlanmıştır.

Arrakhiz ve diğ., (2013) çam kozalağı elyafı ve kil içeren polipropilen matrisli hibrit kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Takviye elemanı ile matris arasındaki ıslanabilirliğin artması için fiberlere bağlama ajanı eklenmiştir. Çekme ve sertlik testleri yapılmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre young modülü artarken çekme dayanımı değeri sabit kalmıştır. Yüksek oranlarda kil ilavesiyle sertlik değeri azalmıştır. Termal bozunma sıcaklığı fiber eklenmesiyle azalmıştır. Bu durum düşük termal bozunma sıcaklığına sahip fiber ilavesiyle beklenen bir sonuçtur. TGA sonuçlarına göre yüksek termal kararlılığa sahip kil ilavesiyle termal bozunma sıcaklığı artmıştır. Elyafalara alkali işlem yapılmasıyla fiberlerin yüzeyindeki kirlilikler (impurity) azalmış ve matris ile elyaf arasındaki arayüzeydeki mikro boşluklar (microvoids) minimize edilmiştir. Ayrıca bağlama ajanı kullanılmasıyla polimer ile elyaf arasında ester bağı gibi kimyasal bir etkileşim oluşmuştur. Kil ilavesiyle kompozitin modülü artmıştır. İnorganik partiküllerin rijitliğinin organik polimerlere göre çok yüksek olduğu bilinmektedir. Kil, matris içerisinde düşük bir dağılım sergilediği için sertlik değerini azaltmıştır. SEM analizi sonuçlarına göre kil ve fiberin birlikte ilavesiyle matris içerisinde iyi bir arayüzey etkileşimi sergilediği ve iyi bir dağılım gösterdiği görülmüştür.

Arun ve Rajadurai, (2016) cam elyaf ve hematit (demir oksit) partikülleri takviyeli epoksi matrisli hibrit kompozitlerin termo-mekanik özelliklerini incelemiştir. Partiküllerin daha iyi dağılması ve takviye elemanları ile matrisin yapışmasını iyileştirmek için fiberlerin ve partiküllerin yüzeyine silanlama işlemi yapılmıştır. Çekme testi, eğme testi, darbe testi ve sertlik ölçümü gibi mekanik testler uygulanmıştır. Kompozitlerin termal davranışı TGA, DSC ve ısı iletkenlik testi ile belirlenmiştir. Yüzey silanlama işlemi ile birlikte takviye elemanlarının yapı içerisinde iyi bir dağılım sergilediği belirtilmiştir. Mekanik özellikler artmıştır. Termal kararlılık artmıştır. Bununla birlikte hematit oranının artmasıyla matrisin termal iletkenliği artmıştır.

Rout ve Satapathy, (2012) pirinç kabuğu ve cam elyaf takviyeli epoksi hibrit kompozitlerin mekanik ve tribolojik performansını incelemişlerdir. Hibrit ilaveyle birlikte kompozitlerin sertlik, çekme modülü ve darbe enerjisi değerleri iyileşmiştir. Ancak cam elyaf takviyeli kompozite pirinç kabuğu ilavesi çekme dayanımı değerini düşürmüştür. Bunun sebebi, pirinç kabuğu ile matris arasındaki zayıf kimyasal bağ dayanımı nedeniyle zayıf çekme yükü transferi ya da partiküllerin keskin köşeli şekillere sahip olması nedeniyle matriste gerilme yığılması bölgeleri oluşturması olarak açıklanmıştır



3. MALZEMELER VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

Kompozit üretimi amacıyla kullanılan malzemelerin detaylı özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri

Malzeme	Ticari Adı/Firma	Özellikleri
TPE	Hytrel 7246 / Dupont	Form: Pelet Yoğunluk: 1,26 g/cm ³ Erime sıcaklığı: 218 °C Kalıp sıcaklığı: 45 °C Camsı geçiş sıcaklığı: 25 °C Enjeksiyon kalıplama için uygundur.
Bazalt Elyaf	Bazalt Elyaf/Tila Kompozit	Çekme dayanımı: 3000-3840 MPa Çekme modülü: 93-110 GPa Uzama: % 3,1-6,0 Yoğunluk: 2,65-2,80 g/cm ³ Fiber uzunluğu: 3 mm
Cam Elyaf	PA1/Cam Elyaf A.Ş.	Çekme dayanımı: 3400-3700 MPa Çekme modülü: 72-77 GPa Uzama: % 3,3 – 3,8 Yoğunluk: 2,52 – 2,6 g/cm ³ Fiber uzunluğu: 4 mm
Karbon Elyaf	AC0101/Aksaca – Dowaksa İleri Kompozit Malzemeler	Çekme dayanımı: 4200 MPa Çekme modülü: 240 GPa Uzama: % 1,8 Yoğunluk: 1,76 g/cm ³ Fiber uzunluğu: 6 mm
Hegzagonal Bor Nitür	Nano HBN/BORTEK Bor Teknolojileri ve Mekatronik San. Tic. A.Ş.	Form: Toz Partikül boyutu: Nano Yoğunluk: 2,27 g/cm ³ Erime sıcaklığı: 2730 °C
Borik Asit	Borik Asit (H ₃ BO ₃ Orthoboric Acid) / ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü	Form: Toz Partikül boyutu: 0,125 mm – 1,000 mm Yoğunluk: 1,435 g/cm ³ Erime sıcaklığı: 171 °C
Silan	(3-Aminopropyl)tri-ethoxysilane, 98% H ₂ N(CH ₂) ₃ Si(OCH ₂ CH ₃) ₃ / Alfa Aesar	Form: Likit (Sıvı) Yoğunluk: 0,948 g/cm ³ Kaynama sıcaklığı: 217 °C Molekül ağırlığı: 221,37 Flash (parlama) sıcaklığı: 104 °C Görünüş (renk): Şeffaf renksiz Çözünürlük (solubility): Toluene, acetone (aseton), chloroform (kloroform) ve ethanol ile karıştırılabilir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Silanlama işlemi

Tez kapsamında hegzagonal bor nitrür (HBN), borik asit (BA) ve bazalt elyaf (BF) yüzeylerinin yüzey fonksiyonelliğinin artırılması amacıyla silanlama faaliyeti gerçekleştirilmiştir.

Silanlama işlemi sonucunda yüzey fonksiyonelliğini arttıran optimum silan miktarına karar verebilmek amacıyla silanlama prosesini meydana getiren parametreler değiştirilmiş ve en uygun parametreye/parametrelere karar verilmesine çalışılmıştır.

Hegzagonal bor nitrür, borik asit ve bazalt elyaf yüzeylerinin yüzey fonksiyonelliklerinin artırılması amacıyla gerçekleştirilen silanlama prosesinin her bir takviye malzemesi için optimize edilmesi sürecinde birçok parametrenin değiştirilmesi suretiyle farklı proses şartları denenmiştir. Bu bağlamda her bir takviye malzemesi için uygulanan silanlama proseslerinin ayrıntıları aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

3.2.1.1. Bazalt elyaf yüzeyinin silanlanması

Bazalt elyaf yüzeyinin silanlanması prosesinin detayları ve bu proseste değiştirilen parametreler ile bu parametrelerin sayısal değerleri Tablo 3.2’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

İlk olarak, firmadan satın alınan bazalt elyafa değişen sıcaklık değeri ve zaman aralığında yüksek sıcaklık fırınında ısıtılmak suretiyle (Tablo 3.2’de 2. sütun) ön işlem uygulanmıştır. Diğer taraftan, 50 ml saf su ve 50 ml etanol’den oluşan toplamda 100 ml’lik bir çözelti hazırlanmıştır (Tablo 3.2’de 3. sütun). Ardından değişen miktarlarda silan kullanılarak (Tablo 3.2’de 4. sütun) silan/etil alkol/su çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıda değişen sıcaklıklarda (Tablo 3.2’de 5. sütun) 15 dakika karıştırılmıştır. Karıştırmanın sonunda çözeltilere değişen miktarlarda BF eklenmiş (Tablo 3.2’de 7. sütun) ve karışım değişen sürelerde (Tablo 3.2’de 6. sütun) bekletilmiştir. Son olarak BF içeren çözelti süzgeç kağıdına aktarılmış ve 3 defa etanol ile yıkanarak süzölmeye bırakılmıştır (Tablo 3.2’de 8. sütun). Süzölen bazalt elyaf önce 24 saat boyunca oda

sıcaklığında kurumaya bırakılmış ardından 12 saat boyunca 80 °C’de vakum altında kurutulmuştur.

Tablo 3.2. Bazalt elyaf silanlama prosesine ait proses parametreleri

Numune Kodu	Ön İşlem	Çözelti Bileşenleri	Silan Miktarı	Silanlama Prosesi Sıcaklığı	Karıştırma/Bekletme	Silanlanacak Takviye Malzemesi Miktarı	Son İşlem
BF	350 °C’de 2 saat bekletildi.	Yok	Yok	Yok	Yok/Yok	Yok	Yok
BF_1	500 °C’de 1 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	Yok/3 saat	5 g	-3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. -24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C’de vakum altında kurutuldu.
BF_2	- 500 °C’de 1 saat bekletildi. - 80 °C’de %5’lik NaOH çözeltisinde 2 saat bekletildi. - 100 ml %2’lik asetik asit çözeltisi ve 100 ml saf su ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında, 6 saat 80 °C’de kurutuldu.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	Yok/3 saat	5 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C’de vakum altında kurutuldu.
BF_3	500 °C’de 1 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	5 ml	75 °C	Yok/3 saat	5 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C’de vakum altında kurutuldu.
BF_4	- 500 °C’de 1 saat bekletildi. - 80 °C’de %5’lik NaOH çözeltisinde 2 saat bekletildi. - 100 ml %2’lik asetik asit çözeltisi ve 100 ml saf su ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında, 6 saat 80 °C’de kurutuldu.	50 ml saf su + 50 ml etanol	5 ml	75 °C	Yok/3 saat	5 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C’de vakum altında kurutuldu.
BF_5	350 °C’de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	50 °C	Yok/1 saat	10 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C’de vakum altında kurutuldu.

Tablo 3.2. (Devam) Bazalt elyaf silanlama prosesine ait proses parametreleri

Numune Kodu	Ön İşlem	Çözelti Bileşenleri	Silan Miktarı	Silanlama Prosesi Sıcaklığı	Karıştırma/Bekletme	Silanlanacak Takviye Malzemesi Miktarı	Son İşlem
BF_6	350 °C'de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	5 ml	50 °C	Yok/1 saat	10 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
BF_7	350 °C'de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	5 ml	25 °C	Yok/1 saat	10 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
BF_8	350 °C'de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	Yok/1 saat	20 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
BF_9	350 °C'de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	Yok/1 saat	5 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
BF_10	350 °C'de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	Yok/1 saat	15 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
BF_11	350 °C'de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	25 °C	Yok/1 saat	10 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
BF_12	350 °C'de 2 saat bekletildi.	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	Yok/1 saat	10 g	- 3 defa 50 ml etanol ile yıkanarak süzüldü. - 24 saat oda sıcaklığında 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.

Bazalt elyafın, hazırlanan silan/etil alkol/su çözeltisinde bekletilmesine ait bir görsel Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Bazalt elyafın silan çözeltisinde bekletilmesi

Silanlanmış bazalt elyafın süzgeç kağıtlarıyla süzülmesine ait bir görsel Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Silanlanmış bazalt elyafın süzgeç kağıtları ile süzülmesi

Silanlama işleminden sonra kurutulmuş bazalt elyaflara ait bir görsel Şekil 3.3’te görülmektedir.



Şekil 3.3. Silanlama işlemi sonrası kurutulmuş bazalt elyaf

3.2.1.2. Hegzagonal bor nitrür yüzeyinin silanlanması

Hegzagonal bor nitrür yüzeyinin silanlanması prosesinin detayları ve bu proseste değiştirilen parametreler ile bu parametrelerin sayısal değerleri Tablo 3.3'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

50 ml saf su ve 50 ml etanol'den oluşan toplamda 100 ml'lik bir çözelti hazırlanmıştır (Tablo 3.3'te 3. sütun). Ardından değişen miktarlarda silan kullanılarak (Tablo 3.3'te 4. sütun) silan/etil alkol/su çözeltisi hazırlanmıştır.

Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıda 15 dakika karıştırılmıştır. Karıştırmanın sonunda çözeltiye değişen miktarlarda hegzagonal bor nitrür eklenmiş (Tablo 3.3'te 7. sütun) ve karışım değişen sürelerde (Tablo 3.3'te 6. sütun) karıştırılmıştır.

Son olarak hegzagonal bor nitrür içeren çözelti süzgeç kağıdına aktarılmış ve etanol ile yıkanarak süzölmeye bırakılmıştır (Tablo 3.3'te 8. sütun). Süzölen hegzagonal bor nitrür önce 24 saat boyunca oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ardından 12 saat boyunca 80 °C'de vakum altında kurutulmuştur.

Tablo 3.3. Hegzagonal bor nitrür silanlama prosesine ait proses parametreleri

Numune Kodu	Ön İşlem	Çözelti Bileşenleri	Silan Miktarı	Silanlama Prosesi Sıcaklığı	Karıştırma/Bekletme	Silanlanacak Takviye Malzemesi Miktarı	Son İşlem
HBN	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok/Yok	Yok	Yok
HBN_1	- 2 saat 80°C'de %5'lik NaOH çözeltisinde bekletildi. - %2'lik asetik asit çözeltisi ve saf su ile yıkanarak süzülür. - 24 saat oda sıcaklığında ve 6 saat 80°C'de vakum altında kurutuldu.	50 ml saf su + 50 ml etanol	5 ml	75 °C	3 saat/Yok	5 g	- 100 ml etanol ve 100 ml saf su ile yıkanarak süzülür. - 24 saat oda sıcaklığında ve 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
HBN_2	Yok	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	1 saat/Yok	10 g	- 50 ml etanol ile yıkanarak süzülür. - 24 saat oda sıcaklığında ve 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
HBN_3	Yok	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75 °C	1 saat/Yok	5 g	- 50 ml etanol ile yıkanarak süzülür. - 24 saat oda sıcaklığında ve 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.

Hegzagonal bor nitrürün silan/etil alkol/su çözeltisi içerisinde manyetik karıştırıcıda karıştırılmasına ve süzgeç kağıdında süzülmesine ait bir görsel Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. HBN'nin manyetik karıştırıcıda karıştırılması ve süzülmesi işlemi

3.2.1.3. Borik asit yüzeyinin silanlanması

Borik asit (BA) yüzeyinin silanlanması prosesinin detayları Tablo 3.4'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

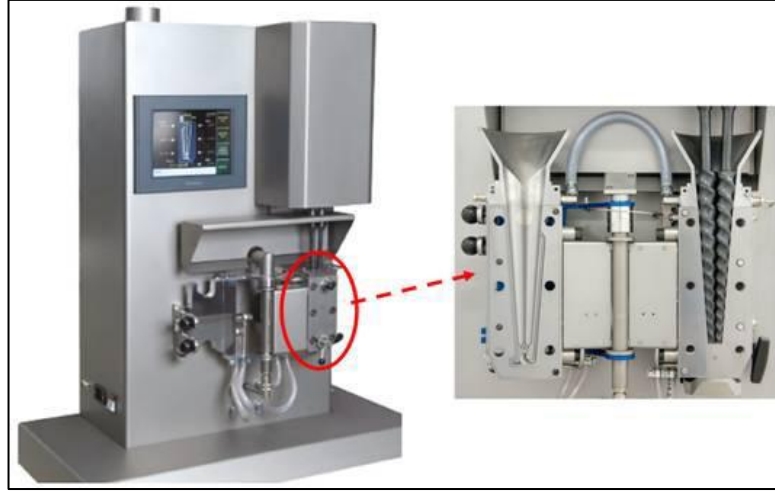
50 ml saf su ve 50 ml etanol'den oluşan toplamda 100 ml'lik bir çözelti hazırlanmıştır (Tablo 3.4'te 3. sütun). Ardından 1 ml silan kullanılarak (Tablo 3.4'te 4. sütun) silan/etil alkol/su çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıda 15 dakika karıştırılmıştır. Karıştırmanın sonunda çözeltiliye 10 g borik asit eklenmiştir. Son olarak borik asit içeren çözelti süzme işlemi uygulanmadan petri kabına dökülerek önce oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ardından 12 saat boyunca 80 °C'de vakum altında kurutulmuştur.

Tablo 3.4. Borik asit silanlama prosesine ait proses parametreleri

Numune Kodu	Ön İşlem	Çözelti Bileşenleri	Silan Miktarı	Silanlama Prosesi Sıcaklığı	Karıştırma/Bekletme	Silanlanacak Takviye Malzemesi Miktarı	Son İşlem
BA	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok/Yok	Yok	Yok
BA_1	Yok	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	25 °C	Silan/etanol/su çözeltisi içerisinde 10 ml alınıp borik asit üzerine damlatılmıştır.	10 g	- Oda sıcaklığında çözeltinin buharlaşması beklendi. - 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.

3.2.2. Numune üretimi

Bu çalışmada, kompozitler sadece elyaf içeren, sadece partikül içeren ve elyaf ile partikülü aynı anda içeren (hibrit) bileşimler şeklinde hazırlanmıştır. Kompozit numunelerin üretimi, ekstrüzyon ile eriyikten karıştırma ve enjeksiyon ile kalıplama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eriyikten karıştırma işlemi için Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde bulunan, Kalibrasyon Tarihi: 2017/07, Sertifika No: 2017E5036 ve Simkal kodu: KOÖ1829007 (Simkal Kalibrasyon Merkezi) olan DSM Xplore marka 15 ml'lik karıştırma haznesi bulunan çift vidalı ekstrüzyon cihazı (mikro-harmanlayıcı) kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. DSM Xplore marka mikro harmanlayıcı

Kompozit üretimi öncesinde, TPE 110 °C’de vakum altında 3 saat bekletilmiştir ve böylece yapısındaki nemin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Eriyikten karıştırma sırasında laboratuvar tipi mikro karıştırıcıda karıştırma sıcaklığı 245 °C, karıştırma süresi 3 dk. ve vida hızı 100 rpm olarak belirlenmiştir.

Karıştırma işleminin ardından enjeksiyonla kalıplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde bulunan, Kalibrasyon Tarihi: 2017/07, Sertifika No: 2017E5035 ve Simkal kodu: KOÖ1829006 (Simkal Kalibrasyon Merkezi) olan DSM Xplore marka mikro enjeksiyonla kalıplama cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. DSM Xplore marka enjeksiyonla kalıplama cihazı

Enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle numune üretimi sırasında eriyik sıcaklığı mikro harmanlayıcıdaki ile aynı olurken (245 °C) kalıp sıcaklığı ise 45 °C’de sabit tutulmuştur. Kalıplama basıncı ise 10 bar olacak şekilde ayarlanmıştır.

Üretilen kompozitlerde elyaf yükleme oranı ağırlıkça %10 olarak sabit tutulmuştur. Hegzagonal bor nitrürün kompozit içerisindeki ağırlıkça oranı %1, 5 ve 10 olarak kullanılırken borik asitin kompozit içerisindeki ağırlıkça oranı ise %0,25, 0,5 ve 1 olarak kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin bileşim oranları ve kodları Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5. Numunelerin kodları ve ağırlıkça bileşim oranları

Örn. No	Numune Kodu	Hytrel (TPE) Ağırlıkça %	Bazalt elyaf (BF) Ağırlıkça %	Cam Elyaf (GF) Ağırlıkça %	Karbon elyaf (CF) Ağırlıkça %	Borik asit (BA) Ağırlıkça %	Bor Nitrür (HBN) Ağırlıkça %
1	TPE	100	0	0	0	0	0
2	TPE_0.25BA	99,75	0	0	0	0,25	0
3	TPE_0.5BA	99,5	0	0	0	0,5	0
4	TPE_1BA	99	0	0	0	1	0
5	TPE_si0.25BA	99,75	0	0	0	0,25	0
6	TPE_si0.5BA	99,5	0	0	0	0,5	0
7	TPE_si1BA	99	0	0	0	1	0
8	TPE_1HBN	99	0	0	0	0	1
9	TPE_5HBN	95	0	0	0	0	5
10	TPE_10HBN	90	0	0	0	0	10
11	TPE_si1HBN	99	0	0	0	0	1
12	TPE_si5HBN	95	0	0	0	0	5
13	TPE_si10HBN	90	0	0	0	0	10
14	TPE_BF	90	10	0	0	0	0
15	TPE_siBF	90	10	0	0	0	0
16	TPE_BF_0.25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
17	TPE_BF_0.5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
18	TPE_BF_1BA	89	10	0	0	1	0
19	TPE_BF_si0.25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
20	TPE_BF_si0.5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
21	TPE_BF_si1BA	89	10	0	0	1	0
22	TPE_siBF_0.25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
23	TPE_siBF_0.5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
24	TPE_siBF_1BA	89	10	0	0	1	0
25	TPE_siBF_si0.25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
26	TPE_siBF_si0.5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
27	TPE_siBF_si1BA	89	10	0	0	1	0
28	TPE_BF_1HBN	89	10	0	0	0	1
29	TPE_BF_5HBN	85	10	0	0	0	5
30	TPE_BF_10HBN	80	10	0	0	0	10

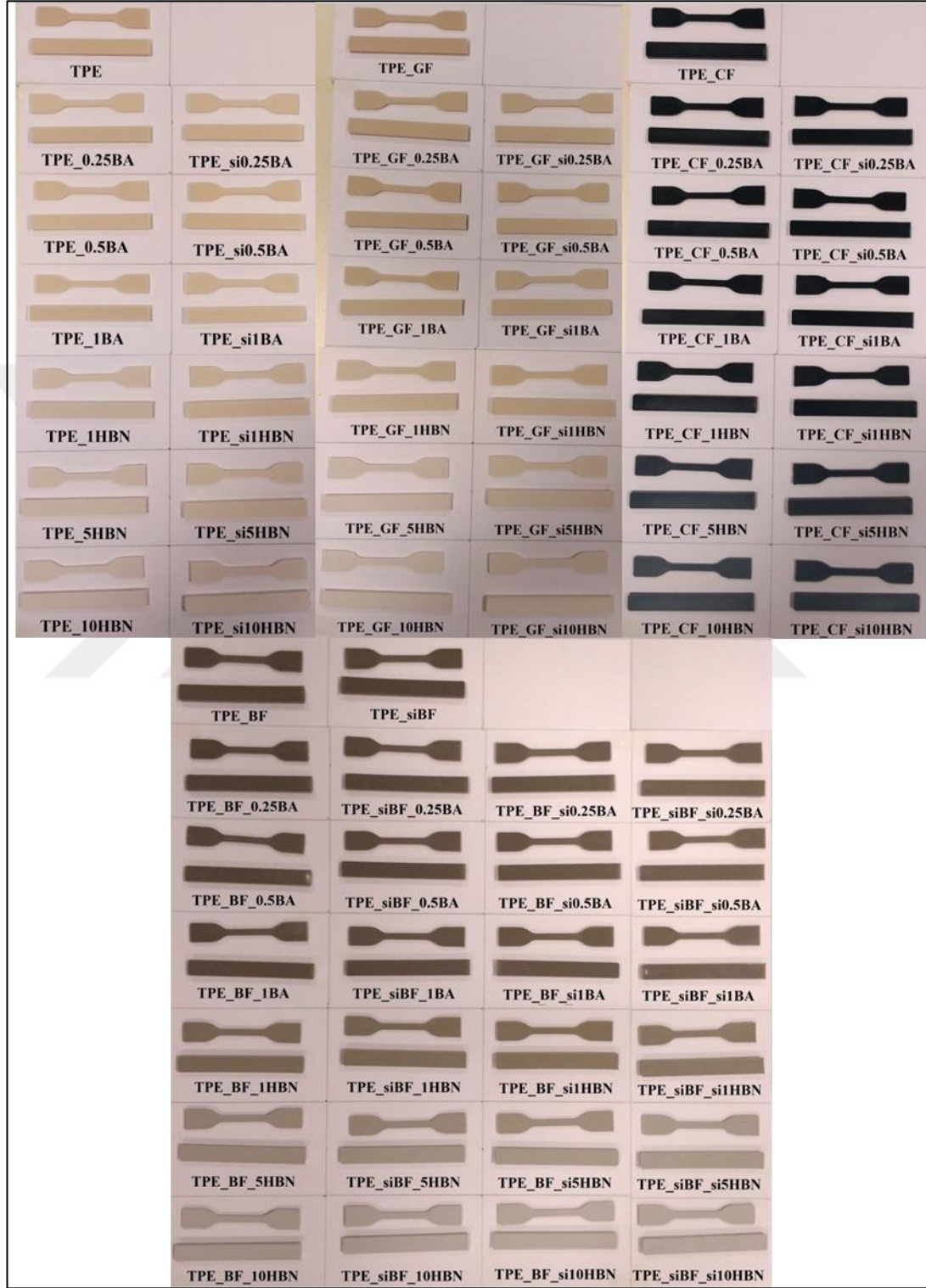
Tablo 3.5. (Devam) Numunelerin kodları ve ağırlıkça bileşim oranları

Örn. No	Numune Kodu	Hytrel (TPE) Ağırlıkça %	Bazalt elyaf (BF) Ağırlıkça %	Cam Elyaf (GF) Ağırlıkça %	Karbon elyaf (CF) Ağırlıkça %	Borik asit (BA) Ağırlıkça %	Bor Nitrür (HBN) Ağırlıkça %
31	TPE_BF_si1HBN	89	10	0	0	0	1
32	TPE_BF_si5HBN	85	10	0	0	0	5
33	TPE_BF_si10HBN	80	10	0	0	0	10
34	TPE_siBF_1HBN	89	10	0	0	0	1
35	TPE_siBF_5HBN	85	10	0	0	0	5
36	TPE_siBF_10HBN	80	10	0	0	0	10
37	TPE_siBF_si1HBN	89	10	0	0	0	1
38	TPE_siBF_si5HBN	85	10	0	0	0	5
39	TPE_siBF_si10HBN	80	10	0	0	0	10
40	TPE_GF	90	0	10	0	0	0
41	TPE_GF_0.25BA	89,75	0	10	0	0,25	0
42	TPE_GF_0.5BA	89,5	0	10	0	0,5	0
43	TPE_GF_1BA	89	0	10	0	1	0
44	TPE_GF_si0.25BA	89,75	0	10	0	0,25	0
45	TPE_GF_si0.5BA	89,5	0	10	0	0,5	0
46	TPE_GF_si1BA	89	0	10	0	1	0
47	TPE_GF_1HBN	89	0	10	0	0	1
48	TPE_GF_5HBN	85	0	10	0	0	5
49	TPE_GF_10HBN	80	0	10	0	0	10
50	TPE_GF_si1HBN	89	0	10	0	0	1
51	TPE_GF_si5HBN	85	0	10	0	0	5
52	TPE_GF_si10HBN	80	0	10	0	0	10
53	TPE_CF	90	0	0	10	0	0
54	TPE_CF_0.25BA	89,75	0	0	10	0,25	0
55	TPE_CF_0.5BA	89,5	0	0	10	0,5	0
56	TPE_CF_1BA	89	0	0	10	1	0
57	TPE_CF_si0.25BA	89,75	0	0	10	0,25	0
58	TPE_CF_si0.5BA	89,5	0	0	10	0,5	0
59	TPE_CF_si1BA	89	0	0	10	1	0
60	TPE_CF_1HBN	89	0	0	10	0	1
61	TPE_CF_5HBN	85	0	0	10	0	5
62	TPE_CF_10HBN	80	0	0	10	0	10
63	TPE_CF_si1HBN	89	0	0	10	0	1
64	TPE_CF_si5HBN	85	0	0	10	0	5
65	TPE_CF_si10HBN	80	0	0	10	0	10

Bu numune kodlarına göre, kodlamada yer alan “si” ifadesi takviye elemanının silanlanmış olduğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte takviye elemanının öncesinde yer alan rakamlar, takviye elemanının kompozit içerisindeki ağırlıkça yüzde oranını ifade etmektedir. Öte yandan, kompozit malzemelerdeki elyaf takviye oranı ağırlıkça %10 olarak sabit tutulduğu için numune kodlamalarında elyaf takviye oranı için herhangi bir rakam belirtilmemiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen kompozit üretimi faaliyeti sonucunda üretilen kompozitlere ait görsel Şekil 3.7’de verilmiştir. ISO-527-2/5A standartına göre dog bone şeklinde üretilen kompozitler çekme testi, aşınma testi, DMA, DSC ve TGA

testleri için kullanılmıştır. Bununla birlikte 80x10x4 mm³ boyutlarında üretilen numuneler ise üç nokta eğme testi ve ısıl iletkenlik analizi için kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Üretilen kompozitlere ait örnekler

3.2.3. Karakterizasyon

3.2.3.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

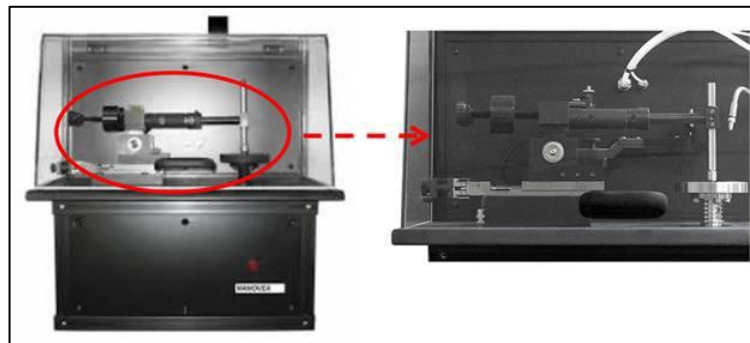
Takviye malzemelerine uygulanan Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy-FTIR) analizi aracılığıyla silanlama prosesinin izlenebilirliği/başarımı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Tüm analizler, Mir Arge (İstanbul) bünyesinde bulunan Thermo Fisher marka FTIR cihazı kullanılarak $400-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Thermo Fisher marka FTIR cihazı

3.2.3.2. Aşınma testi

Bazalt elyaf, cam elyaf, karbon elyaf, hegzagonal bor nitrür ve borik asit takviye malzemelerinin TPE matrise ilavesinin TPE'nin tribolojik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı Konstrüksiyon Laboratuvarı bünyesinde bulunan, “pin-on-disc” tipinde Nanovea marka tribometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Nanovea marka tribometre cihazı

Aşınma testi için, 3 mm yarıçapında aşındırıcı seramik top, bir yük koluna sabitlenirken örnek ise sürtünme yarıçapı 5 mm olan ve dönen bir disk üzerine yerleştirilmiştir. Tüm aşınma testlerinde hız 100 rpm, temas yükü 20 N ve kayma mesafesi 150 m olarak belirlenmiştir. Seramik top ve dönen disk arasındaki sürtünme katsayısı test boyunca ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

3.2.3.3. Çekme testi

Çalışmada üretilmiş kompozitlerin çekme testleri Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde bulunan, Kalibrasyon Tarihi: 2017/07, Sertifika No: 17M04180 ve Simkal kodu: KOÖ0711002 (Simkal Kalibrasyon Merkezi) olan Shimadzu marka AG-X Universal çekme cihazı kullanılarak 5 mm/dk çekme hızında ISO-527-2/5A standartına göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). Örneklerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Shimadzu marka AG-X Universal çekme testi cihazı

3.2.3.4. Üç nokta eğme testi

Örneklere uygulanan üç nokta eğme testleri, Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı Konstrüksiyon Laboratuvarı

bünyesinde bulunan, Kalibrasyon Tarihi: 2010/12, Sertifika No: 10M11548 ve Simkal kodu: KOÖ0711001 (Simkal Kalibrasyon Merkezi) olan Instron marka 4411 model çekme cihazı (Şekil 3.11) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerleri 2 mm/dk eğilme hızında ISO-178 standartına göre belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Instron marka 4411 model çekme testi cihazı

3.2.3.5. Taramalı elektron mikroskobisi (SEM) analizi

Çalışma kapsamında üretilen numunelerde gerçekleştirilmiş olan çekme testi sonucu oluşan kopma yüzeyleri ve aşınma testinin ardından yüzeylerde oluşan aşınma izleri, Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı Konstrüksiyon Laboratuvarı bünyesinde bulunan, Jeol marka JCM-6000 model masaüstü taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir (Şekil 3.12).

Bu analiz ile birlikte polimer matrisli kompozitlerin kırılma yüzeyleri ve aşınma izlerinin morfolojik incelemesi yapılmıştır. Kompozit içerisinde bulunan takviye malzemelerinin polimer matris ile kaplanıp kaplanmadıkları, matris içerisinde homojen bir şekilde dağılıp dağılmadıkları belirlenmiştir.

Ayrıca matristen kopma şekilleri ve ayrılma davranışları incelenmiştir. Bu sayede matris-takviye arasındaki ara yüzey yapışmasının niteliği değerlendirilmiştir.



Şekil 3.12. Jeol marka JCM-6000 model taramalı elektron mikroskobu

3.2.3.6. Isıl iletkenlik katsayısı analizi

Kompozitlerin ısıl iletkenlik katsayılarının belirlenmesi amacıyla, Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) bünyesinde bulunan C-Therm marka ısıl iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı (Şekil 3.13) kullanılmıştır. Numunelerin oda sıcaklığındaki ısıl iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.

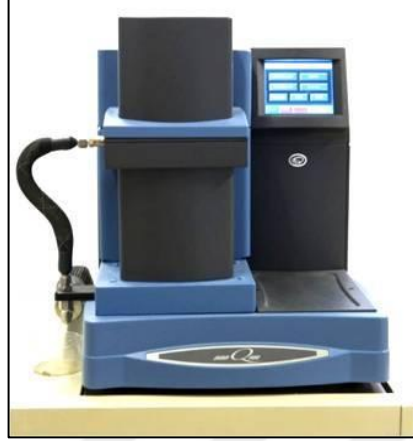


Şekil 3.13. C-Therm marka termal iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı

3.2.3.7. Dinamik mekanik analiz (DMA)

Çalışmada, elyaf ve partikül ilavesinin kompozitlerin viskoelastik özellikleri DMA ile değerlendirilmiştir. Kompozitlere uygulanan dinamik mekanik analiz, Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde bulunan, TA Instruments marka ve Q800 model DMA cihazı kullanılarak üç nokta eğme modunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14). 35 μ m genlik ve 1 Hz

frekans uygulanarak, 25°C ile 95°C aralığında, 10°C/dk ısıtma hızında test edilen kompozitlerin analiz sonucunda depo modülü (E') değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.14.TA Instruments marka Q800 model DMA cihazı

3.2.3.8. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi

Elyaf ve partikül takviyesinin, TPE'nin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve % kristalizasyon derecesi üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla örnekler DSC analizi uygulanmıştır. Bunun için Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde bulunan, TA Instruments marka Q200 model DSC cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.15). Ölçüm 25°C ile 250°C aralığında, 5°C/dakika ısıtma hızı ile yapılmıştır. DSC analizi sonucunda kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) değerleri belirlenmiş ayrıca relatif % kristalizasyon dereceleri Denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır (Karsli ve Aytac, 2013):

$$(X_c)_{rel} = \frac{\Delta H_m}{\omega \times \Delta H_0} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu denklikte “ $(X_c)_{rel}$ ” kompozitin göreceli % kristalizasyon derecesini, “ ΔH_m ” analiz edilen örneğin erime entalpisini, “ ω ” matrisin kompozit içerisindeki ağırlıkça oranını, “ ΔH_0 ” ise takviye malzemesi içermeyen saf TPE'nin erime entalpisini ifade etmektedir.



Şekil 3.15. TA Instruments marka Q200 model DSC cihazı

3.2.3.9. Termogravimetrik analiz (TGA)

Bu çalışmada TGA kullanılarak, elyaf ve partikül takviyesinin TPE'nin ısı bozunma sıcaklığı ve ısı bozunma miktarı üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde bulunan, TA Instruments marka Q500 model TGA cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.16). Ölçümler 25°C ile 600°C arasında 10°C/dakika ısıtma hızında ve azot ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16. TA Instruments marka Q500 model TGA cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde çalışma kapsamında yapılan testlerin sonuçlarına yer verilmiştir ve test sonuçları belirtilmiştir. İlk olarak silanlama işleminin optimizasyonu amacıyla üretilen kompozitlerin çekme testi sonuçları ve silanlanan takviye elemanlarının FTIR analizi sonuçlarına yer verilmiştir. İlerleyen başlıklarda ise belirlenen optimum silanlama prosesleri kapsamında üretimleri gerçekleştirilen kompozitlere uygulanan test sonuçları grafikler ve tablolar halinde ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, detaylı bir şekilde açıklanmış ve tartışılmıştır.

4.1. Silanlama İşleminin Optimizasyonu

Bu başlık altında takviye elemanlarına uygulanan silanlama işleminin çekme testi ve FTIR analizi sonuçları verilmiştir.

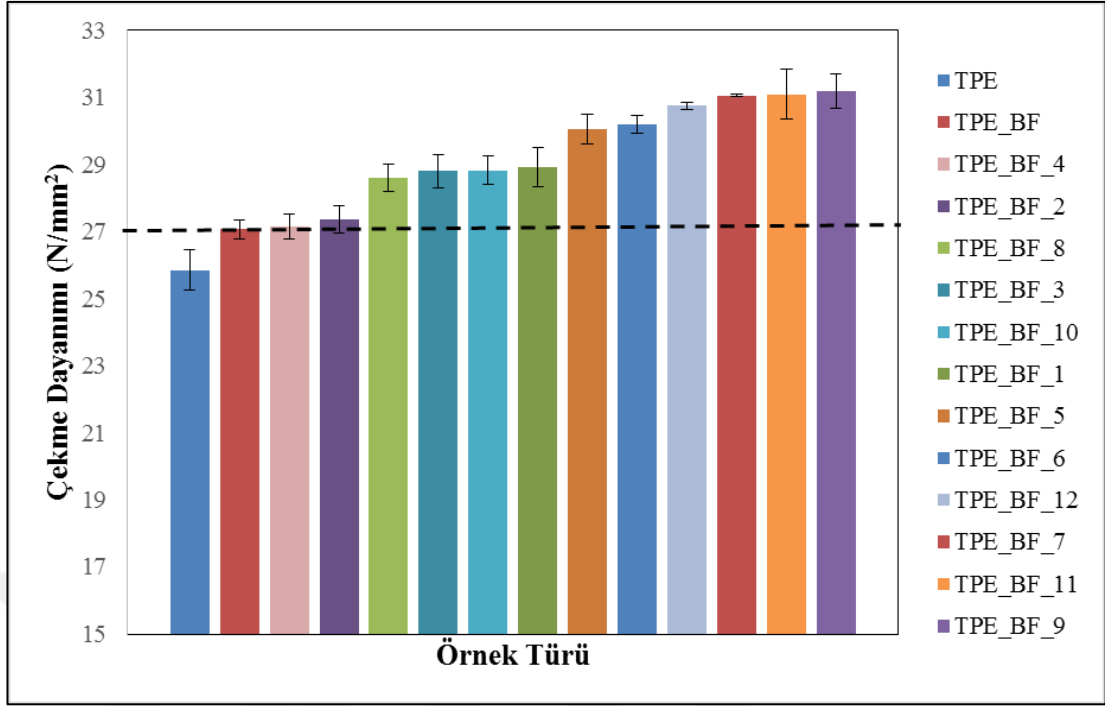
4.1.1. BF silanlama işleminin optimizasyonu

Bu başlıkta farklı parametrelerde silanlanmış bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına yer verilmiş ve çekme testi sonuçlarına göre seçilen bazalt elyaf silanlama prosesinin uygulandığı silanlanmış bazalt elyafın FTIR analizi sonucu verilmiştir.

4.1.1.1. siBF takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Silanlama prosesinin başarımının değerlendirilebilmesi amacıyla üretilen numunelere uygulanan çekme testleri Shimadzu AG-X marka çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve örneklerin çekme dayanımı değerleri 5 mm/dk çekme hızında belirlenmiştir.

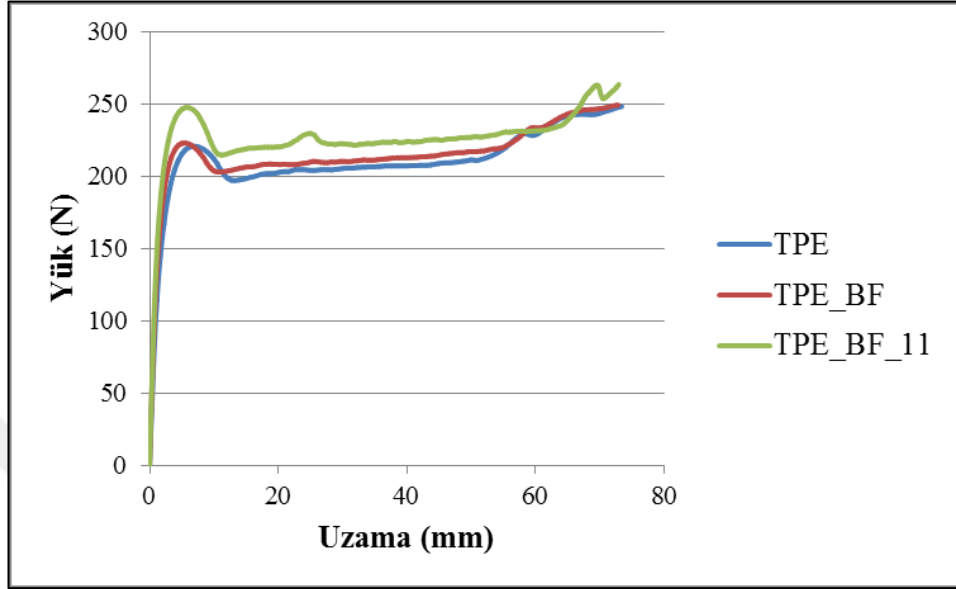
Tablo 3.2’de ayrıntıları verilmiş silanlama prosesi sonucunda elde edilen bazalt fiberler kullanılarak üretilen kompozitlere uygulanan çekme testi sonucunda örneklerin çekme dayanımı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı silanlama parametrelerinin bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi

Şekil 4.1’de verilen çekme dayanımı grafikleri incelendiğinde TPE_BF_4 kodlu numune haricindeki tüm numunelerin çekme dayanımı değerlerinin silanlama prosesi sonucunda arttığı görülmektedir (TPE_BF kodlu numune baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır). Bu artış miktarı en yüksek değerini TPE_BF_9 ve TPE_BF_11 kodlu numunelerde sergilemektedir. TPE_BF_9 kodlu numunede meydana gelen artış %15,3 değerindeyken TPE_BF_11 kodlu numunede %14,9 değerindedir. Dolayısıyla BF için optimum özellikleri sergileyen silanlama proseslerinin Tablo 3.2’de ayrıntıları verilen TPE_BF_9 ve TPE_BF_11 kodlu prosesler olduğu sonucuna varılabilir. Diğer taraftan çekme dayanımında meydana gelen artış miktarlarının yakın olması sebebiyle bu iki proses arasında da bir seçim yapma gerekliliği bulunmaktadır. Buradan yola çıkarak iki proste de incelenen parametreler karşılaştırıldığında her iki proste de aynı silan miktarı kullanılmakla birlikte TPE_BF_9 kodlu proste silanlanan BF miktarının 5 g, TPE_BF_11 kodlu proste ise silanlanan BF miktarının 10 g olduğu görülmektedir. Dolayısıyla aynı silan miktarı kullanılarak daha fazla elyaf silanlanması sonucunda neredeyse aynı performansı sergilemesi sebebiyle bazalt elyafın silanlama prosesi olarak “TPE_BF_11” kodlu prosesin seçilmesine karar verilmiştir.

Buna ek olarak TPE_BF_11 kodlu silanlama prosesi kullanılarak silanlanan BF takviyeli TPE matrisli kompozitin çekme testi sonucunda elde edilen yük-uzama eğrisi Şekil 4.2’de verilmiştir.



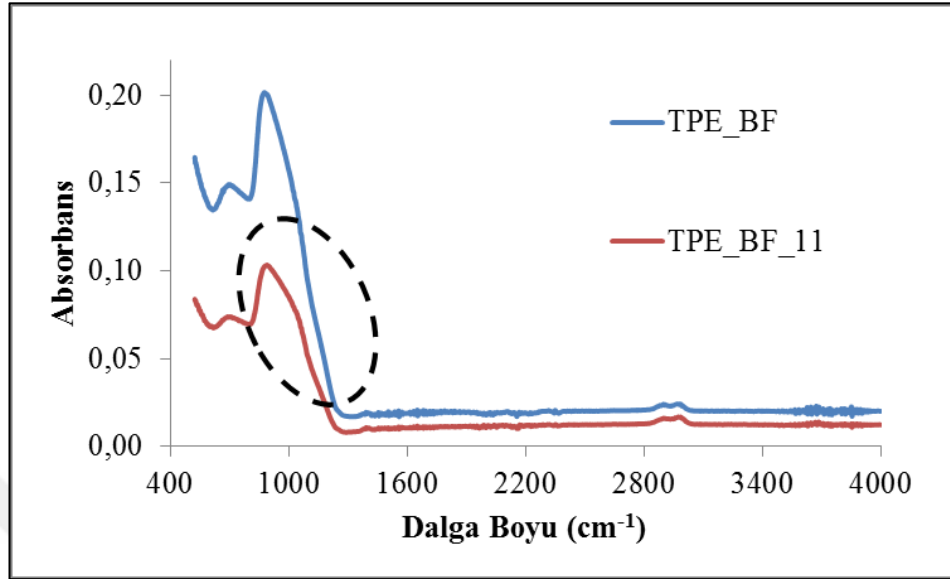
Şekil 4.2. Silanlama prosenin bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin yük-uzama eğrisi üzerine etkisi

Şekil 4.2’de verilen yük-uzama grafiği incelendiğinde işlem görmemiş BF yüzeyine optimum özellikleri sağladığı düşünülen TPE_BF_11 kodlu silanlama prosesi uygulandığında malzeme tarafından taşınan yük miktarının arttığı görülmektedir. Bu durum silanlama prosesi sonucunda elyaf yüzeyinde meydana gelen fonksiyonel grupların sayısının artmasından ve böylece elyaf-matris ara yüzey etkileşiminin iyileşmesinden, dolayısıyla da malzemeye uygulanan yükün daha fazla miktarının ara yüzeydeki etkileşim aracılığıyla matristen elyafa aktarılacak şekilde elyaf tarafından daha fazla yük taşınmasından kaynaklanmaktadır.

4.1.1.2. siBF yüzeyinin FTIR sonuçları

Bazalt elyaf yüzeyine uygulanan TPE_BF_11 kodlu silanlama prosesi sonucunda elyaf yüzeyinde meydana geldiği öngörülen fonksiyonel grupların belirlenebilmesi amacıyla yüzeyi işlem görmemiş ve yüzeyi TPE_BF_11 kodlu proses parametreleri ile işlem görmüş bazalt elyafa FTIR analizi uygulanmıştır. Analiz, Thermo Fisher marka FTIR cihazı kullanılarak 400-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında

gerçekleştirilmiştir. FTIR analizi sonucunda elde edilen spektrum ise Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf yüzeylerine ait FTIR spektrumları

Şekil 4.3'te verilen FTIR spektrumları incelendiğinde, silanlama prosesi sonucunda pik yüksekliğinde azalma meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu azalmanın sebebi işlem görmemiş bazalt elyaf yüzeyinin silanlama prosesi sonucunda bir miktar silan tabakası ile kaplanması ve dolayısıyla elyaf yüzeyine ait karakteristik piklerin şiddetinin azalması olarak yorumlanabilir. Buna ek olarak, silanlanmış bazalt elyafa ait spektrumda 1000-1400 cm^{-1} dalga boyu aralığında bir pik genişlemesi (peak broadening) meydana geldiği yine Şekil 4.3'ten görülmektedir. 1085 ve 1040 cm^{-1} dalga boylarında silana ait Si-O-C ve Si-O karakteristik piklerinin meydana geldiği bilgisinden yola çıkarak Şekil 4.3'te verilen spektrumda meydana gelen pik genişlemesinin silanlama prosesi sonucunda ortaya çıktığı yorumu yapılabilir (Gwon ve diğ., 2010; Kurniawan ve diğ., 2013). Ancak kullanılan silana ait karakteristik piklerin şiddetlerinin düşük olmasının sebebi çalışmada kullanılan silan miktarının düşük olması olarak yorumlanmaktadır.

4.1.2. HBN silanlama işleminin optimizasyonu

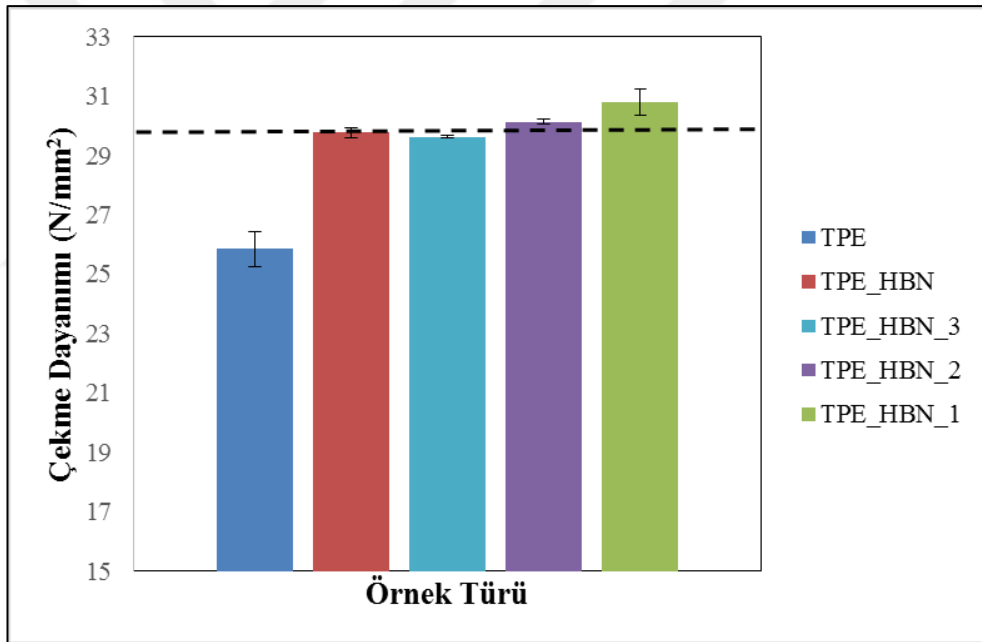
Bu başlıkta silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına yer verilmiş ve çekme testi sonuçlarına göre seçilen hegzagonal bor

nitür silanlama prosesinin uygulandığı silanlanmış HBN'nin FTIR analizi sonucu verilmiştir.

4.1.2.1. siHBN takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Silanlama prosesinin başarımının değerlendirilebilmesi amacıyla üretilen numunelere uygulanacak çekme testleri Shimadzu AG-X marka çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve örneklerin çekme dayanımı değerleri 5 mm/dk çekme hızında belirlenmiştir.

Tablo 3.3'te ayrıntıları verilmiş silanlama prosesi sonucunda elde edilen hegzagonal bor nitür kullanılarak üretilen kompozitlere uygulanan çekme testi sonucunda örneklerin çekme dayanımı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.

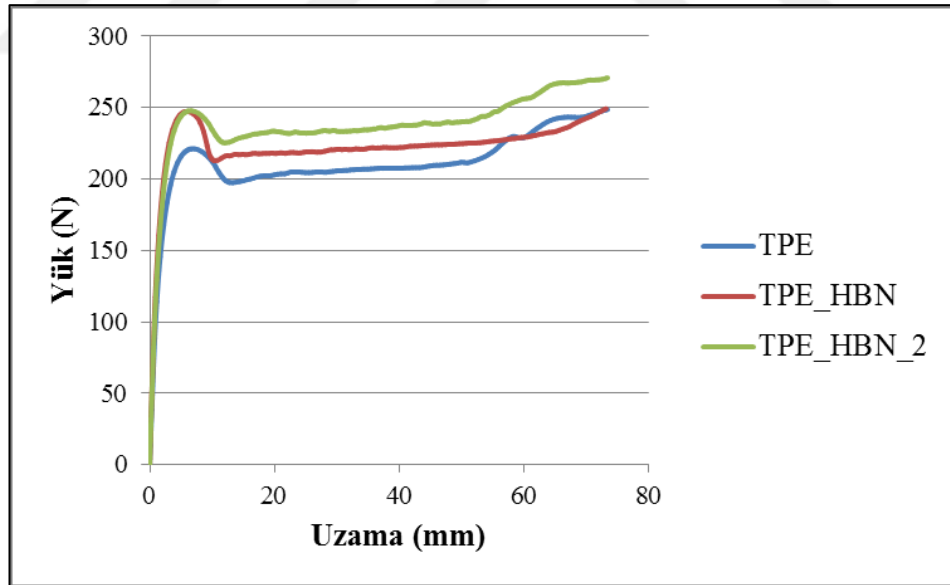


Şekil 4.4. Farklı silanlama parametrelerinin hegzagonal bor nitür takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi

Şekil 4.4'te verilen çekme dayanımı grafikleri incelendiğinde, TPE_HBN_3 kodlu numunede çekme dayanımı değerinin silanlama prosesi sonucunda azaldığı diğer taraftan TPE_HBN_1 ve TPE_HBN_2 kodlu numunelerde ise çekme dayanımı değerinin arttığı görülmektedir (TPE_BF kodlu numune baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır). TPE_HBN_1 kodlu numunede meydana gelen artış %3,5 değerindeyken TPE_HBN_2 kodlu numunede meydana gelen artış %1,23 değerindedir. Dolayısıyla

BF için optimum özellikleri sergileyen silanlama proseslerinin Tablo 3.3'te ayrıntıları verilen TPE_HBN_1 ve TPE_HBN_2 kodlu prosesler olduğu sonucuna varılabilir. Diğer taraftan çekme dayanımında meydana gelen artış miktarlarının yakın olması sebebiyle bu iki proses arasında da bir seçim yapma gerekliliği bulunmaktadır. Buradan yola çıkarak iki proseste de incelenen parametreler karşılaştırıldığında TPE_HBN_1 kodlu proseste kullanılan silan miktarının 5 ml olduğu ve silanlanan HBN miktarının 5 g olduğu, diğer taraftan TPE_HBN_2 kodlu proseste ise kullanılan silan miktarının 1 ml olduğu ve silanlanan HBN miktarının 10 g olduğu görülmektedir. Dolayısıyla daha az silan miktarı kullanılarak daha fazla HBN silanlanması sonucunda neredeyse aynı performansı sergilemesi sebebiyle hegzagonal bor nitrürün silanlama prosesi olarak "TPE_HBN_2" kodlu prosesin seçilmesine karar verilmiştir.

Buna ek olarak TPE_HBN_2 kodlu silanlama prosesi kullanılarak silanlanan HBN takviyeli TPE matrisli kompozitin çekme testi sonucunda elde edilen yük-uzama eğrisi Şekil 4.5'te verilmiştir.



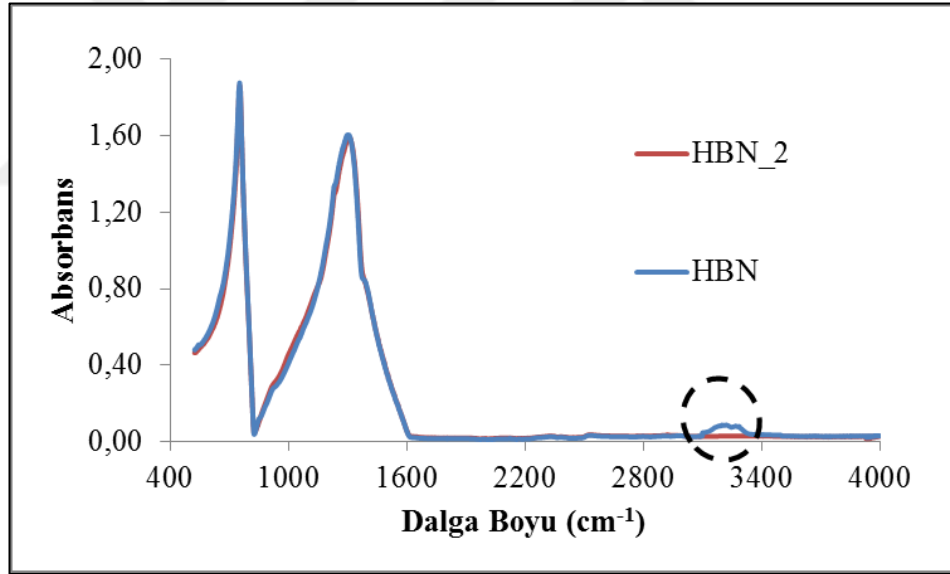
Şekil 4.5. Silanlanma prosesinin hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerin yük-uzama eğrisi üzerine etkisi

Şekil 4.5'te verilen yük-uzama grafiği incelendiğinde işlem görmemiş HBN yüzeyine optimum özellikleri sağladığı düşünülen TPE_HBN_2 kodlu silanlama prosesi uygulandığında malzeme tarafından taşınan yük miktarının arttığı görülmektedir. Bu durum silanlama prosesi sonucunda partikül yüzeyinde meydana

gelen fonksiyonel grupların sayısının artmasından ve böylece elyaf-matris ara yüzey etkileşiminin iyileşmesinden, dolayısıyla da malzemeye uygulanan yükün daha fazla miktarının ara yüzeydeki etkileşim aracılığıyla matristen partiküle aktararak partikül tarafından daha fazla yük taşınmasından kaynaklanmaktadır.

4.1.2.2. siHBN yüzeyinin FTIR sonuçları

Hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan TPE_HBN_2 kodlu silanlama prosesi sonucunda partikül yüzeyinde meydana geldiği öngörülen fonksiyonel grupların belirlenebilmesi amacıyla yüzeyi işlem görmemiş ve yüzeyi TPE_HBN_2 kodlu proses parametreleri ile işlem görmüş hegzagonal bor nitrüre FTIR analizi uygulanmıştır. Analiz, Thermo Fisher marka FTIR cihazı kullanılarak $400-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir. FTIR analizi sonucunda elde edilen spektrum ise Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür yüzeylerine ait FTIR spektrumları

Şekil 4.6’da verilen FTIR spektrumları incelendiğinde, her iki örnek türünde de yaklaşık 800 ve 1300 cm^{-1} dalga boylarında iki güçlü pik ortaya çıktığı görülmektedir. Bu pikler B-N bağlarının düzlemsel esneme titreşiminden ve düzlem dışı eğilme titreşiminden kaynaklanan ve HBN’ye ait spesifik piklerdir (Muratov ve diğ., 2015). Bununla birlikte yüzeyi işlem görmemiş HBN’nin FTIR spektrumu incelendiğinde ise yaklaşık 3300 cm^{-1} dalga boyunda ve yapıdaki hidroksil

gruplarının varlığından kaynaklanan bir pik görülmektedir (Muratov ve diğ., 2015; Pan ve diğ., 2017; Gu ve diğ., 2012; Mahuya ve Debabrata, 2006). Ancak silanlama prosesi uygulanmış HBN yüzeyine ait FTIR spektrumunda bu pikin ortadan kaybolduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi silanlama işleminden sonra silan bağlanma ajanı ile HBN yüzeyi arasında meydana gelen reaksiyon sonucunda hidroksil grupların büyük çoğunluğunun ortadan kalkmış olmasıdır. Dolayısıyla HBN yüzeyinin silanlanması prosesinin başarımı Şekil 4.6'da verilen FTIR spektrumundan da anlaşılabilir.

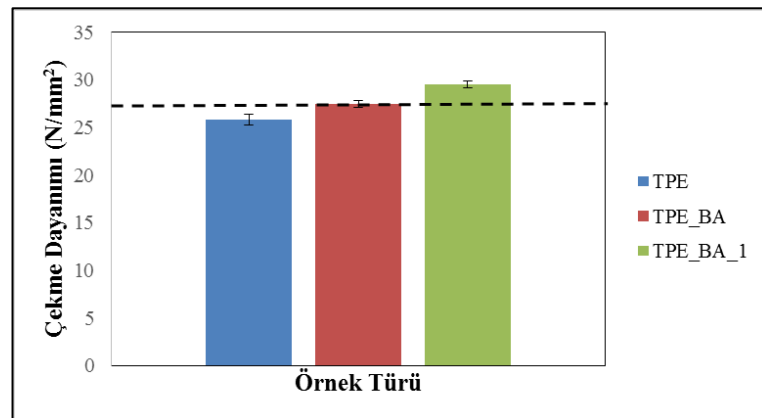
4.1.3. BA silanlama işleminin optimizasyonu

Bu başlıkta silanlanmış borik asit takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına yer verilmiş ve çekme testi sonuçlarına göre seçilen borik asit silanlama prosesinin uygulandığı silanlanmış BA'nın FTIR analizi sonucu verilmiştir.

4.1.3.1. siBA takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Silanlama prosesinin başarımının değerlendirilebilmesi amacıyla üretilen numunelere uygulanacak çekme testleri Shimadzu AG-X marka çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve örneklerin çekme dayanımı değerleri 5 mm/dk çekme hızında belirlenmiştir.

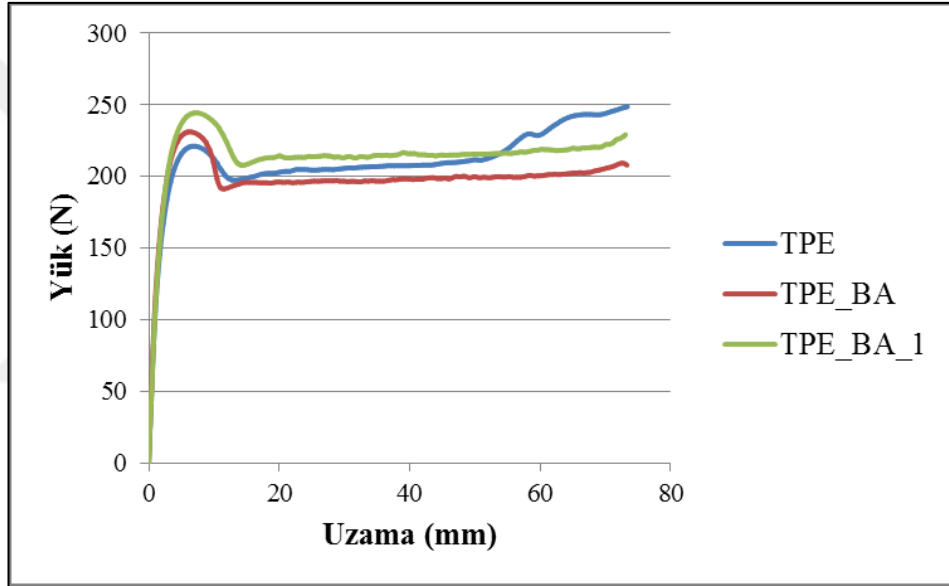
Tablo 3.4'te ayrıntıları verilmiş silanlama prosesi sonucunda elde edilen borik asit kullanılarak üretilen kompozite uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Silanlama prosesinin borik asit takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değeri üzerine etkisi

Şekil 4.7’de verilen çekme dayanımı grafiği incelendiğinde, TPE_BA_1 kodlu numunede çekme dayanımı değerinin silanlama prosesi sonucunda arttığı görülmektedir (TPE_BF kodlu numune baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır). Dolayısıyla Tablo 3.4’te ayrıntıları verilen “TPE_BA_1” kodlu silanlama prosesinin borik asit için optimum özellikleri sergileyen silanlama prosesi olduğu sonucuna varılabilir.

Buna ek olarak TPE_BA_1 kodlu silanlama prosesi kullanılarak silanlanan borik asit takviyeli TPE matrisli kompozitin çekme testi sonucunda elde edilen yük-uzama eğrisi Şekil 4.8’de verilmiştir.

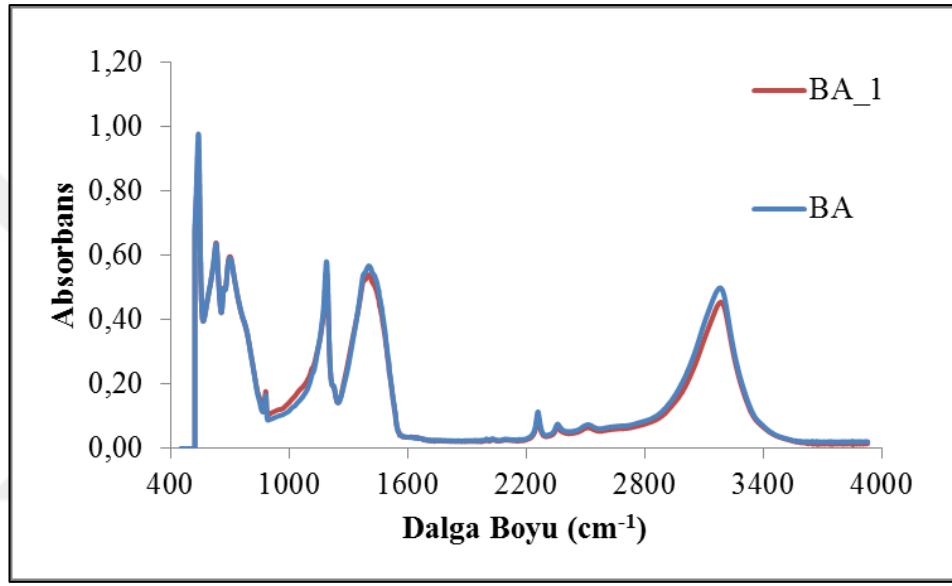


Şekil 4.8. Silanlama prosesinin borik asit takviyeli kompozitlerin yük-uzama eğrisi üzerine etkisi

Şekil 4.8’de verilen yük-uzama grafiği incelendiğinde işlem görmemiş borik asit yüzeyine optimum özellikleri sağladığı düşünülen TPE_BA_1 kodlu silanlama prosesi uygulandığında malzeme tarafından taşınan yük miktarının arttığı görülmektedir. Bu durum silanlama prosesi sonucunda borik asit yüzeyinde meydana gelen fonksiyonel grupların sayısının artmasından ve böylece partikül-matris ara yüzey etkileşiminin iyileşmesinden, dolayısıyla da malzemeye uygulanan yükün daha fazla miktarının ara yüzeydeki etkileşim aracılığıyla matristen partiküle aktarılarak partikül tarafından daha fazla yük taşınmasından kaynaklanmaktadır.

4.1.3.2. siBA yüzeyinin FTIR sonuçları

Borik asit yüzeyine uygulanan TPE_BA_1 kodlu silanlama prosesi sonucunda partikül yüzeyinde meydana gelen değişimin incelenebilmesi amacıyla yüzeyi işlem görmemiş ve yüzeyi TPE_BA_1 kodlu proses parametreleri ile işlem görmüş borik asite FTIR analizi uygulanmıştır. Analiz, Thermo Fisher marka FTIR cihazı kullanılarak $400-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir. FTIR analizi sonucunda elde edilen spektrum ise Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Silanlanmamış/silanlanmış borik asit yüzeylerine ait FTIR spektrumları

Şekil 4.9’da verilen FTIR spektrumları incelendiğinde, silanlama prosesi sonucunda pik yüksekliğinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu azalmanın sebebi işlem görmemiş borik asit yüzeyinin silanlama prosesi sonucunda bir miktar silan tabakası ile kaplanması ve dolayısıyla borik asit yüzeyine ait karakteristik piklerin şiddetinin azalması olarak yorumlanabilir.

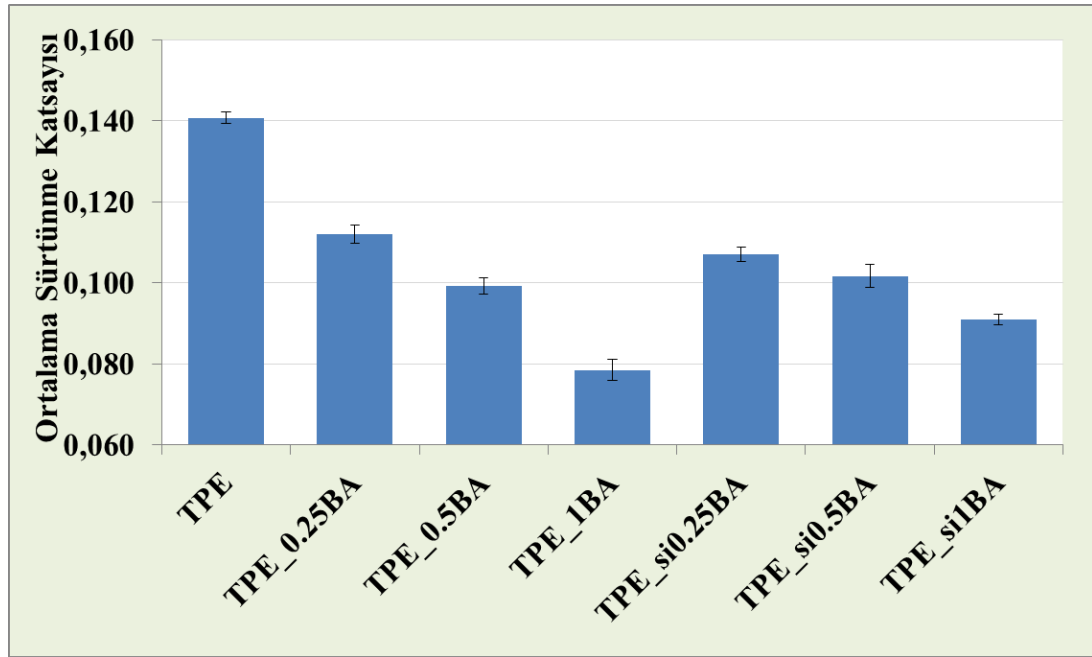
4.2. Aşınma Testi Sonuçları

Polimerik malzemelerin aşınması konusunda birçok mekanizma bulunmakla birlikte “adhezif aşınma” en temel aşınma mekanizmalarından birisidir. Adhezif aşınmayı diğer aşınma türlerinden ayıran özelliği, bu süreçte polimerik bir filmin bir yüzeyden diğerine transfer olmasıdır (Myshkin ve diğ., 2005; Dong ve Bell, 1999). Adhezif aşınma prosesinde meydana gelen polimerin bir yüzeyden başka bir yüzeye transferi

esnasında Van der Waals gibi moleküler arası etkileşimlerle ilişkili olarak bağ oluşumu, büyümesi ve kırılması gibi mekanizmalar devreye girer. Bu noktada, polimerik malzemeler için adhezif aşınmanın en önemli karakteristiğinin polimerin transferi olduğu söylenebilir. Böyle bir durumda, bir yüzeyden diğer yüzeye aktarılan polimer miktarının artması, sürtünme katsayısının dolayısıyla aşınma hacminin arttığı, aşınma direncinin azaldığı anlamına gelir (Karsli ve diğ., 2016; Sinha ve Briscoe, 2009; Brostow ve diğ., 2010). Polimerik malzemenin mikro yapısında meydana gelecek herhangi bir iyileşme, adhezif aşınma prosesi esnasında katı yüzeyler arasında aktarılan polimer miktarını azaltmak suretiyle sürtünme katsayısını düşürerek polimerin adhezif aşınma direncini arttırabilir (Myshkin ve diğ., 2005).

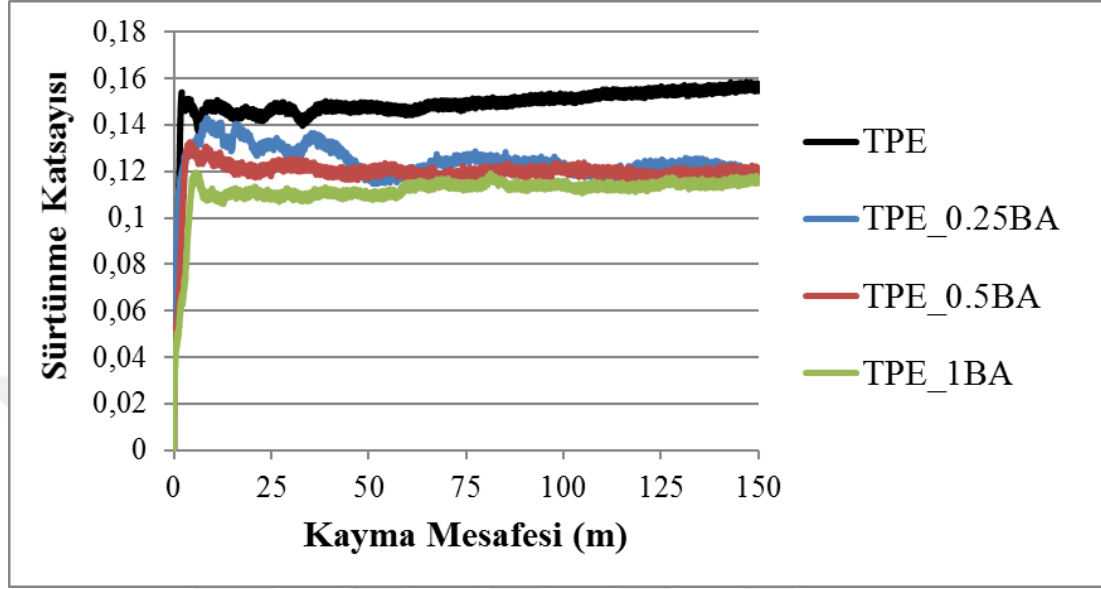
4.2.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmamış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.11'de verilmiştir.



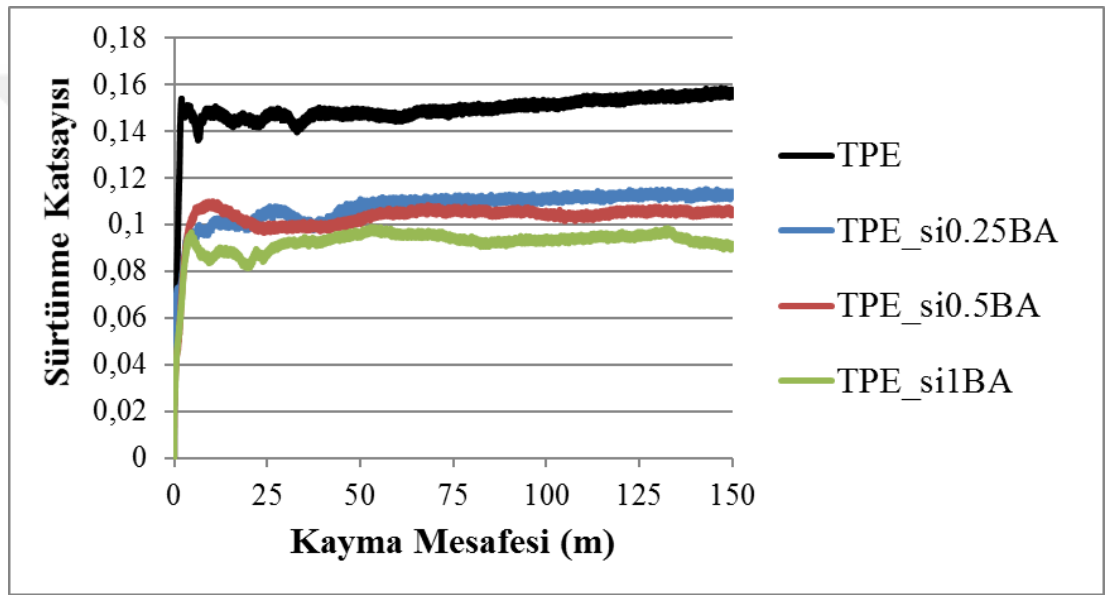
Şekil 4.11. Saf TPE'ye ve silanlanmamış borik asit takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Literatürden bilindiği gibi katı yağlayıcılar polimer matrisli kompozitlerde iyi bir transfer filmi oluşturarak malzemenin sürtünme katsayısını ve aşınma oranını azaltıp aşınma direncini iyileştirirler (Li ve diğ., 2013). Borik asit te polimerik malzemeler için katı yağlayıcı olarak kullanılabilen bir malzemedir (Scharf ve Prasad, 2013) ve bu özelliğini tabakaları arasındaki zayıf etkileşime ve dolayısıyla aşınma prosesi sırasında bu tabakaların birbirlerine göre kolaylıkla kayabilme kabiliyetlerine borçludur. Bu sayede borik asit takviyesi polimerik matrisin sürtünme katsayısında azalma meydana gelmesini sağlar (Burroughs ve diğ., 1999). Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 bu bakış açısıyla incelendiğinde, borik asitin bu yağlayıcı özelliği sayesinde her üç yükleme oranında borik asit takviyesiyle de saf TPE matrisin sürtünme katsayısında azalma meydana geldiği söylenbilir.

Takviye malzemesinin performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi de matris içerisinde homojen dağılabilmesidir. Takviye malzemesinin matris içerisinde homojen dağılabilmesi için ise takviye malzemesi ile matris malzemesi arasındaki arayüzey etkileşiminin iyi olması gerekir. Arayüzey etkileşimi iyi olduğu durumda partiküllerin aglomera olma (topaklanma) eğilimleri düşüktür ve takviye

malzemesinin etkinliği yüksektir. Ancak arayüzey etkileşimi kötü ise takviye malzemesi kompozit üretimi sürecinde yapı içerisinde dağılamaz ve aglomera olur. Dolayısıyla aglomerasyonu önlemenin en etkin yolu takviye malzemesi ile matris malzemesi arasındaki arayüzey etkileşimini iyileştirmektir. Bu proje çalışmasında da borik asit ve TPE arasındaki arayüzey etkileşimini iyileştirmek amacıyla borik asit partiküllerinin yüzeylerine silanlama işlemi uygulanmıştır.

Saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.12'de verilmiştir.



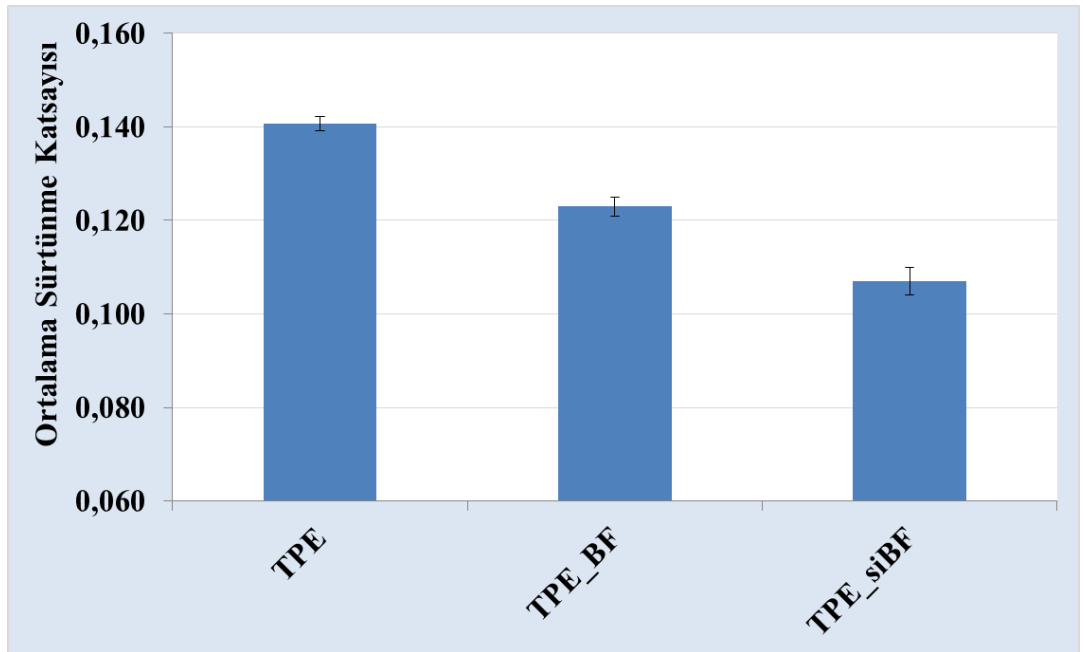
Şekil 4.12. Saf TPE'ye ve silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.10 ve Şekil 4.12 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE' ye silanlanmış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerleri düşmektedir. Ancak bu değerler silanlanmamış borik asit içeren numunelerin sürtünme katsayısı değerleri ile karşılaştırıldığında görülmektedir ki borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işleminin sürtünme katsayısı değerleri üzerine anlamlı bir etkisi olmamıştır. Hatta ağırlıkça %1 oranında silanlanmış borik asit içeren numunenin sürtünme katsayısı değerleri, ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış borik asit içeren numunenin sürtünme katsayısı değerinden az da olsa yüksektir. Bu durum silanlama prosesi ile ilişkilendirilebilir.

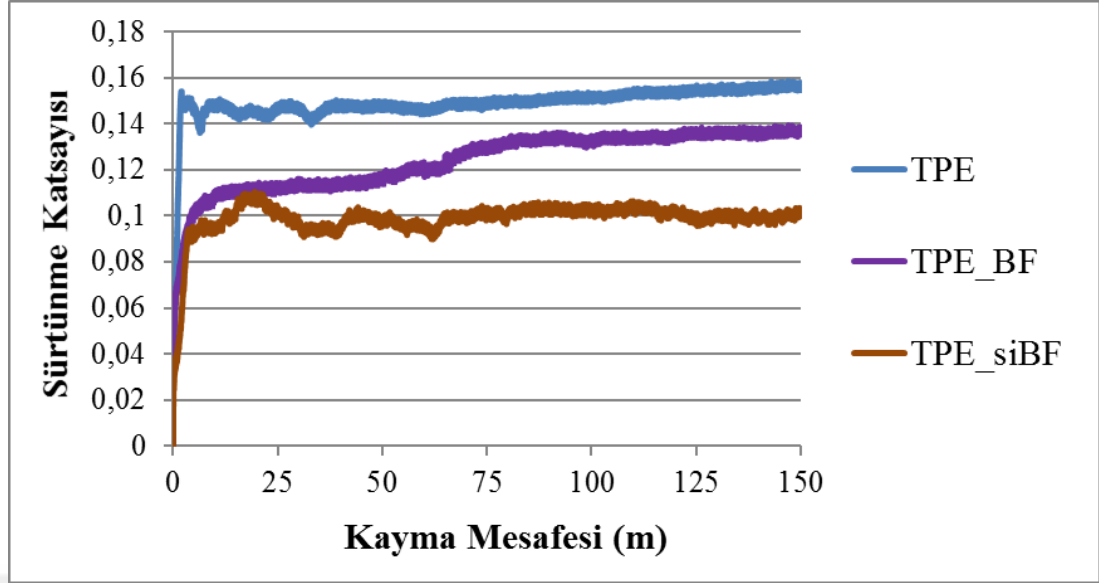
Öyle ki bilindiği gibi takviye malzemesi yüzeyinde tutunan silan moleküllerinin görevleri adeta bir köprü gibi davranmak ve kompozit üretimi sürecinde takviye malzemesi ile matris malzemesi arasındaki arayüzey etkileşimini iyileştirmektir. Ancak yapı içerisinde bu reaksiyona paralel birtakım yan reaksiyonlar da oluşabilir ve bu reaksiyonlar polimerik matris üzerinde plastikleştirici etkiye sebep olabilir (Karsli, 2017). Dolayısıyla silanlama prosesinin yaratacağı bu plastikleştirici etki takviye malzemesinin aşınma performansı üzerindeki beklenen etkisine baskın gelebilir.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.12 bu bakış açısıyla tekrar değerlendirildiğinde, polimerik yapı içerisine yüzeyi silanlanmış borik asit ilave edilmesinin TPE matris üzerinde plastikleştirici etki yarattığı, bu etkinin borik asitin yağlayıcı özelliğine baskın geldiği ve sonuç olarak TPE matrisin sürtünme katsayısı değerlerinin iyileşmemekle birlikte değişmediği sonucuna varılabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış/silanlanmamış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.13'te verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri



Şekil 4.14. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle sürtünme katsayısı değerinde azalma meydana gelmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü literatürden de bilindiği gibi polimerler takviye malzemeleri ile takviye edildikleri durumda genellikle sürtünme katsayılarında azalma meydana gelir.

Bu durumun sebebi, takviye malzemesinin kendisinden daha yumuşak olan polimerik matris içerisinde sert faz gibi davranması ve aşınma yüzeyi ile aşındırıcı top arasındaki temas alanını azaltmasıdır. Böylece adhezif aşınma prosesi boyunca polimer yüzeyinin sıyrılması bir miktar engellendiği için sürtünme katsayısında da azalma meydana gelir (Karsli ve diğ., 2018).

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda sürtünme katsayısının daha da düştüğüdür. Bu sonuç silanlama işlemi sonucunda bazalt elyaf yüzeyi ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin artması durumu ile ilişkilendirilebilir.

Öyle ki elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerde aşınma davranışı, “fiberin yerinden çıkması” (fiber peeling off) denilen bir süreç boyunca meydana gelir. Bu süreç elyafın incilmesi, elyafın kırılması ve elyafın matristen ayrılması aşamalarından oluşur. Eğer elyaf ve matris arasında zayıf bir arayüzey etkileşimi

varsa adhezif aşınma prosesi boyunca elyaf kolayca matristen ayrılır. Böylece polimerik matris elyaf tarafından desteklenemez ve korunamaz. Sonuç olarak malzemede mikro seviyede kazıma (scrapping) ve kesme (cutting) mekanizmaları meydana gelir. Buna ek olarak yerinden çıkan bazı lifler aşınma yüzeyi ve aşındırıcı uç arasında üç cisimli abrazyif aşınmaya sebep olurlar ve bu durum sürtünme katsayısında artışla sonuçlanır.

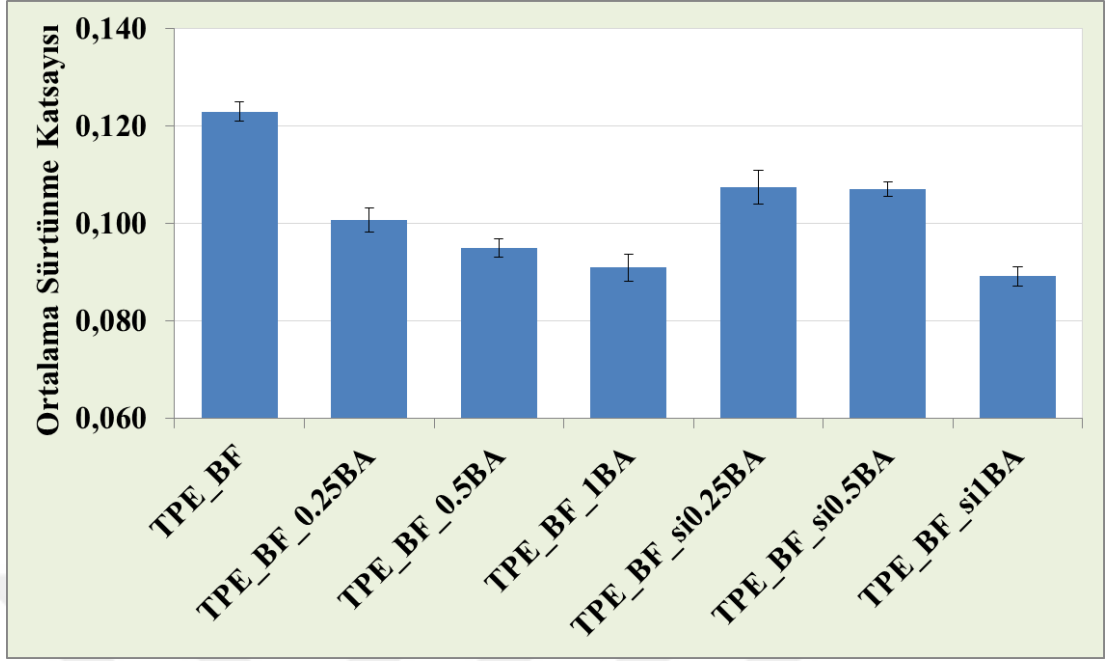
Diğer taraftan elyaf ve matris malzemesi arasındaki arayüzey etkileşiminin iyi olması durumunda ise elyafın matristen ayrılması kolay değildir. Ayrılma süreci, sırasıyla elyafın aşınması, incilmesi ve kırılması basamaklarını içerir. Sonuç olarak ise malzemenin sürtünme katsayısı düşer (Karsli ve diğ., 2018; Karsli ve diğ., 2016; Sinha ve Briscoe, 2009).

Dolayısıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 bu bilgiler ışığında tekrar değerlendirildiğinde, bazalt elyaf yüzeyinin silanlanması işlemi sonucunda bazalt elyaf ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiğini ve böylece sürtünme katsayısı değerlerinin düştüğünü söylemek mümkündür.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'ten çıkarılabilecek bir başka sonuç ise TPE matrise yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf ilavesi durumunda yapı içerisine eklenmiş olan silanın TPE matris üzerinde yarattığı plastikleştirici etkinin kompozitlerin ortalama sürtünme katsayısı değerlerinden gözlenemiyor oluşudur.

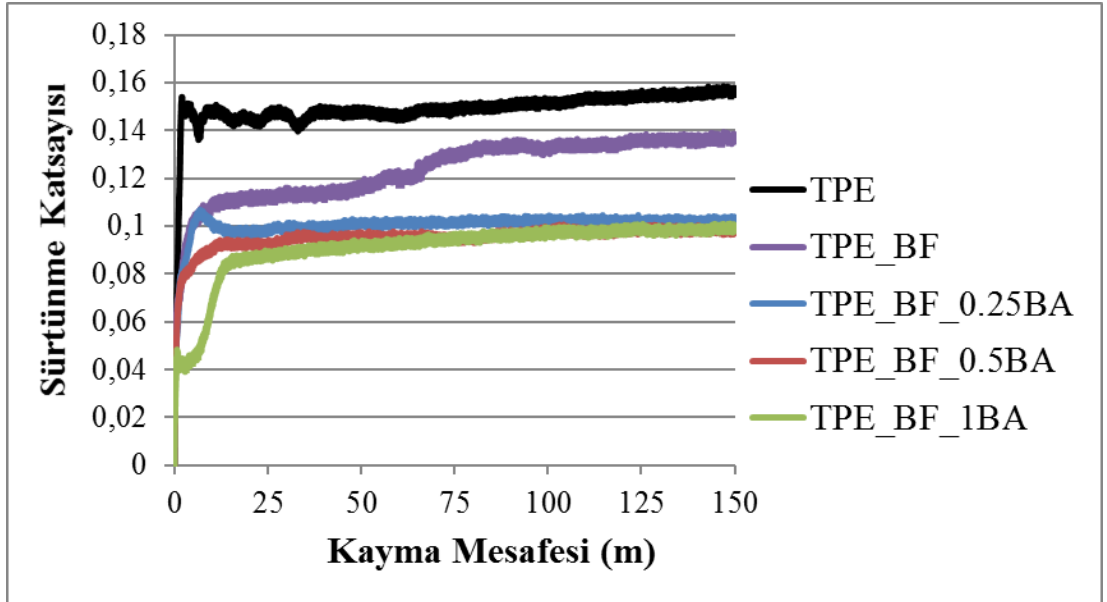
Bu durumun sebebi bazalt elyafın polimerik matrisin aşınmasını önleme konusundaki etkisinin silanın plastikleştirici etkisinden çok daha fazla olması ve bu etkiyi baskılıyor olması olarak açıklanabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.15'te verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

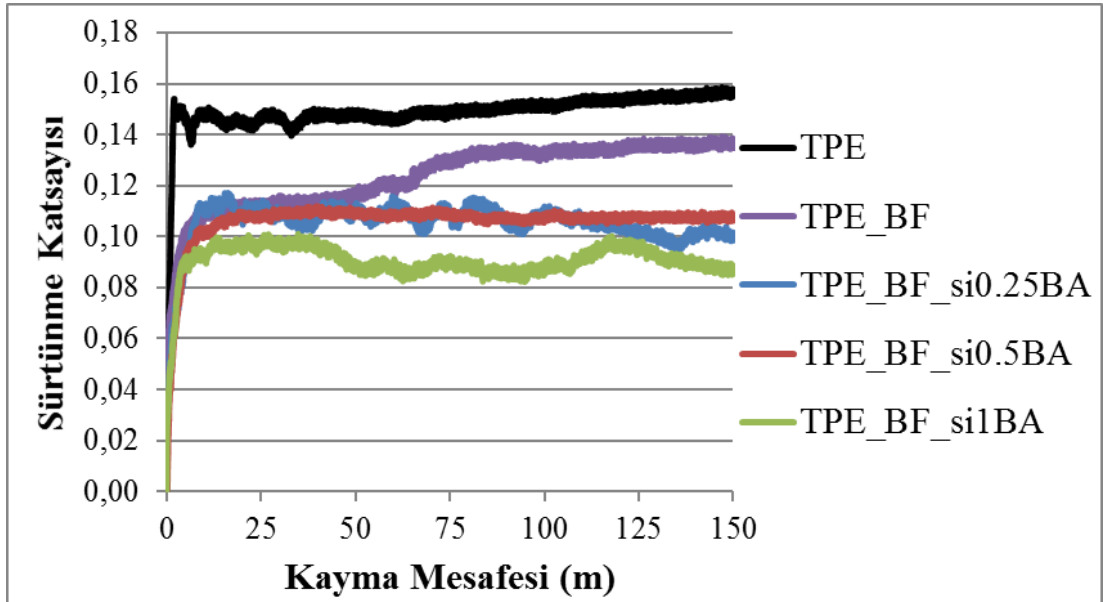
Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte kompozit içinde artan borik asit miktarıyla sürtünme katsayısı değerleri daha da düşmekte ve en düşük sürtünme katsayısı değerlerine ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış borik asit içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun bazalt elyaf ve borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir. Öyle ki bu sonuçtan yola çıkarak, elyaf ile partikülün eş zamanlı kullanılması borik asitin polimerik matris içerisindeki homojen dağılımını iyileştirmiştir, böylece borik asit tabakaları yapı içerisinde daha iyi yönlenerak birbirleri üzerinden daha kolay kaymışlardır ve sonuç olarak borik asit polimerik matris içerisindeki katı yağlayıcılık görevini daha iyi yerine getirmiştir yorumları yapılabilir (Karatat ve diğ., 2019).

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.15 ve Şekil 4.17 incelendiğinde görülmektedir ki bazalt elyaf takviyeli TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde azalma meydana gelmektedir. En düşük sürtünme katsayısı değerlerine ise ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmış borik asit içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır.

Bu durumun bazalt elyaf ve borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir.

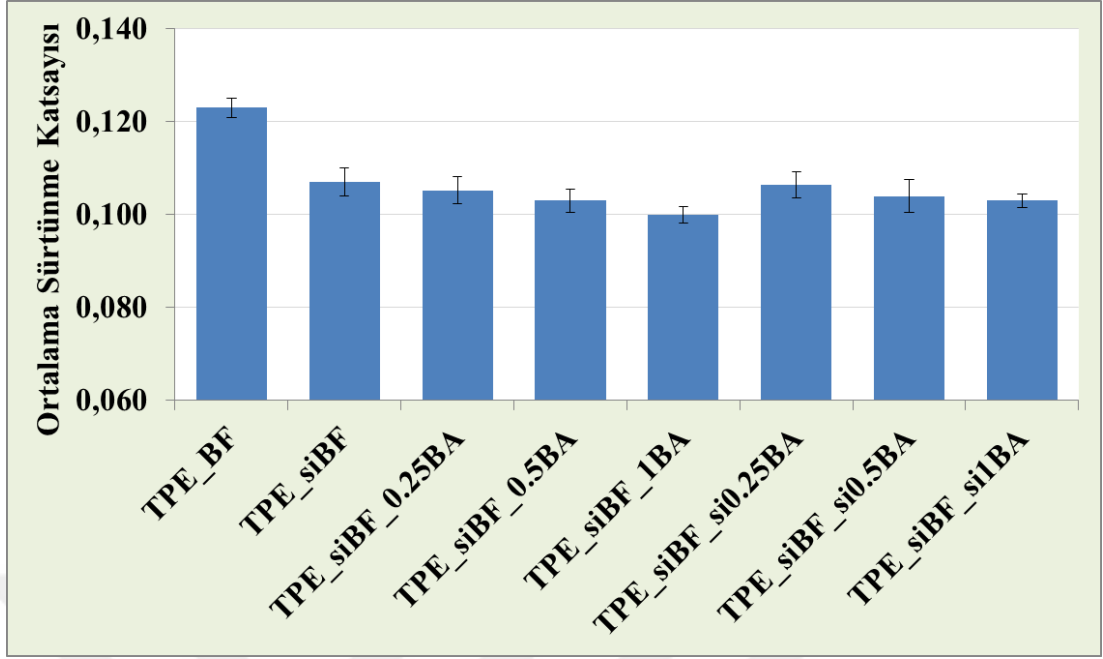
Diğer taraftan silanlanmamış borik asit içeren hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri ile silanlanmış borik asit içeren hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında görülmektedir ki borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işleminin sürtünme katsayısı değerleri üzerine anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Hatta ağırlıkça %0,25 ve %0,5 oranlarında silanlanmış borik asit içeren numunelerin sürtünme katsayısı değerleri, aynı oranlarda silanlanmamış borik asit içeren numunelerin sürtünme katsayısı değerlerinden az da olsa yüksektir.

Bu durum borik asit yüzeyine uygulanan silanlama prosesi ile ilişkilendirilebilir ve daha önce de açıklandığı gibi borik asit yüzeyine uygulanan silanlama prosesinin TPE matris üzerinde yarattığı plastikleştirici etkinin takviye malzemesinin aşınma performansı üzerindeki beklenen etkisine baskın gelmesi olarak yorumlanabilir.

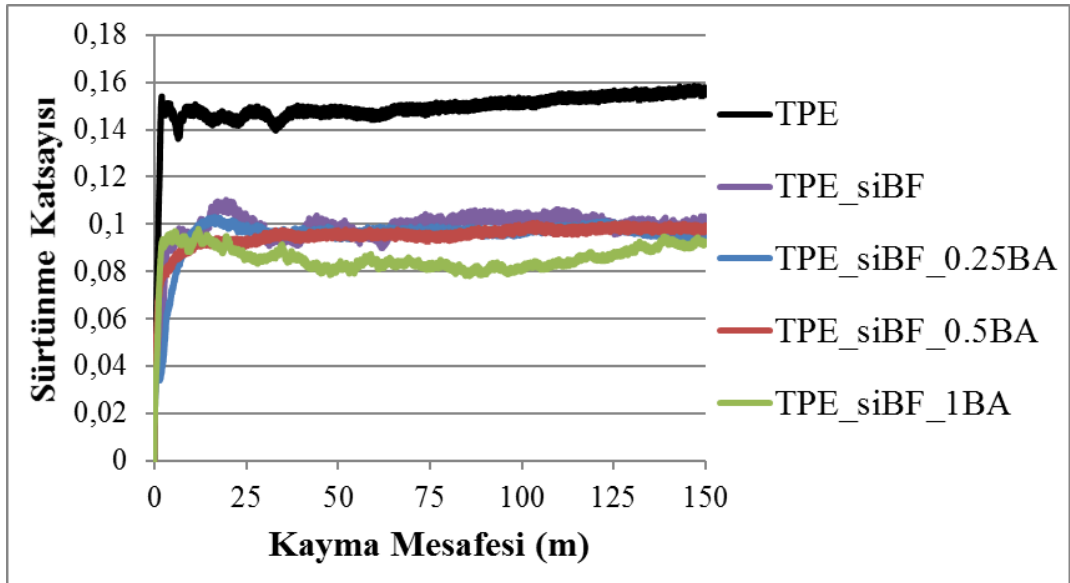
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.18'de verilmiştir.

Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.19'da verilmiştir.

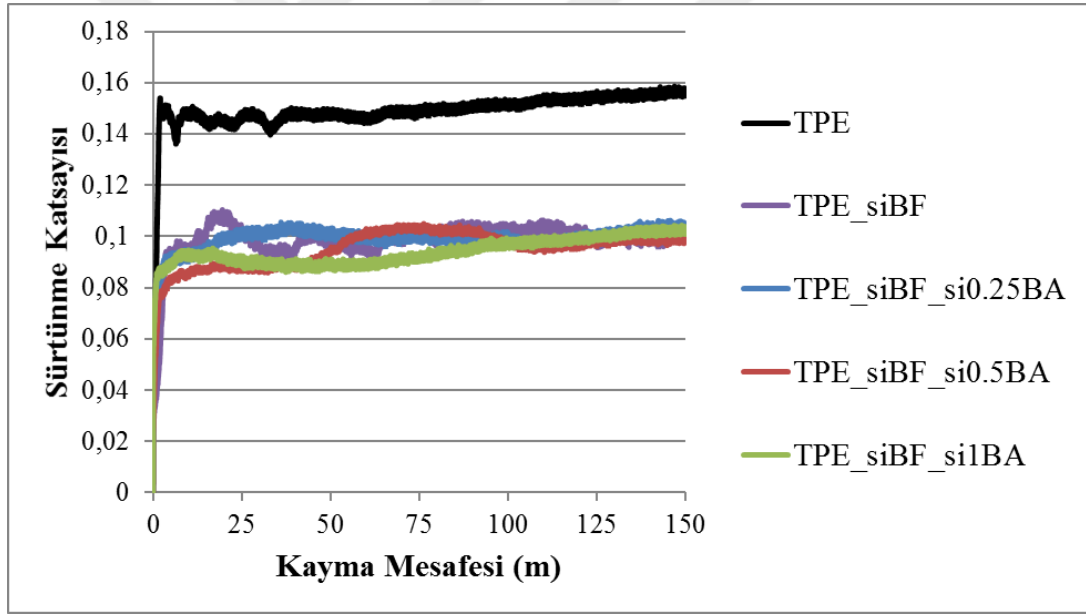


Şekil 4.19. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 incelendiğinde görülmektedir ki silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerinde az da olsa azalma meydana gelmektedir.

Bununla birlikte, yüzeyi silanlanmamış borik asit miktarının yapı içerisinde artan miktarıyla sürtünme katsayısı değerleri de azalmaktadır. Bu durumun bazalt elyaf ve borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir.

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

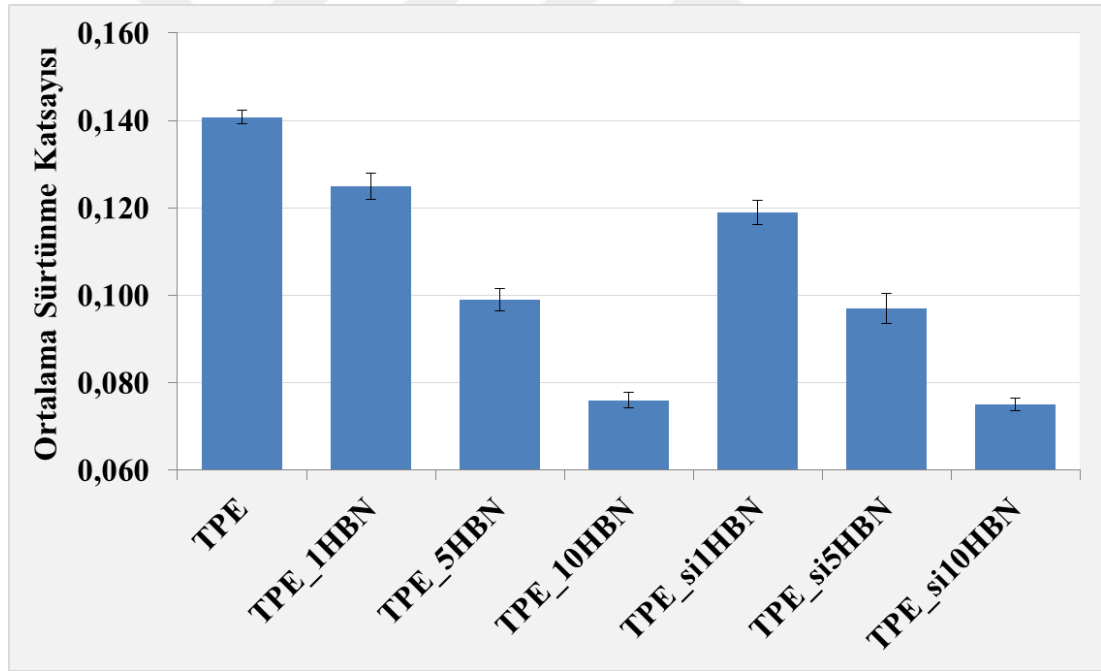
Şekil 4.18 ve Şekil 4.20 incelendiğinde görülmektedir ki silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerleri neredeyse değişmemektedir. Dolayısıyla yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye yüzeyi silanlanmış borik asit ilavesiyle birlikte sürtünme katsayısı değerinde beklenen hibrit etkinin meydana gelmediği görülmektedir.

Bu durumun sebebi her iki takviye elemanının silanlanarak polimere katılmasıyla silanın TPE matris üzerinde yarattığı plastikleştirici etkinin takviye malzemelerinin aşınma performansı üzerindeki beklenen etkilerine baskın gelmesi olarak açıklanabilir.

4.2.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

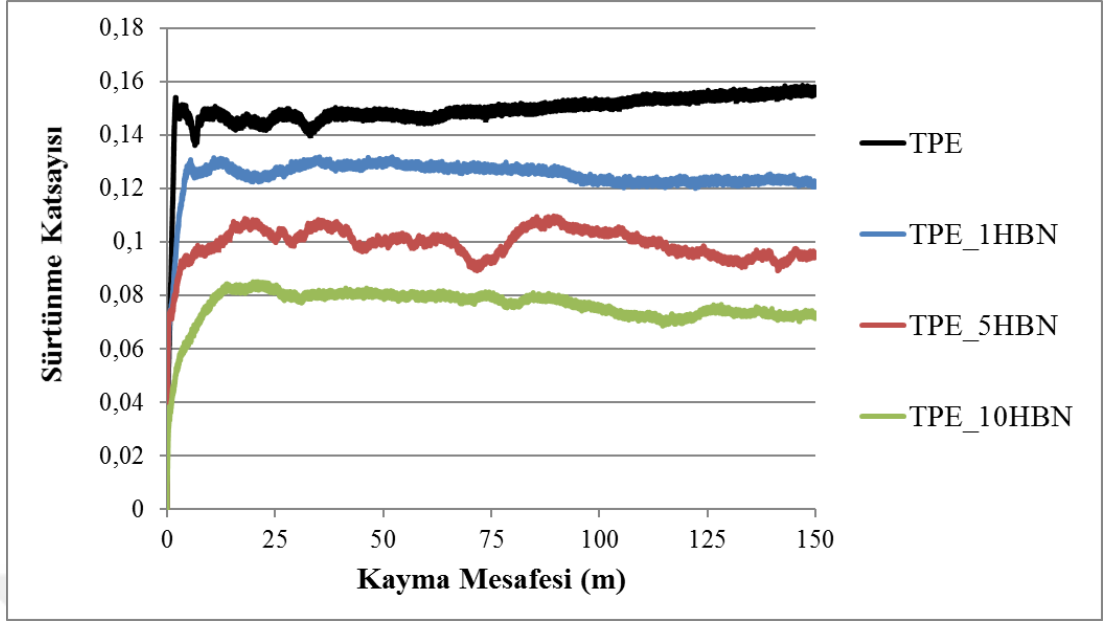
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.21'de verilmiştir.

Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.21. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.22'de verilmiştir.



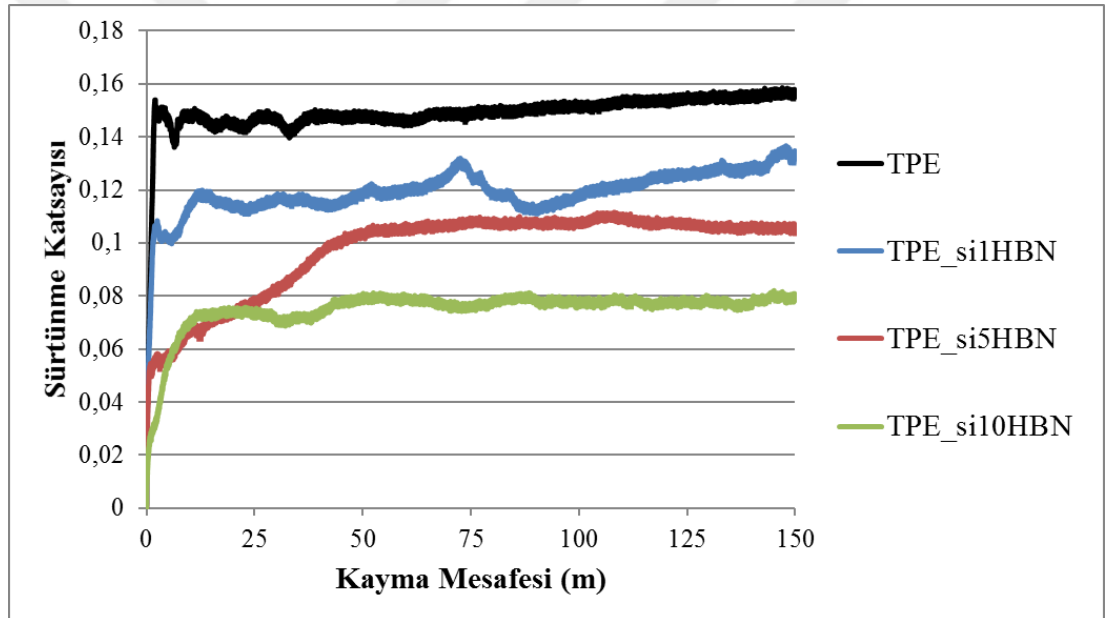
Şekil 4.22. Saf TPE'ye ve silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerleri önemli ölçüde düşmektedir. Bununla birlikte hegzagonal bor nitrürün artan miktarıyla sürtünme katsayısında daha fazla düşüş meydana gelmekte ve en düşük sürtünme katsayısı değerine ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren örnek türünde ulaşılmaktadır.

Hegzagonal bor nitrür, tabakalı yapıda bir malzemedir ve bu tabakalı yapı içerisinde her bir tabakadaki moleküller birbirlerine karşılıklı olarak kuvvetli kovalent bağlarla bağlıyken tabakalar ise birbirlerine zayıf Van der Waals kuvvetleriyle bağlıdırlar. Bu tabakalı yapının kayması kolay olduğu için tabakalar kolayca birbirleri üzerinden kayarlar ve bu sebeple de hegzagonal bor nitrür polimerik malzemelere ilave edildiğinde yağlayıcı gibi davranarak bu malzemelerin aşınma direncini iyileştirir ve sürtünme katsayısını düşürür (Kadiyala ve Bijwe, 2013; Wang ve diğ., 2013; Scharf ve Prasad, 2013). Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 bu bakış açısıyla incelendiğinde görülmektedir ki hegzagonal bor nitrür bu tabakalı yapısından gelen yağlayıcı özelliği sayesinde TPE matrisine her üç yükleme oranında takviye edilmesi durumunda da saf TPE matrisin sürtünme katsayısında azalma meydana gelmesini sağlamaktadır.

Ancak bilindiği gibi takviye malzemesinin performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi de matris içerisinde homojen dağılılabilesidir. Takviye malzemesinin matris içerisinde homojen dağılılabilesi için ise takviye malzemesi ile matris malzemesi arasındaki arayüzey etkileşiminin iyi olması gerekir. Bu tez çalışmasında da hegzagonal bor nitrür ve TPE arasındaki arayüzey etkileşimini iyileştirmek amacıyla hegzagonal bor nitrür partiküllerinin yüzeylerine silanlama işlemi uygulanmıştır.

Saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik 4.23'te verilmiştir.



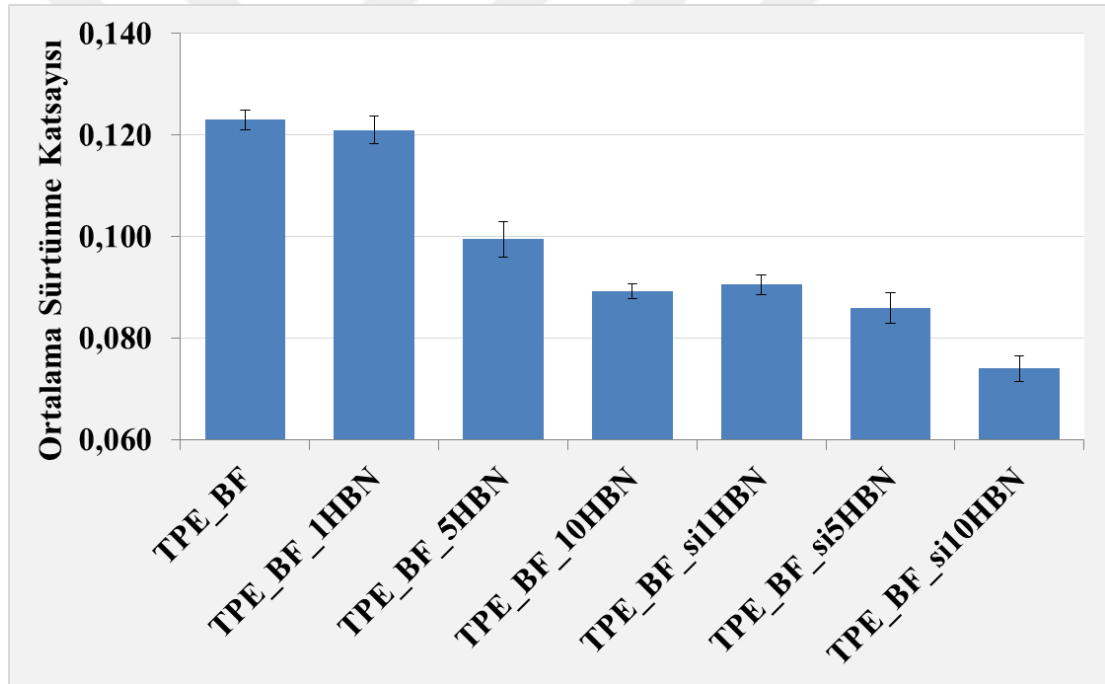
Şekil 4.23. Saf TPE'ye ve silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.21 ve Şekil 4.23 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerleri düşmektedir. Bununla birlikte, bu değerler silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren numunelerin sürtünme katsayısı değerleri ile karşılaştırıldığında ise görülmektedir ki hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işleminin sürtünme katsayısı değerleri üzerine az da olsa iyileştirici yönde bir etkisi olmuştur. Sonuç olarak silanlama prosesi sonucunda hegzagonal bor nitrür partiküllerinin yüzey fonksiyonelliklerinin arttığı böylece hegzagonal bor nitrür partikülleri ile TPE matris arasındaki arayüzey

etkileşiminin iyileştiği ve hegzagonal bor nitrür partiküllerinin TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde sergiledikleri performansın iyileştiği sonucuna varılabilir.

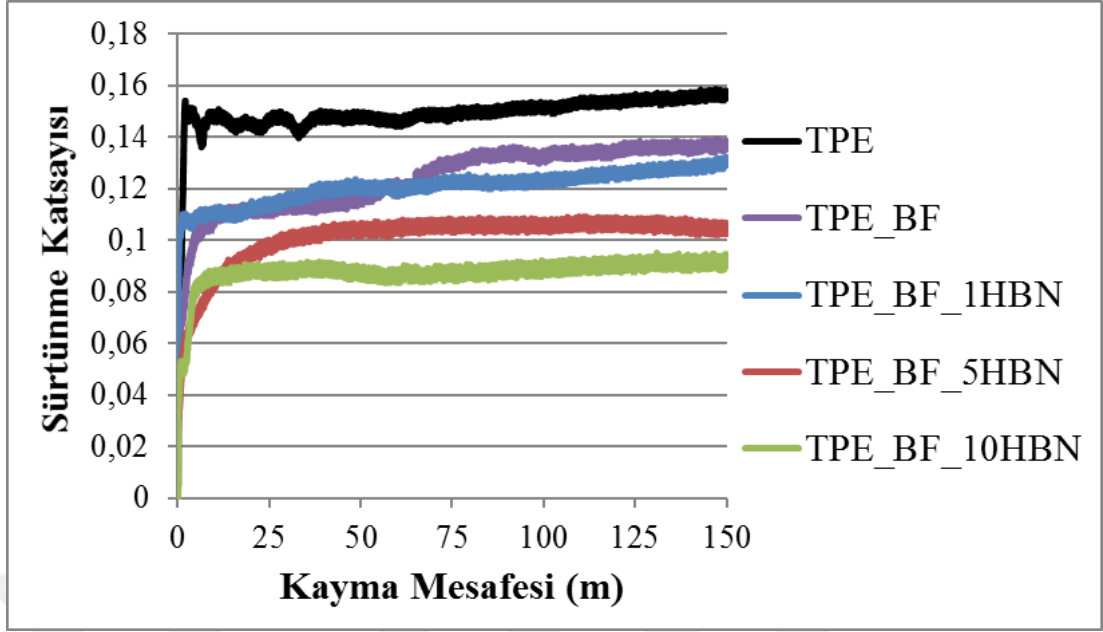
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.24'te verilmiştir.

Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.24. Silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

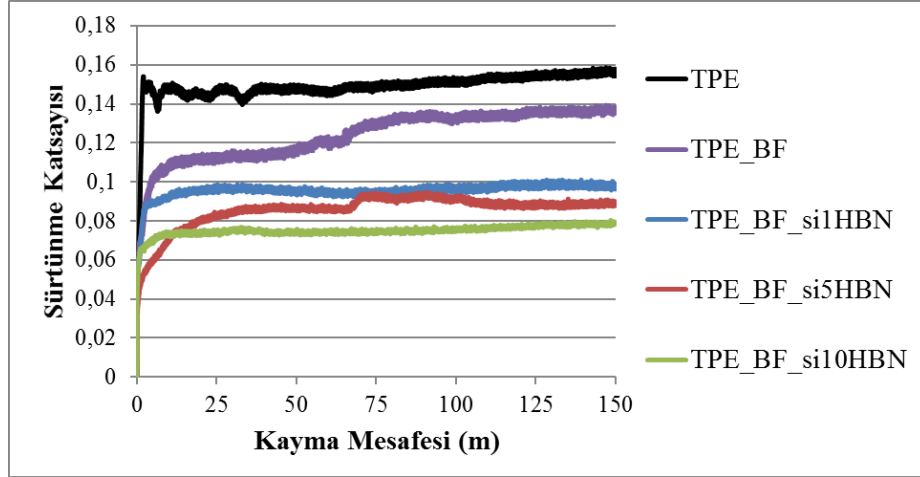
Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemektedir. Bununla birlikte hibrit kompozit içindeki yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür miktarının ağırlıkça %5 ve %10 değerlerine çıkarılmasıyla sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir ve en düşük sürtünme katsayısı değerlerine ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun bazalt elyaf ve hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir. Öyle ki, bu hibrit etki sayesinde hegzagonal bor nitrür partikülleri TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde yağlayıcılık performanslarını daha etkin şekilde sergilemektedirler (Karatat ve diğ., 2019).

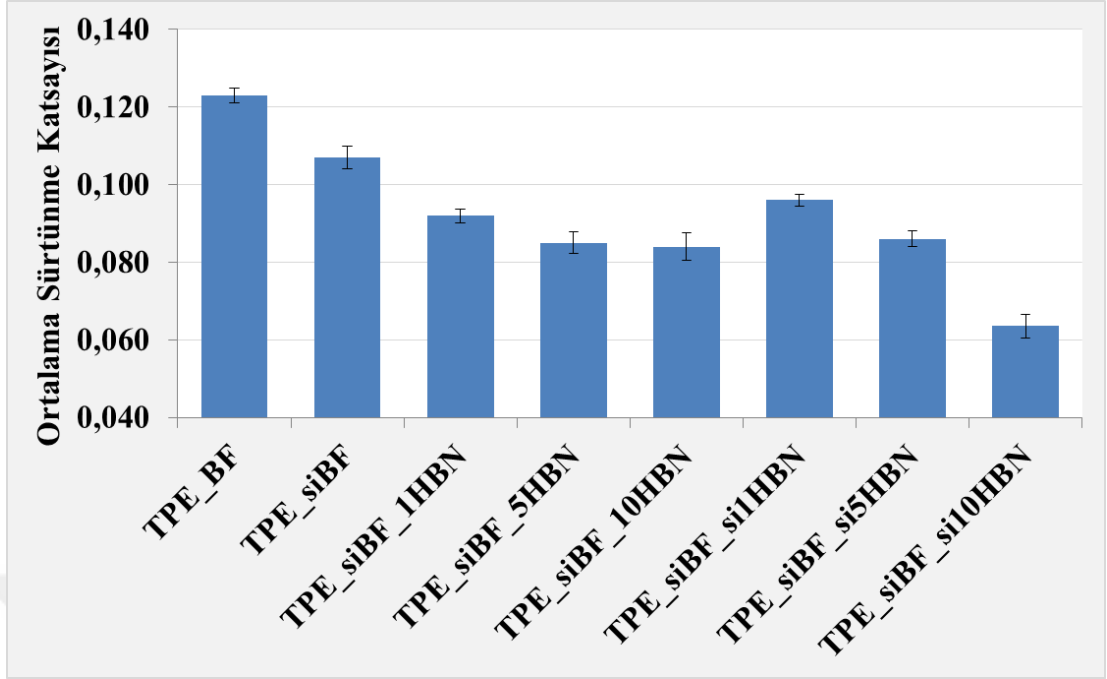
Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

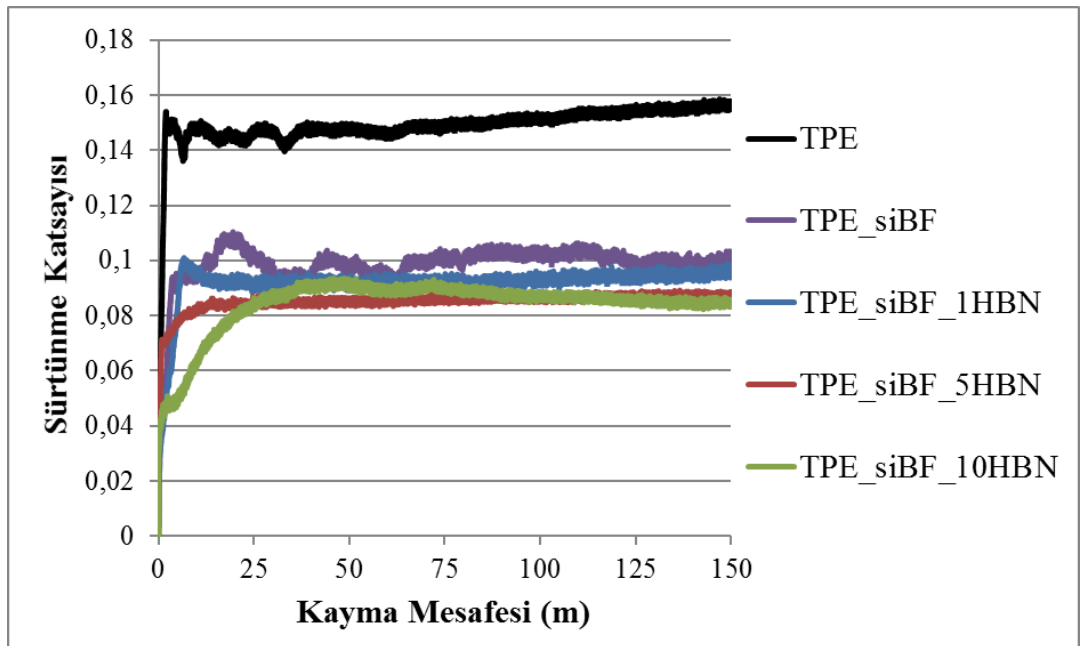
Şekil 4.24 ve Şekil 4.26 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrürün kompozit içerisinde artan miktarıyla sürtünme katsayısı değerleri de düşmekte ve en düşük sürtünme katsayısı değerine de ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Buradan, yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etkinin yanı sıra silanlama prosesi sonucunda hegzagonal bor nitrür partiküllerinin yüzey fonksiyonelliklerinin de arttığı ve böylece hegzagonal bor nitrür partikülleri ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiği sonuç olarak da hegzagonal bor nitrür partiküllerinin TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde sergiledikleri performansın daha da iyileştiği sonucuna varılabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.27'de verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.27. Silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

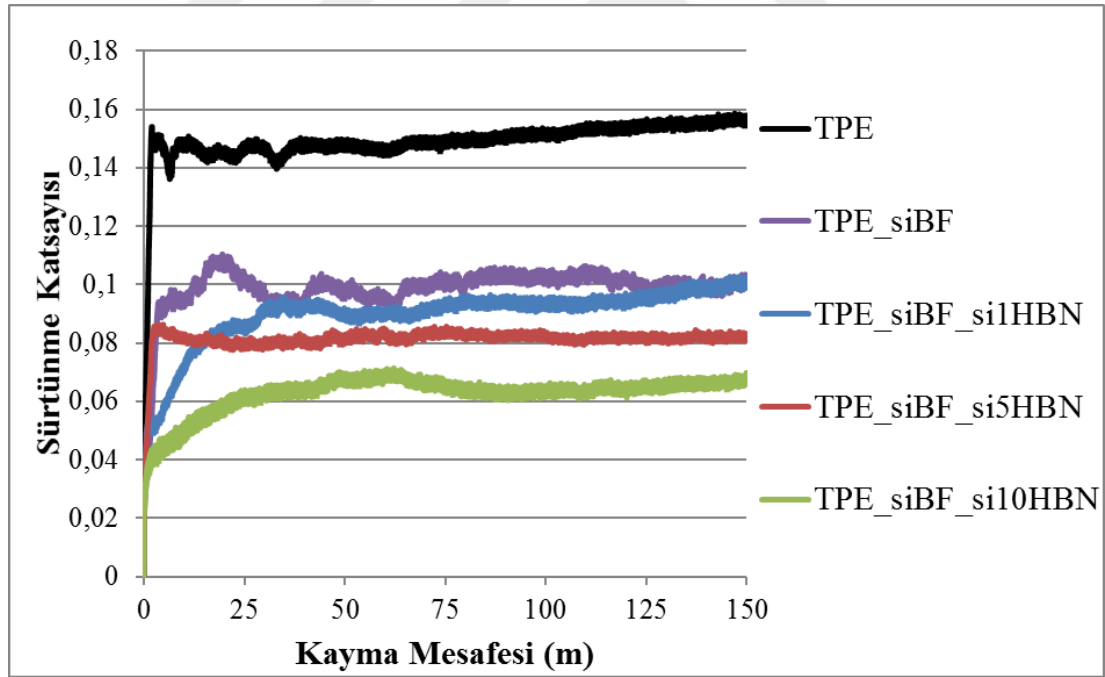
Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrürün kompozit içerisinde artan miktarıyla sürtünme katsayısı değerleri de düşmekte ve en düşük sürtünme katsayısı değerine de ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Buradan, sürtünme katsayısında meydana gelen bu düşüşün yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla ortaya çıkan hibrit etkiden kaynaklandığı sonucuna varılabilir.

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.29'da verilmiştir.



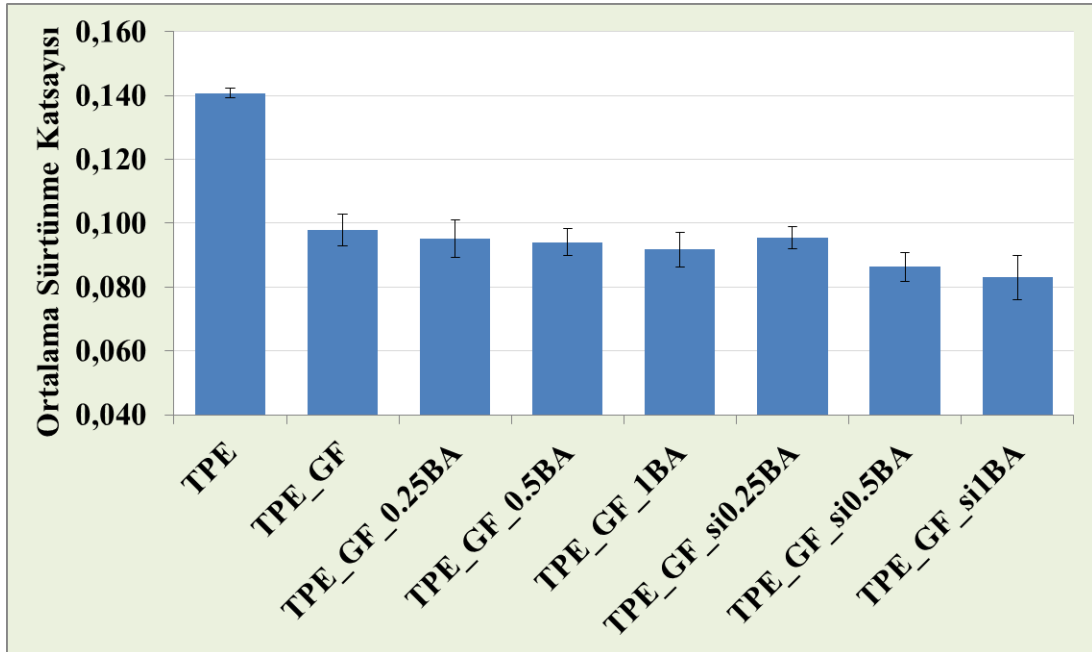
Şekil 4.29. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.27 ve Şekil 4.29 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana

gelmektedir. Bununla birlikte yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrürün kompozit içerisinde artan miktarıyla sürtünme katsayısı değerleri de düşmekte ve en düşük sürtünme katsayısı değerine de ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Her iki bileşenin de yüzeyi silanlı olduğu bu durumda kompozitin sürtünme katsayısı değerlerinde görülen bu önemli ölçüdeki azalma hem bazalt elyaf ve hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etkinin hem de silanlama prosesi sonucunda hegzagonal bor nitrür partiküllerinin yüzey fonksiyonelliklerinde meydana gelen artışın bir sonucu olarak yorumlanabilir.

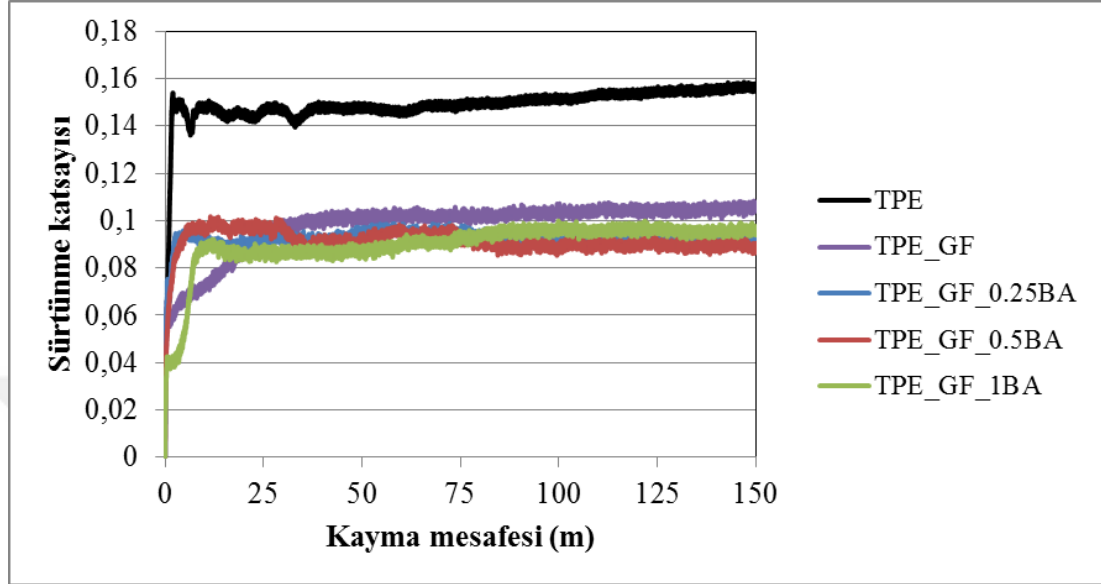
4.2.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.30'da verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.30. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.31'de verilmiştir.



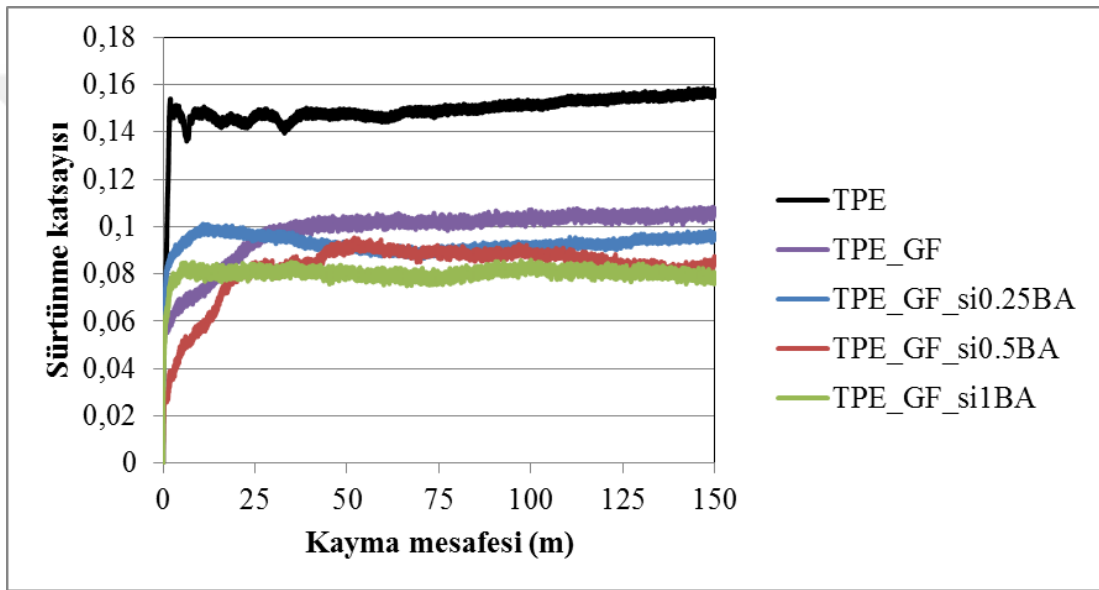
Şekil 4.31. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ilavesiyle sürtünme katsayısı değerinde azalma meydana gelmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü literatürden de bilindiği gibi polimerler takviye malzemeleri ile takviye edildikleri durumda genellikle sürtünme katsayılarında azalma meydana gelir. Bu durumun sebebi, takviye malzemesinin kendisinden daha yumuşak olan polimerik matris içerisinde sert faz gibi davranması ve aşınma yüzeyi ile aşındırıcı top arasındaki temas alanını azaltmasıdır. Böylece adhezif aşınma prosesi boyunca polimer yüzeyinin sıyrılması bir miktar engellendiği için sürtünme katsayısında da azalma meydana gelir (Karsli ve diğ., 2018).

Bununla birlikte Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'den gözlemlenen bir diğer sonuç cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde azalma meydana geldiğidir. Öyle ki en düşük sürtünme katsayısı değerine ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış borik asit içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun cam elyaf ve borik asidin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir. Öyle ki bu sonuçtan yola çıkarak, elyaf ile

partikülün eş zamanlı kullanılması borik asitin polimerik matris içerisindeki homojen dağılımını iyileştirmiştir, böylece borik asit tabakaları yapı içerisinde daha iyi yönlendirilerek birbirleri üzerinden daha kolay kaymışlardır ve sonuç olarak borik asit polimerik matris içerisindeki katı yağlayıcılık görevini daha iyi yerine getirmiştir yorumları yapılabilir (Karatas ve diğ., 2019).

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

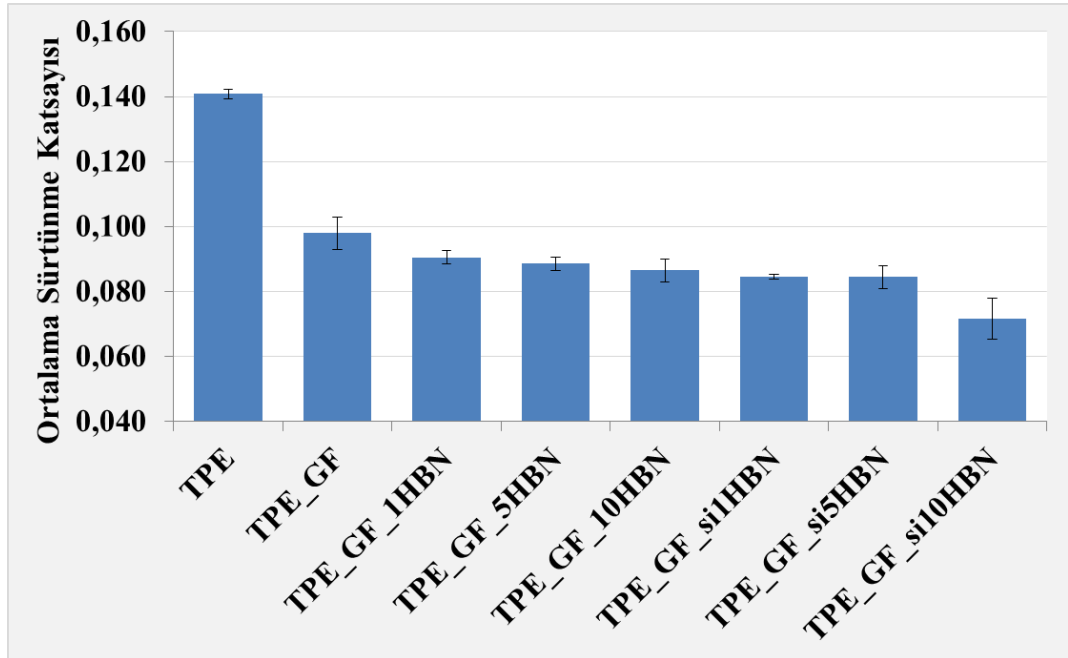
Şekil 4.30 ve Şekil 4.32 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde azalma meydana gelmektedir. En düşük sürtünme katsayısı değerine ise ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmış borik asit içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun bazalt elyaf ve borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir.

Diğer taraftan silanlanmamış borik asit içeren hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri ile silanlanmış borik asit içeren hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında görülmektedir ki borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işleminin sürtünme katsayısı değerlerinde bir miktar iyileşme

sağladığı görülmektedir. Özellikle %1 oranında borik asit içeren kompozitte bu iyileşme açık şekilde görülmektedir. Bu durum borik asit yüzeyine uygulanan silanlama prosesi ile ilişkilendirilebilir. Buradan, cam elyaf ve yüzeyi silanlanmış borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etkinin yanı sıra silanlama prosesi sonucunda borik asit partiküllerinin yüzey fonksiyonelliklerinin de arttığı ve böylece borik asit partikülleri ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiği sonuç olarak da borik asit partiküllerinin TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde sergiledikleri performansın daha da iyileştiği sonucuna varılabilir.

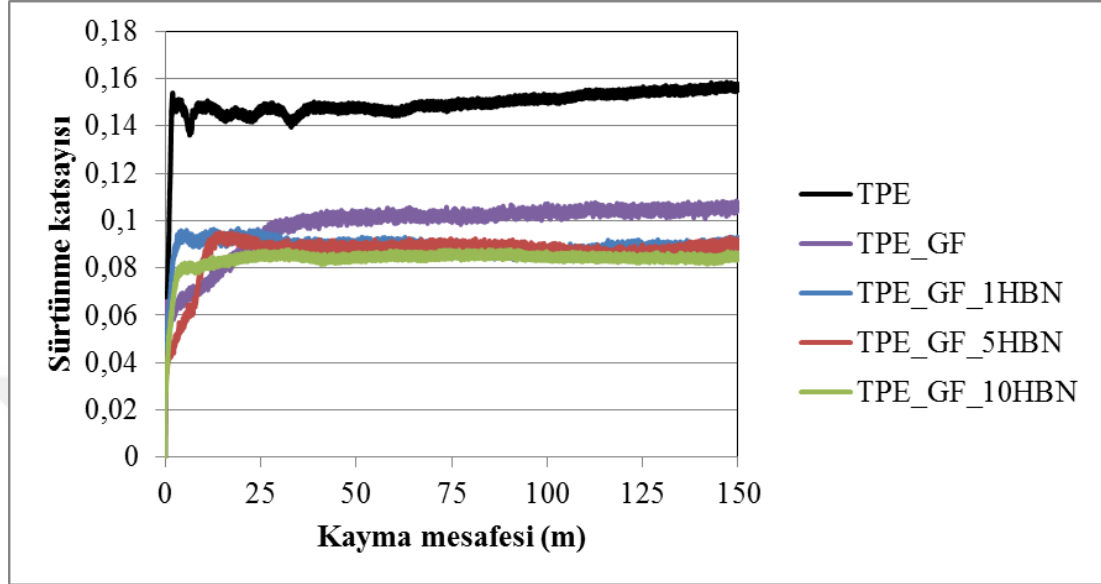
4.2.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.33'te verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.33. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

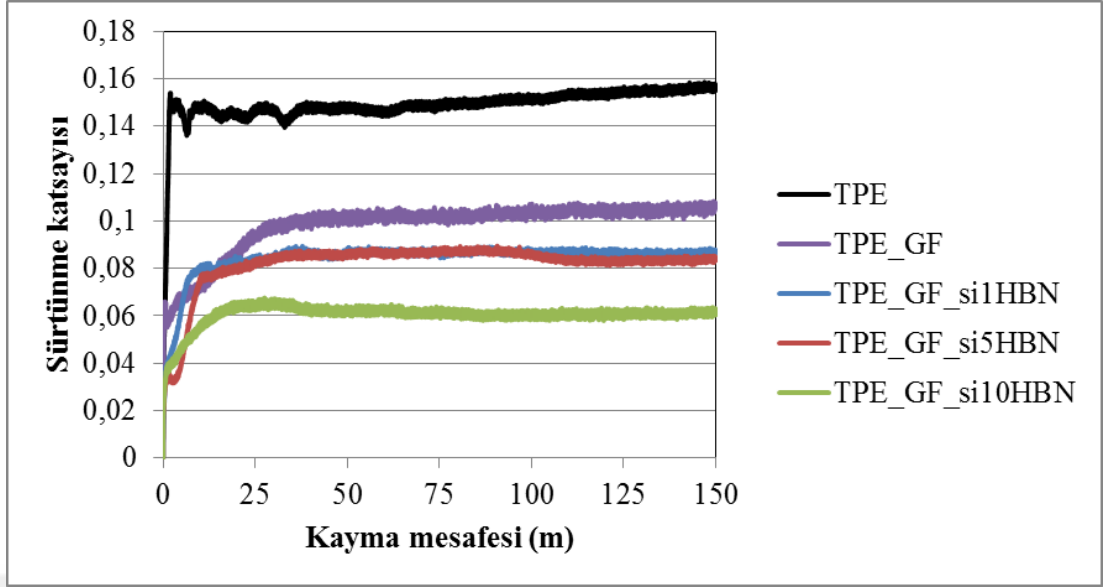
Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. En düşük sürtünme katsayısı değerine ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun cam elyaf ve hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir. Öyle ki, bu hibrit etki sayesinde hegzagonal bor nitrür partikülleri TPE matris içerisinde daha homojen bir şekilde dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde yağlayıcılık performanslarını daha etkin şekilde sergilemektedirler (Karatat ve diğ., 2019).

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.35'te verilmiştir.



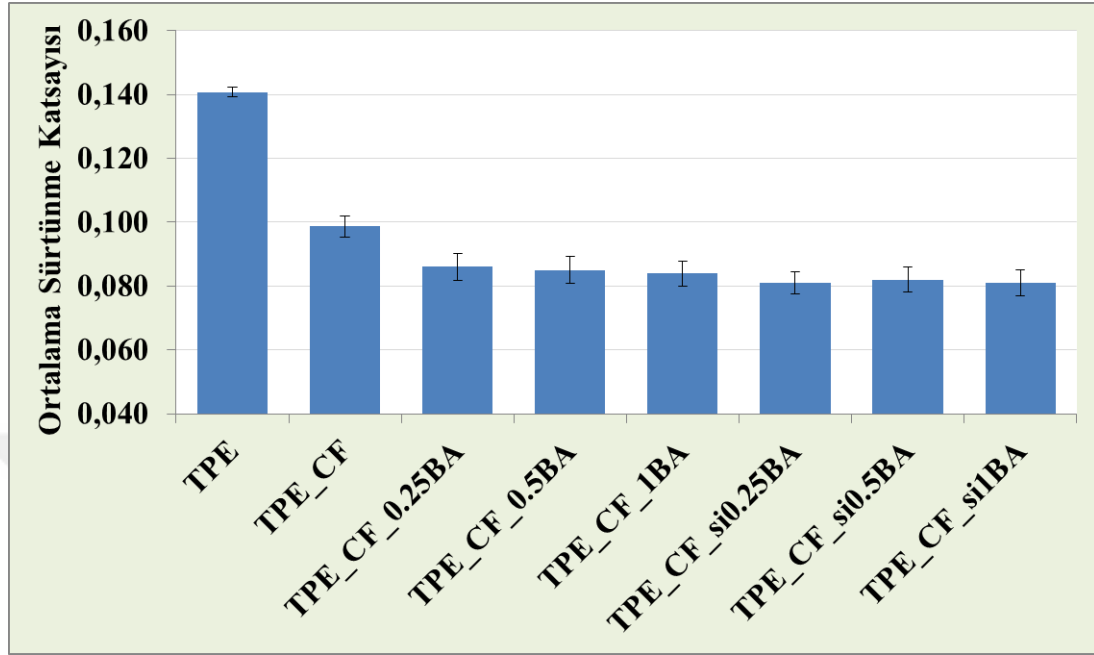
Şekil 4.35. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.33 ve Şekil 4.35 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrürün kompozit içerisinde artan miktarıyla sürtünme katsayısı değerleri daha da düşmekte ve en düşük sürtünme katsayısı değerine de ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Buradan, cam elyaf ve yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etkinin yanı sıra silanlama prosesi sonucunda hegzagonal bor nitrür partiküllerinin yüzey fonksiyonelliklerinin de arttığı ve böylece hegzagonal bor nitrür partikülleri ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiği sonuç olarak da hegzagonal bor nitrür partiküllerinin TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde sergiledikleri performansın daha da iyileştiği sonucuna varılabilir.

4.2.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

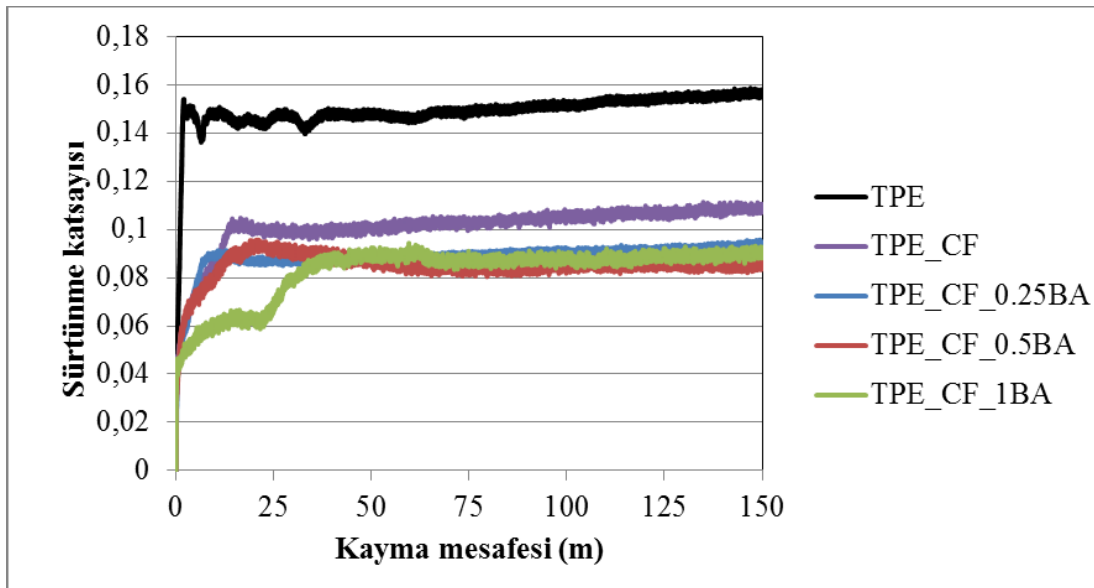
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil

4.36’da verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.36. Saf TPE’ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Saf TPE’ye ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit ilavesinin saf TPE’nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37. Saf TPE’ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.36 ve Şekil 4.37 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ilavesiyle sürtünme katsayısı değerinde azalma meydana gelmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü literatürden de bilindiği gibi polimerler takviye malzemeleri ile takviye edildikleri durumda genellikle sürtünme katsayılarında azalma meydana gelir.

Bu durumun sebebi, takviye malzemesinin kendisinden daha yumuşak olan polimerik matris içerisinde sert faz gibi davranması ve aşınma yüzeyi ile aşındırıcı top arasındaki temas alanını azaltmasıdır.

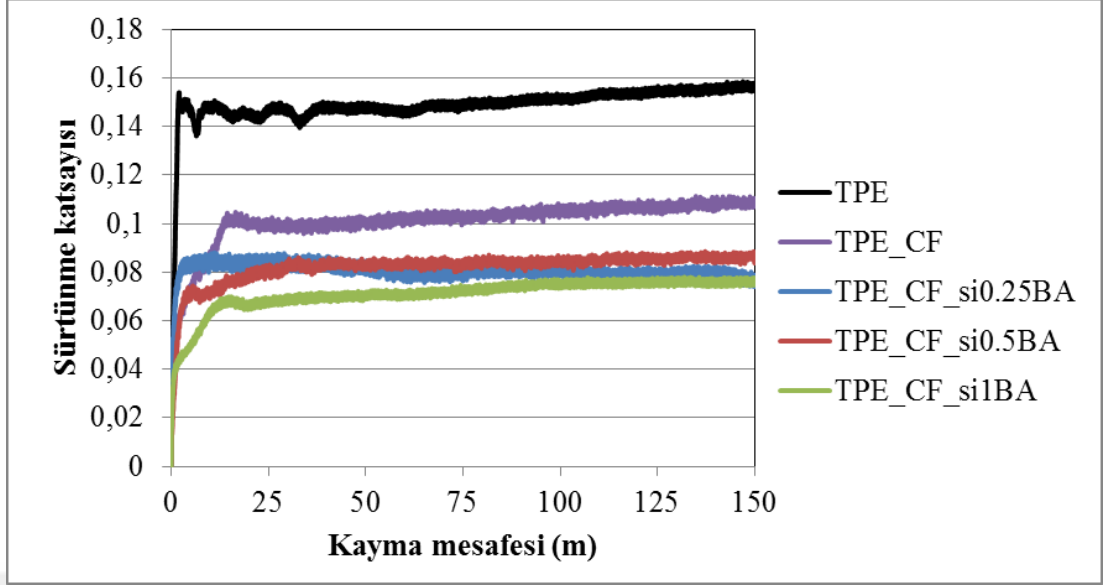
Böylece adhezif aşınma prosesi boyunca polimer yüzeyinin sıyrılması bir miktar engellendiği için sürtünme katsayısında da azalma meydana gelir (Karsli ve diğ., 2018).

Bununla birlikte Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'den gözlemlenen bir diğer sonuç karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde azalma meydana geldiğidir.

Öyle ki en düşük sürtünme katsayısı değerine ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış borik asit içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun karbon elyaf ve borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir.

Bu sonuçtan yola çıkarak, elyaf ile partikülün eş zamanlı kullanılması borik asitin polimerik matris içerisindeki homojen dağılımını iyileştirmiştir, böylece borik asit tabakaları yapı içerisinde daha iyi yönlenerak birbirleri üzerinden daha kolay kaymışlardır ve sonuç olarak borik asit polimerik matris içerisindeki katı yağlayıcılık görevini daha iyi yerine getirmiştir yorumları yapılabilir (Karatat ve diğ., 2019).

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.38. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.36 ve Şekil 4.38 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE'ye değişen ağırlık oranlarında silanlanmış borik asit ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde azalma meydana gelmektedir.

En düşük sürtünme katsayısı değerlerine ise ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmış borik asit içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun karbon elyaf ve borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir.

Diğer taraftan silanlanmamış borik asit içeren hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri ile silanlanmış borik asit içeren hibrit kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işleminin sürtünme katsayısı değerlerinde bir miktar iyileşme sağladığı görülmektedir. Özellikle %1 oranında borik asit içeren kompozitte bu iyileşme açık şekilde görülmektedir. Bu durum borik asit yüzeyine uygulanan silanlama prosesi ile ilişkilendirilebilir.

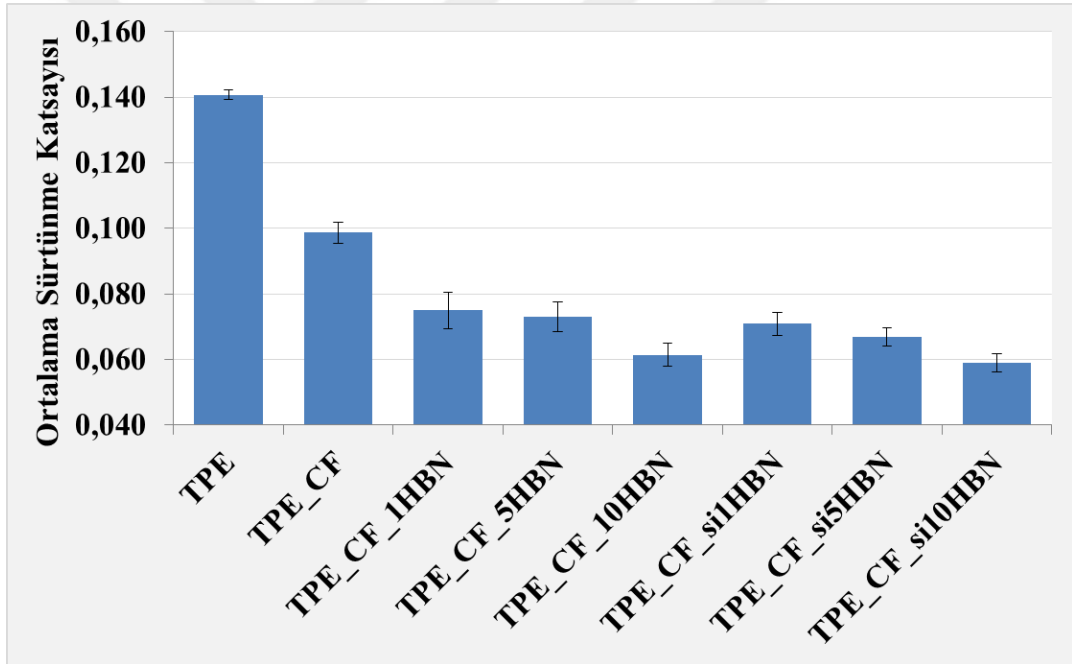
Buradan, karbon elyaf ve yüzeyi silanlanmış borik asitin eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etkinin yanı sıra silanlama prosesi sonucunda borik asit partiküllerinin yüzey fonksiyonelliklerinin de arttığı ve böylece borik asit partikülleri ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiği sonuç olarak da borik asit

partiküllerinin TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde sergiledikleri performansın daha da iyileştiği sonucuna varılabilir.

4.2.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

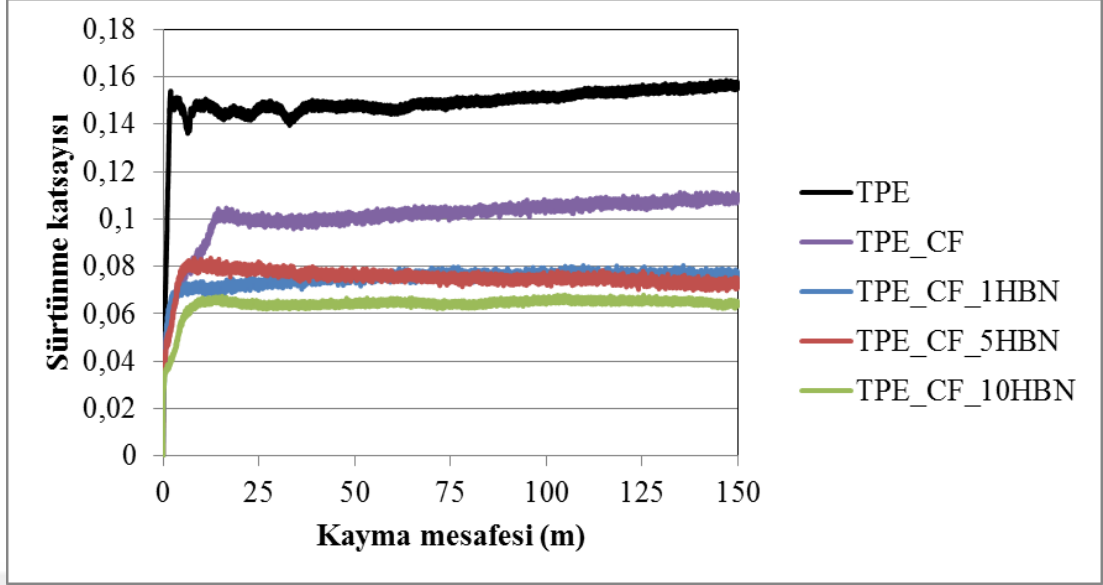
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.39'da verilmiştir.

Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.39. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.40'da verilmiştir.



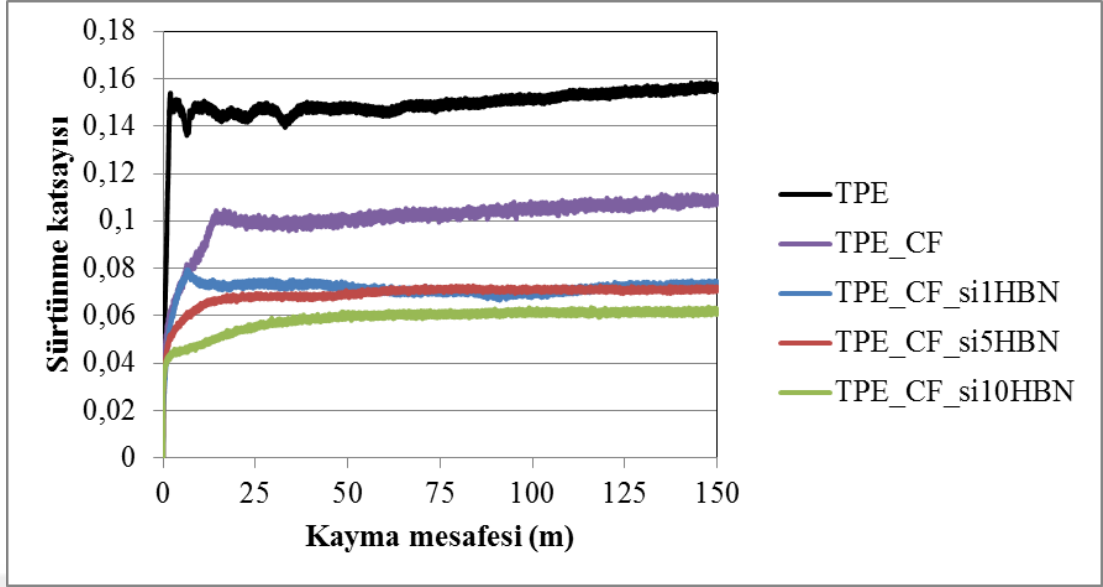
Şekil 4.40. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.39 ve Şekil 4.40 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir.

En düşük sürtünme katsayısı değerlerine ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır. Bu durumun karbon elyaf ve hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki aracılığıyla ortaya çıktığı söylenebilir.

Öyle ki, bu hibrit etki sayesinde hegzagonal bor nitrür partikülleri TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde yağlayıcılık performanslarını daha etkin şekilde sergilemektedirler (Karatat ve diğ., 2019).

Saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesinin saf TPE'nin sürtünme katsayısı değerleri üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.39 ve Şekil 4.41 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir.

Bununla birlikte yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrürün kompozit içerisinde artan miktarıyla sürtünme katsayısı değerleri de düşmekte ve en düşük sürtünme katsayısı değerine de ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren hibrit kompozitlerde ulaşılmaktadır.

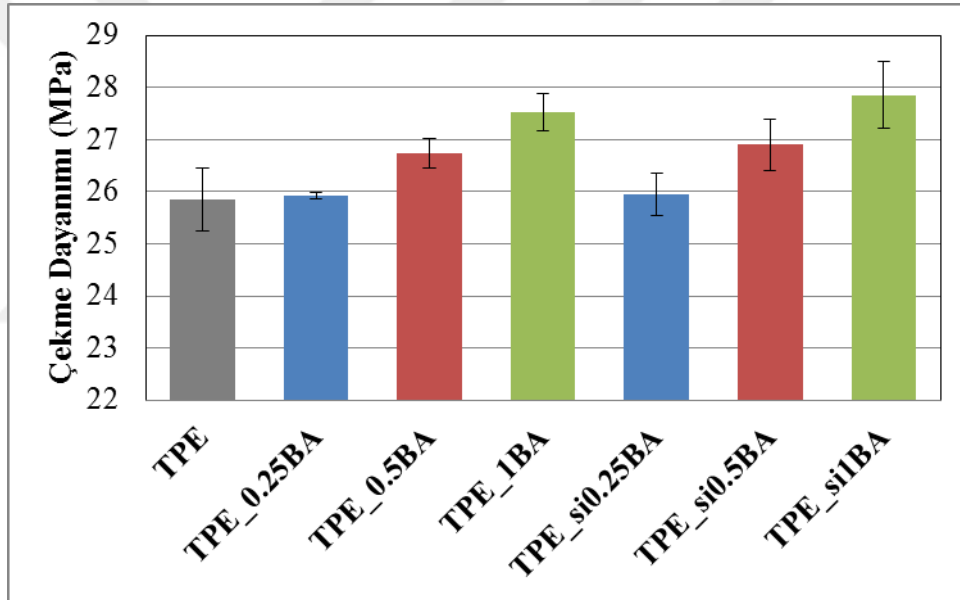
Buradan, karbon elyaf ve yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrürün eş zamanlı kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etkinin yanı sıra silanlama prosesi sonucunda hegzagonal bor nitrür partiküllerinin yüzey fonksiyonelliklerinin de arttığı ve böylece hegzagonal bor nitrür partikülleri ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiği sonuç olarak da hegzagonal bor nitrür partiküllerinin TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak adhezif aşınmayı azaltıcı yönde sergiledikleri performansın daha da iyileştiği sonucuna varılabilir.

4.3. Çekme Testi Sonuçları

4.3.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.42 – 4.44'te verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı (σ) değerleri Şekil 4.42'de verilmiştir.



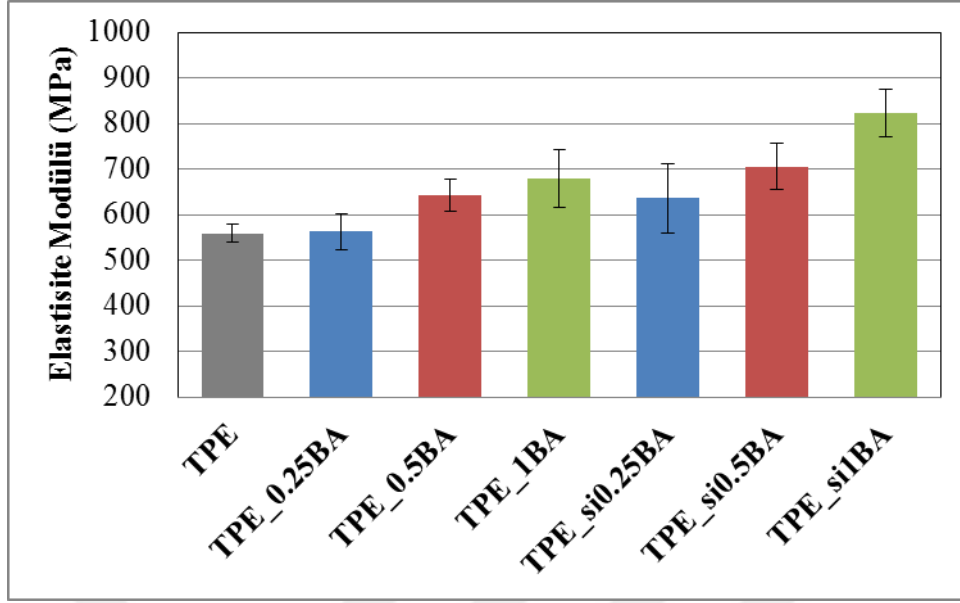
Şekil 4.42. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.42 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle çekme dayanımı değerlerinde artış meydana gelmektedir. Bu artışın miktarı ağırlıkça %0,25 oranında borik asit ilavesiyle az olsa da, en fazla artışa ağırlıkça %1 oranında borik asit ilavesiyle ulaşıldığı açıkça görülmektedir. Dolayısıyla artan borik asit oranıyla birlikte çekme dayanımı değerlerinin de artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Polimer matrisli kompozitlerde çekme dayanımını etkileyen en önemli faktör matris ile takviye elemanı arasındaki gerilim transferidir (Fu ve diğ., 2008; Nourbakhsh ve diğ., 2010).

Öyle ki, matrinden takviye elemanına etkin bir gerilim transferi olduğunda, matrise uygulanan çekme kuvveti takviye elemanına aktarılır. Bu durumda kompozitin karşılayabildiği çekme kuvveti değeri artış gösterir. Öte yandan, kompozit malzemelerde partikül takviyesinin yapıdaki etkinliğini belirleyen en önemli faktörlerden biri de takviye elemanının yapı içerisinde homojen dağılmasıdır (Hussain ve diğ., 2016). Matris içerisinde homojen bir şekilde dağılan partiküller, matrinden kendilerine transfer edilen kuvvetin daha etkin bir şekilde gerçekleşmesini sağlarlar. Sonuç olarak, borik asit partiküllerinin matris içerisinde homojen dağılım göstermesi ile birlikte matris ve takviye elemanı arasında etkin bir gerilim transferi sağlandığı söylenebilir.

Şekil 4.42'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda borik asit takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerlerinin daha da artmış olmasıdır. Ağırlıkça %0,25 oranında borik asit takviyesiyle çekme dayanımında önemli bir artış görülmezken, ağırlıkça %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit takviyesiyle çekme dayanımı değerlerinde artış olduğu açıkça görülmektedir. Partikül takviyeli kompozitlerde çekme özelliklerini belirleyen en önemli faktör matris ile takviye elemanı arasındaki gerilim transferidir. Öte yandan matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey yapışması ya da başka bir ifadeyle arayüzey etkileşimi, matrinden takviye elemanına olan gerilim transferini önemli bir şekilde etkilemektedir. Takviye elemanlarının yüzey modifikasyon işlemlerinden biri olan silanlama işlemi takviye elemanlarının yüzeyinde fonksiyonel gruplar oluşturarak matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey etkileşiminin kalitesini arttırmaktadır. Bununla birlikte silanlama işlemi ile partiküller matris içerisinde daha homojen bir dağılım sergileyebilmektedirler. Bu noktada silanlama işleminin etkisi ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, borik asite uygulanan silanlama işlemiyle birlikte takviye elemanının polimer matris içerisinde daha homojen bir şekilde dağıldığı, ara yüzey yapışma kalitesinin iyileştiği ve bunun neticesinde matrinden takviye elemanına daha etkili bir gerilim transferi olduğu söylenebilir (Xie ve diğ., 2010; Shookoohi ve diğ., 2008).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.43. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.43 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle modül değerleri artmıştır. Bu artışın miktarı ağırlıkça %0,25 oranında borik asit içeren örneklerde az olsa da, ağırlıkça %0,5 ve %1 oranında borik asit içeren kompozitlerin modül değerlerinin önemli ölçüde arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca bu artışın artan takviye oranıyla birlikte artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Rijit partikül takviyesiyle birlikte elastisite modülünde meydana gelen bu artış beklenen bir sonuçtur. Bu durum literatürde karışımlar kuralı ile açıklanmaktadır (Rothon, 2003; Fu ve Lauke, 1996; Qiu ve diğ., 2018). Bu kurala göre bir kompozitin modülü aşağıdaki Denklem (4.1) ile hesaplanabilir:

$$E = \Phi_1 E_{\text{matris}} + \Phi_2 E_{\text{takviye}} + (1 - \Phi_1 - \Phi_2) E_{\text{arayüzey}} \quad (4.1)$$

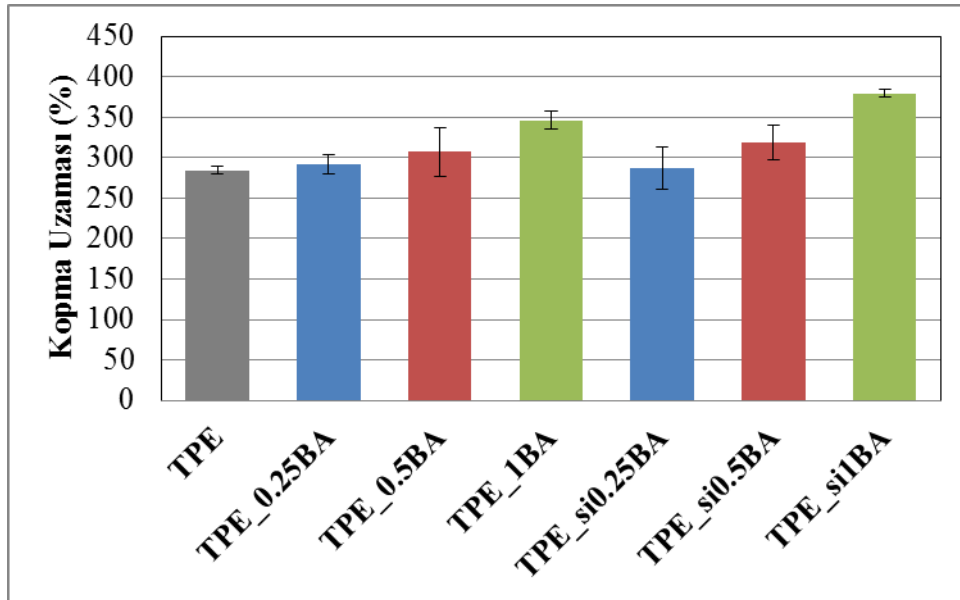
Denklemdaki sembolleri tanımlarsak; Φ_1 ve Φ_2 , sırasıyla matris ve takviye elemanın hacim oranıdır. E ise modül değerini ifade eder (Rothon, 2003; Fu ve Lauke, 1996; Qiu ve diğ., 2018).

Modül için elde edilen sonuçlar, literatürdeki karışımlar kuralına göre değerlendirildiğinde; borik asit ilavesinin kompozitin modül değerini arttırması, takviye edilen borik asitin modül değerlerinin saf TPE ile karşılaştırıldığında yüksek olması ile açıklanabilir. Takviye elemanlarının rijitliği polimerlerden yüksekse,

karışımlar kuralına göre kompozitin modülü de yüksek olmaktadır (Fu ve diğ., 2008).

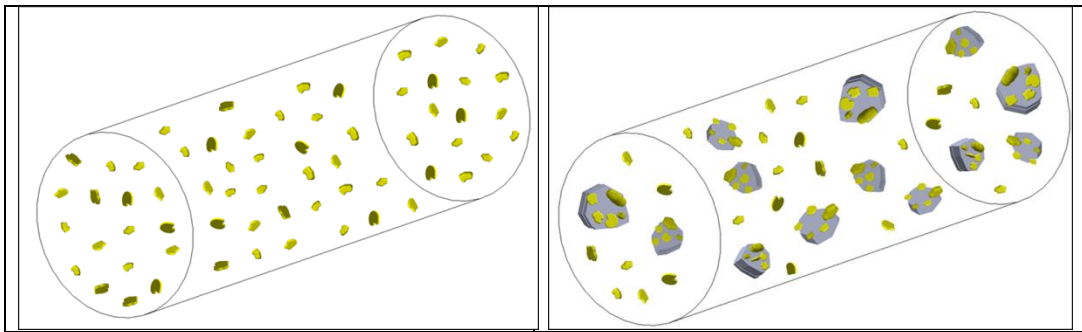
Şekil 4.43'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerinin daha da artmış olmasıdır. Literatürde takviye elemanı-matris arayüzey yapışma kalitesinin kompozitlerin modül değerleri üzerinde çok önemli bir etkisi olmadığı belirtilmiştir. Çünkü kompozit bir malzemenin modülü yapışmaya duyarlı olmayan düşük deformasyonda hesaplanan bir değerdir (Fu ve diğ., 2008). Ancak matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey yapışma kalitesini iyileştirmek amacıyla yapılan yüzey silanlama işlemi, takviye elemanlarının polimer matris içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmalarını da sağlayabilmektedir. Dolayısıyla yüzey silanlama işlemi neticesinde, polimer matris içerisinde daha homojen bir dağılım sergileyen borik asit partikülleri kompozitin daha rijit bir davranış sergilemesini sağlamış ve kompozitin modül değerlerini arttırmıştır yorumu yapılabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.44'te verilmiştir.



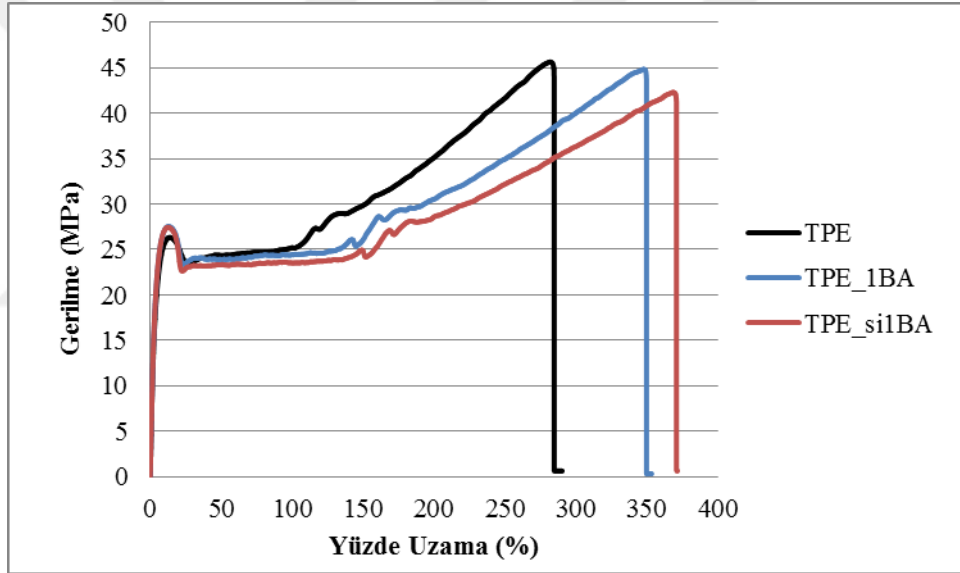
Şekil 4.44. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.44 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle kompozitin kopma uzaması değerlerinde artış olmuştur. Ağırlıkça %0,25 oranında borik asit ilavesiyle kopma uzaması değerinde az miktarda artış olurken, özellikle %1 ağırlık oranında borik asit içeren kompozitin kopma uzaması değerindeki artış açık şekilde görülmektedir. Dolayısıyla artan borik asit takviye oranıyla birlikte kompozit malzeme daha yüksek oranda uzama sergileyerek kopmaktadır denebilir. Rijit borik asit partikül ilavesiyle modül değerlerinde artış olan kompozitte kopma uzamasında düşüş olması beklenmektedir. Bu noktada, kopma uzamasında meydana gelen bu artış şaşırtıcı bir sonuçtur. Ancak bu durum literatürde “bilyalı rulman” (ball bearing) etkisi ile açıklanmaktadır. Öyle ki; termoplastik poliester elastomer sert faz ve yumuşak faz olmak üzere iki fazlı bir yapıdadır. Sert faz, malzemeye dayanım özellikleri kazandırırken yumuşak faz düşük sıcaklıklarda bile yüksek elastikiyet özellikleri kazandırır. Bazı takviye elemanlarının sert faza olan afinitesi (uyumluluk) daha fazla olabilmektedir. Bu nedenle sert faza karşı yüksek afiniteye sahip olan takviye elemanları sert faz üzerinde daha fazla nüfuz ederler. Bu etkileşimin sonucunda sert faz bir “bilya” (ball) rolü alırken takviye elemanı da sert fazın etrafına nüfuz ederek “rulman gibi” (bearing like) bir rol alır. Ortaya çıkan bu bilyalı rulman mekanizması nedeniyle takviye elemanının yumuşak faz ile olan etkileşimi azalır. Yumuşak faz da termoplastik poliester elastomer matriste sergilediği elastikiyet etkinliğini daha büyük oranda gösterir (Qiu ve diğ., 2016). Sonuç olarak, bu durum kompozitin partikül takviyesi ile birlikte kopma uzaması değerini arttırır. Borik asit partiküllerinin sert faza olan yüksek afiniteleri sebebiyle daha fazla nüfuz etmelerini gösteren mekanizma Şekil 4.45'te şematik olarak gösterilmiştir (Qiu ve diğ., 2016). Sarı ile belirtilen bölgeler sert fazı ifade ederken, gri ile belirtilen bölgeler borik asiti ifade etmektedir.



Şekil 4.45. Bilyalı rulman mekanizmasının şematik gösterimi (Qiu ve diğ.,2016)

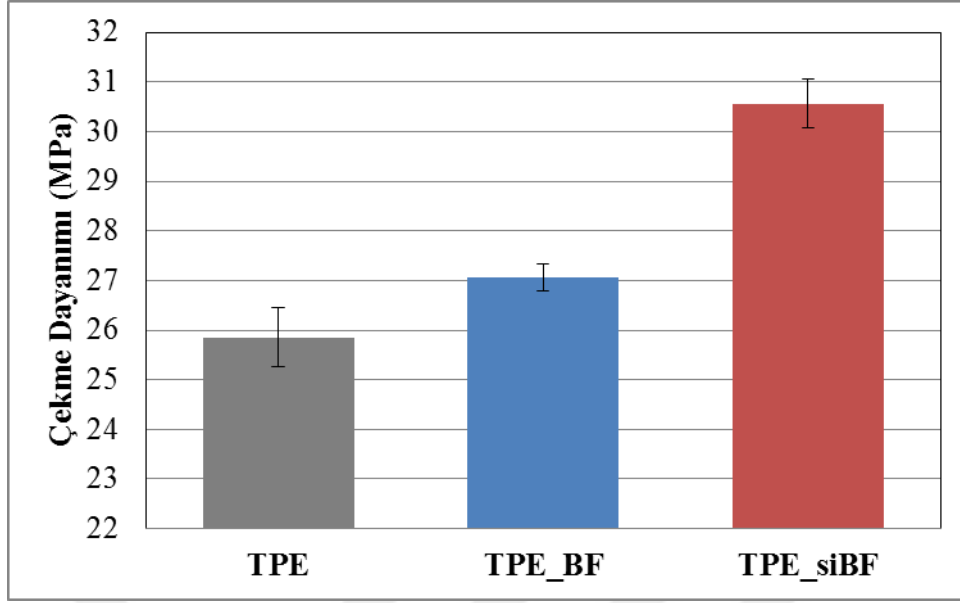
Şekil 4.44'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kopma uzaması değerlerinde ağırlıkça %0,25 ve %0,5 takviye oranları için önemli bir değişme olmazken ağırlıkça %1 borik asit takviye oranı için bir miktar artış olmasıdır. Bunun sebebi matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey etkileşimini iyileştirme amacıyla borik asit partiküllerine uygulanan silanlama işlemidir. Öyle ki, yüzey silanlama işlemiyle birlikte borik asitin sert faz ile olan etkileşimi artmakta ve dolayısıyla elastomerik faz ile olan etkileşimi azalmaktadır. Sonuç olarak elastomerik faz elastikiyet özelliklerini daha etkin bir şekilde sergileyerek kompozitin sünekliliğini arttırmaktadır (Qiu ve diğ., 2016). Şekil 4.46'da saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.46. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.47 – 4.49'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı (σ) değerleri Şekil 4.47'de verilmiştir.



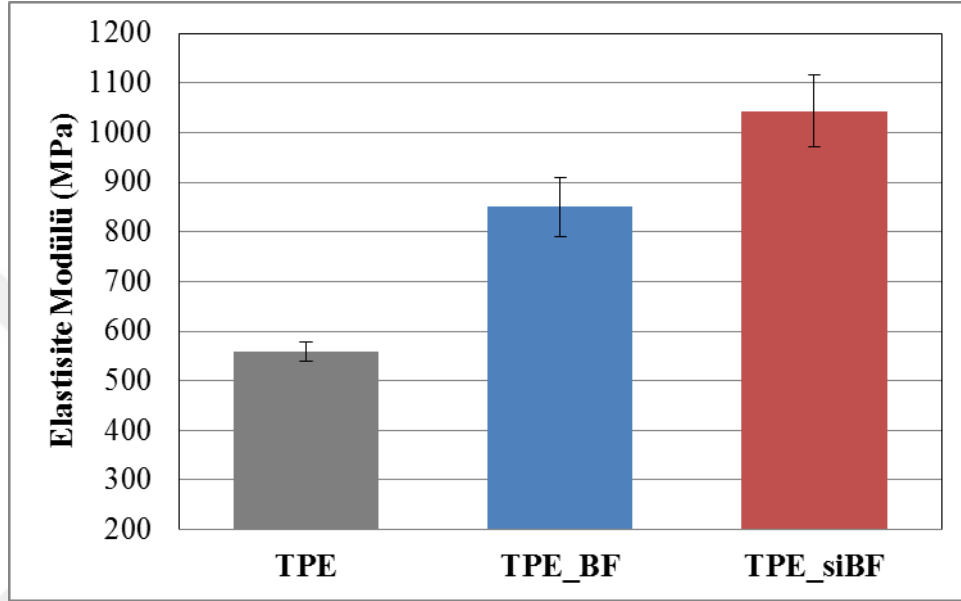
Şekil 4.47. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.47 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle çekme dayanımı artmıştır ve bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü polimerlere göre daha yüksek dayanım değerlerine sahip elyaflar polimer matrisine eklendiklerinde saf polimerin çekme dayanımı değerini arttırmaktadırlar. TPE matrisin yük taşıma kapasitesi de bazalt elyafa kıyasla daha düşüktür. Bu sebeple TPE matrisine ilave edilen bazalt elyaf ile birlikte matrisine gelen yükün bir kısmı bazalt elyafa transfer edilir. Dolayısıyla polimer matrisin daha az yük taşıması sağlanır. Sonuç olarak, polimer matris ve bazalt elyaf arasında etkin bir şekilde gerçekleşen gerilim transferi ile birlikte polimerik malzemenin de çekme dayanımı değeri artar (Ku ve diğ., 2011).

Şekil 4.47'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımının silanlanmamış bazalt elyaf takviyesine göre daha da artmış olmasıdır. Matris ve elyaf arasındaki gerilim transferini belirleyen en önemli faktörlerden birisi matris-fiber arayüzey yapışmasının kalitesidir (Ku ve diğ., 2011). Yüzey silanlama işlemi de, matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey yapışmasının kalitesini iyileştirmeye yönelik bir prosestir. Dolayısıyla, bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi ile birlikte bazalt elyaf yüzeyinde fonksiyonel gruplar oluşturulmuş ve matris ile bazalt elyaf arasında daha iyi bir arayüzey etkileşimi sağlanarak daha etkili bir matris-elyaf

gerilim transferi ortaya çıkmıştır. Oluşan bu durumda çekme dayanımı değerlerini iyileştirmiştir (España ve diğ., 2013).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.48'de verilmiştir.

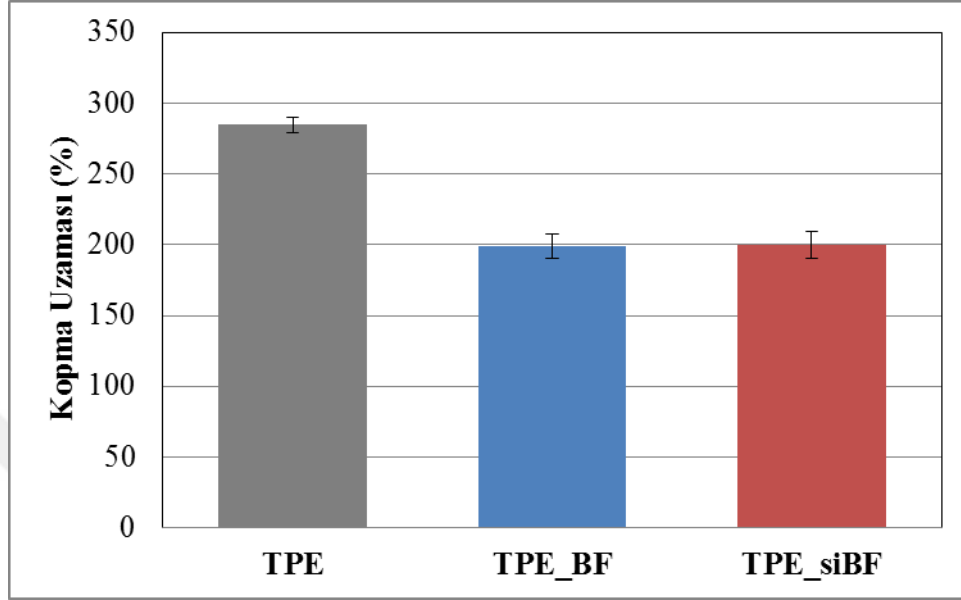


Şekil 4.48. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.48 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle modül değeri artmıştır. Bunun sebebi karışımlar kuralı ile açıklanabilir ve matrise göre daha yüksek modül değerine sahip olan bazalt elyaf ilavesiyle kompozitin modül değerinde iyileşme gözlenmiştir yorumu yapılabilir.

Şekil 4.48'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerinin daha da artmış olmasıdır. Bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemiyle birlikte bazalt elyaf ile matris arasındaki arayüzey yapışma kalitesi artmıştır. Artan bu yapışma kalitesiyle arayüzey daha rijit bir davranış sergilemiş ve karışımlar kuralına göre kompozitin de modül değerini arttırmıştır yorumu yapılabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.49'da verilmiştir.

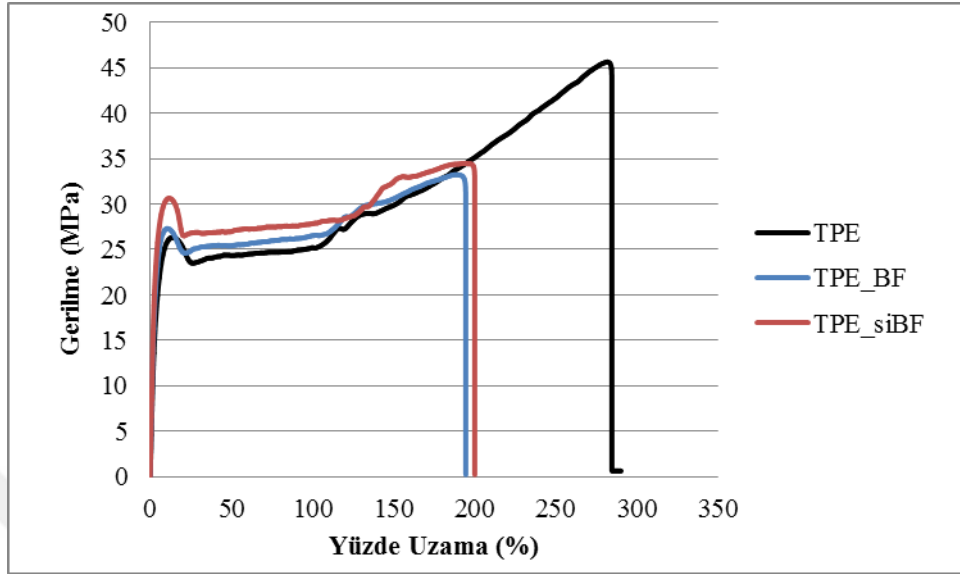


Şekil 4.49. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.49 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle kopma uzaması düşmüştür. Bunun sebebi elyaf takviyesiyle birlikte kompozit malzemenin daha gevrek bir davranış sergilemesidir. Elyaf takviyesiyle birlikte polimer kompozitlerin kopma uzaması değerinin azalması beklenen bir sonuçtur. Öyle ki, kompozit malzemedeki elyafların uçlarındaki gerilim yığılması sebebiyle bu noktadaki gerilim seviyesi yüksektir. Çekme kuvvetine maruz kalan kompozit malzemedeki ilk çatlaklar bu bölgede oluşmaya başlar. Oluşan bu çatlaklar takviye elemanı ile matris arasındaki arayüze, buradan da matrise aktarılır. Çekme kuvveti sebebiyle artan gerilimle birlikte bu çatlaklar büyümeye başlar ve kritik bir seviyeye ulaştığında kompozit malzemenin kopmasına sebebiyet verir (Fu ve diğ., 2000).

Şekil 4.49'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış elyaf takviyesine göre benzer bir davranışın olmasıdır. Bu nedenle bazalt elyafı silanlamanın kompozit malzemenin kopma uzaması özelliği üzerinde kayda değer bir değişim yaratmadığı söylenebilir.

Şekil 4.50'de saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.50. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri

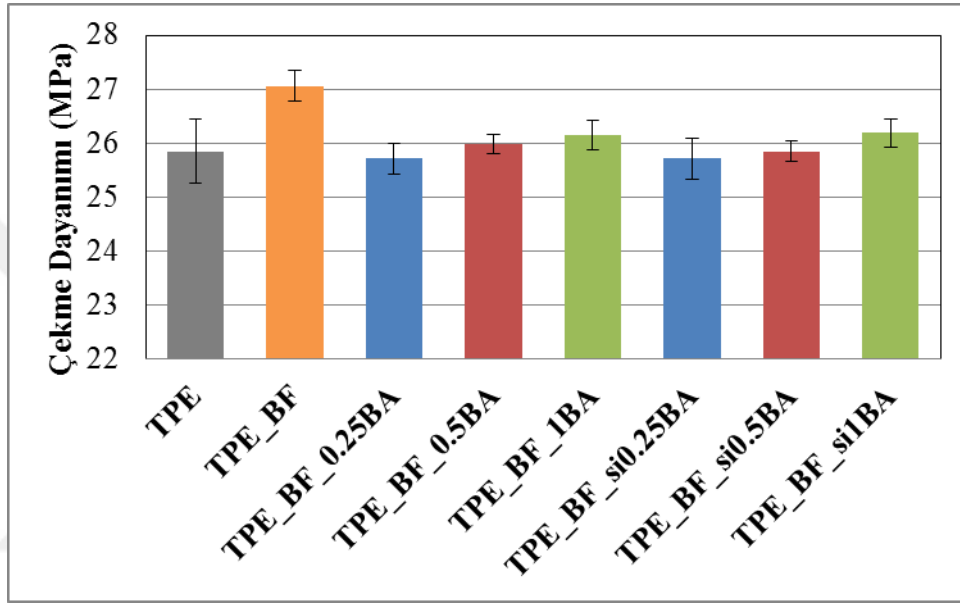
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.51 – 4.53'te verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı (σ) değerleri Şekil 4.51'de verilmiştir.

Şekil 4.51 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle çekme dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi matristen partiküle olan yük transferi mekanizmasının etkinliğinin azalmasıdır.

Etkinliğin azalmasına borik asit partiküllerinin çok düşük en-boy oranına (aspect ratio) sahip olmalarının rol oynamış olabileceği yorumu yapılabilir (Polat ve Kaynak, 2016).

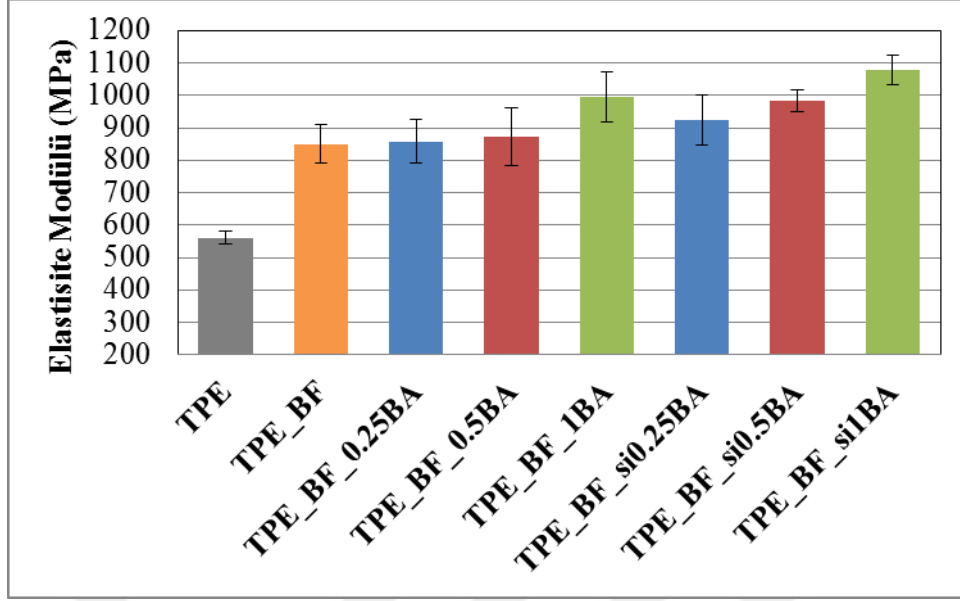
Öyle ki düşük en-boy oranına (aspect ratio) sahip borik asit partikülleri elyaf ile birlikte takviye edildiklerinde matrise iyi bir şekilde tutunamaz ve bu nedenle sadece bazalt elyaf takviyesine göre daha düşük bir çekme dayanımı değeri sergilerler.



Şekil 4.51. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.51'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımı değerlerinde önemli bir değişiklik meydana gelmediğidir. Bunun sebebi düşük oranda olan borik asit takviye oranının silanlamanın etkinliğini hibrit kompozit içerisinde sergileyememesidir şeklinde açıklanabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.52'de verilmiştir.



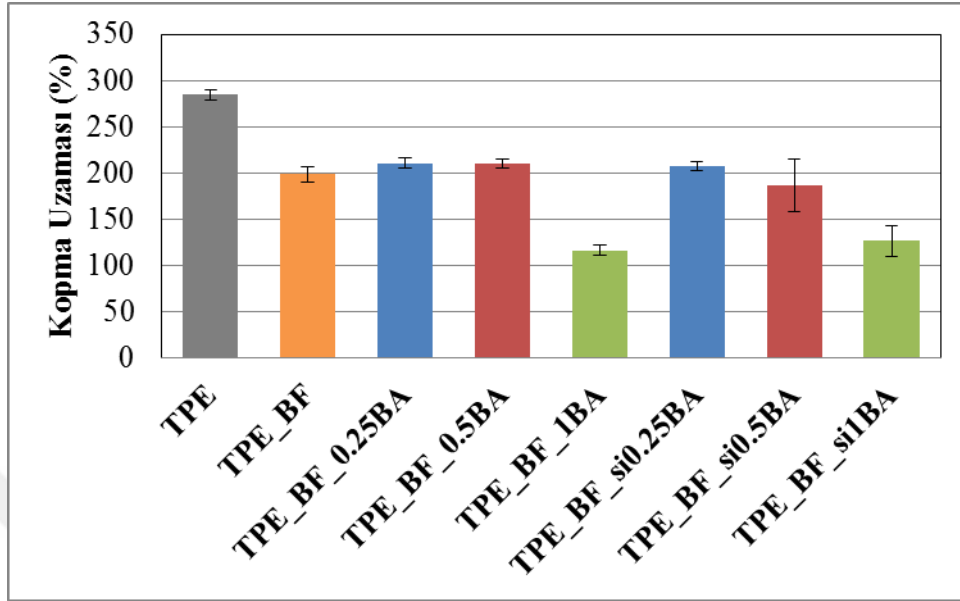
Şekil 4.52. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.52 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle ağırlıkça %0,25 ve %0,5 oranlarında borik asit içeren numunelerin modül değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte ağırlıkça %1 oranında borik asit ilavesiyle modül değerinde artış olduğu görülmektedir. Borik asit takviye oranının %1 olmasıyla birlikte borik asit partiküllerinin modülü bazalt elyafın üzerinde olmaktadır. Dolayısıyla bu durum karışımlar kuralına göre bazalt elyaf takviyeli kompozitin modül değerini arttırmıştır (Qiu ve diğ., 2018).

Şekil 4.52'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinde artan takviye oranıyla birlikte artış olmasıdır. Silanlama işlemi ile birlikte; borik asit partikülleri, kompozit içerisinde daha iyi bir dağılım sergilemiş ve takviye elemanı ile matris arasındaki arayüzey yapışması iyileşmiştir. Karışımlar kuralına göre arayüzeyin modülünün artmasıyla birlikte kompozitin de modülü arttırmıştır yorumu yapılabilir (Xie ve diğ., 2010).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE

matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.53'te verilmiştir.



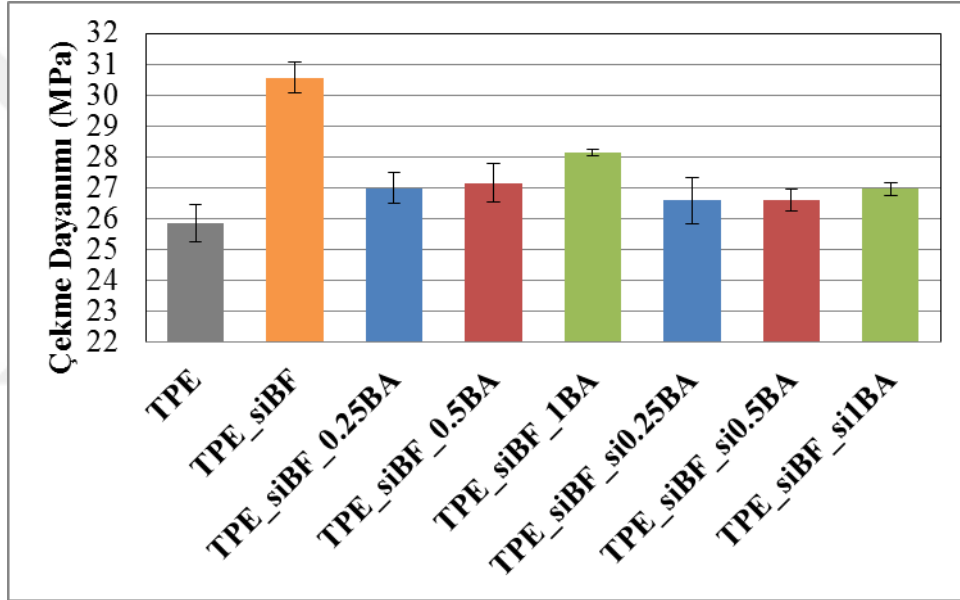
Şekil 4.53. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.53 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle ağırlıkça %0,25 ve %0,5 takviye oranlarında kayda değer bir değişim oluşmamıştır. Bununla birlikte takviye oranı %1 olduğunda ise kompozitin daha düşük bir kopma uzaması değerinde koptuğu görülmektedir. Bunun sebebi %1 borik asit takviye oranıyla birlikte kompozit malzemenin daha rijit bir hal alması ve kopma uzaması kabiliyetinin azalmasıdır (Polat ve Kaynak, 2016).

Şekil 4.53'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kopma uzaması değerlerinde ağırlıkça %0,25 borik asit takviye oranı için önemli bir değişiklik olmazken, ağırlıkça %0,5 borik asit takviye oranına bir miktar azalma olmasıdır. Bunun sebebi borik asit partiküllerinin silanlanmasıyla birlikte arayüzey yapışma kalitesinin artması ve dolayısıyla arayüzeyin rijitliğinin artmasıdır. Bu artışla birlikte kompozitin süneklik derecesi azalır ve kopma uzaması değeri düşer.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.54 – 4.56'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.54'te verilmiştir.

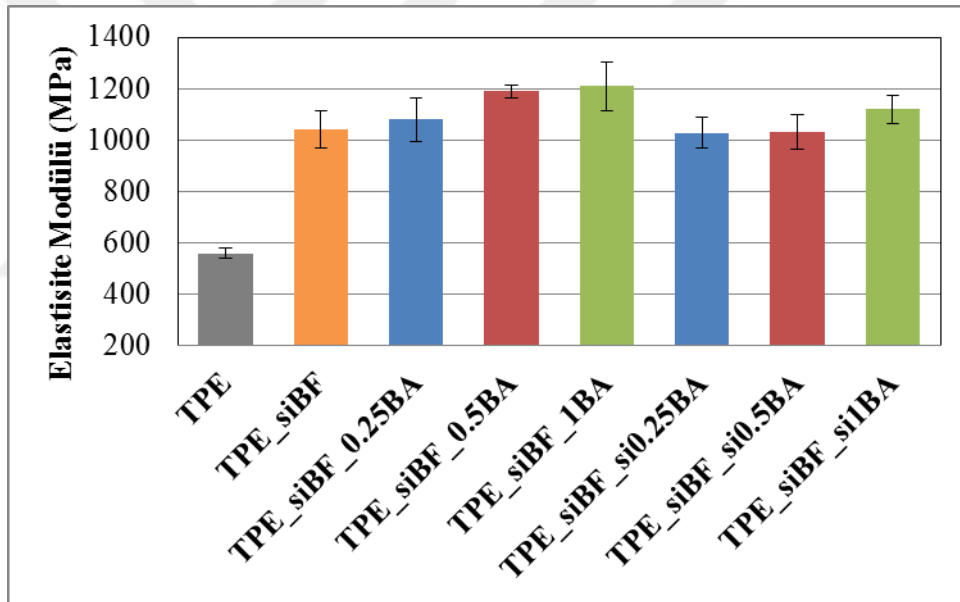


Şekil 4.54. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.54 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle çekme dayanımı değerleri azalmıştır. Bunun sebebi matristen partiküle olan yük transferi mekanizmasının etkinliğinin azalmasıdır. Etkinliğin azalmasında borik asit partiküllerin çok düşük en-boy oranına sahip olmalarının etkisi olabileceği yorumu yapılabilir (Polat ve Kaynak, 2016). Öyle ki düşük en-boy oranına sahip borik asit partikülleri elyaf ile birlikte takviye edildiklerinde matrise iyi bir şekilde tutunamazlar ve bu nedenle sadece elyaf takviyesine göre daha düşük bir çekme dayanımı değeri elde edilir.

Şekil 4.54'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımı değerlerinde silanlanmamış borik asit takviyeli kompozitlere göre bir miktar düşüş olmasıdır. Bunun sebebi her iki takviye elemanının silanlanmasıyla birlikte yapı içerisinde reaksiyona girmeyen silan bağlama ajanı olabilme durumudur. Böyle bir durumda silan yapı içerisinde plastikleştirici bir etki göstererek çekme dayanımı değerini düşürebilmektedir (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004; Shookoohi ve diğ., 2008).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.55'te verilmiştir.

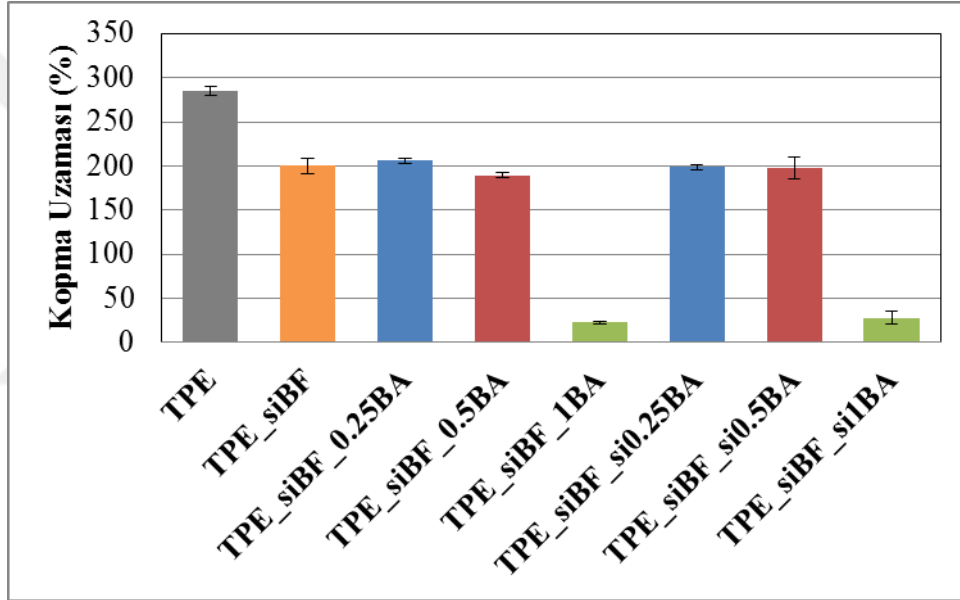


Şekil 4.55. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.55 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle modül değerleri artmıştır. Bunu sebebi karışımlar kuralı ile açıklanabilir ve saf polimere göre daha yüksek rijitlik değerine sahip borik asit partikülü silanlanmış bazalt elyaf takviyesi ile birlikte kompozitin modül değerlerini daha da arttırmıştır denebilir.

Şekil 4.55'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinde bir miktar düşüş olmasıdır. Bunun sebebi her iki takviye elemanının silanlanması sonucunda, silan moleküllerinin arayüzey modül değerinde azalma yapabilme durumudur. Bu durumda karışımlar kuralına göre kompozitin modül değerlerinde azalma gözlemlenir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.56'da verilmiştir.



Şekil 4.56. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

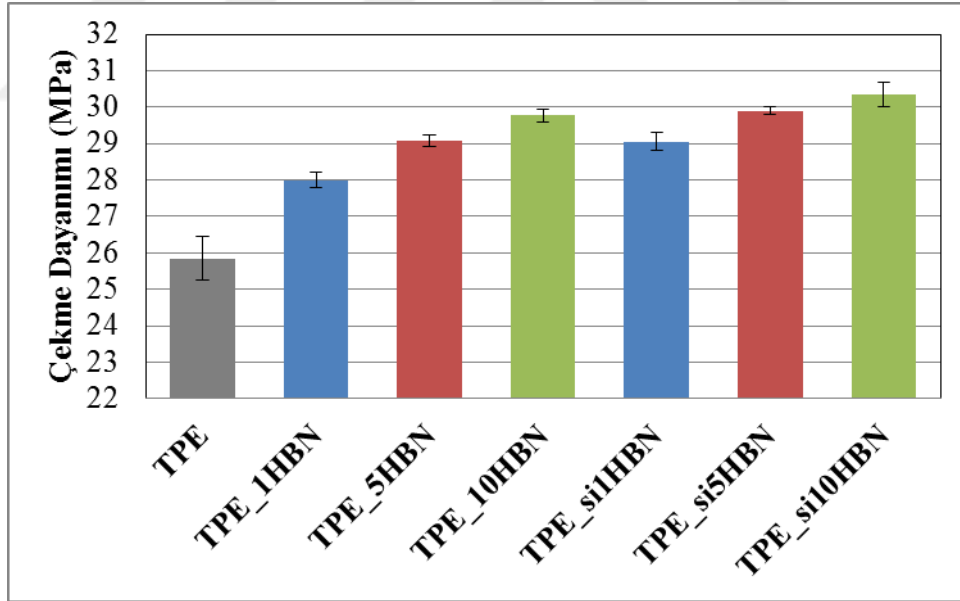
Şekil 4.56 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle ağırlıkça %0,25 oranında borik asit içeren kompozitte önemli bir değişiklik olmamasına rağmen artan takviye oranıyla birlikte kopma uzaması değerleri azalmıştır. Bunun sebebi artan borik asit oranıyla birlikte polimer kompozitin rijitliğinin artması ve kopma uzaması kabiliyetinin azalmasıdır. Ya da başka bir ifadeyle süneklik seviyesinin önemli oranda düşmesidir (Polat ve Kaynak, 2016).

Şekil 4.56'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış borik asit taviyeli kompozitlere göre benzer kopma uzaması değerleri elde edilmiş olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işleminin bazalt elyaf ve borik asit içeren kompozitlerin kopma uzaması değerleri üzerinde önemli bir etkinliğinin olmamasıdır.

4.3.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.57 – 4.59'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.57'de verilmiştir.



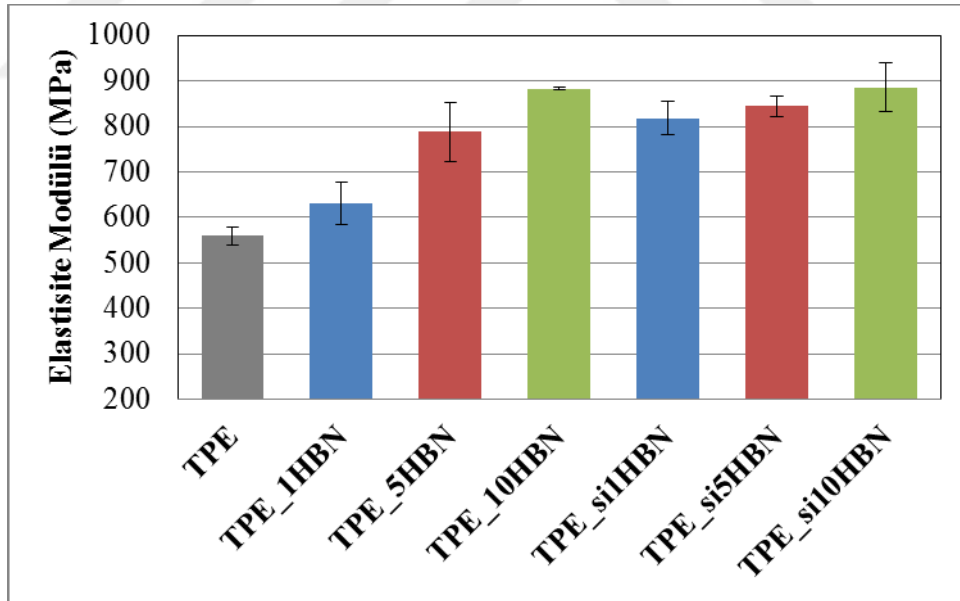
Şekil 4.57. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.57 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle çekme dayanımı değerleri artmıştır. Bu artış eğiliminin artan takviye oranıyla paralel olduğu söylenebilir. En fazla artış ağırlıkça %10 HBN içeren kompozitte elde edilmiştir. Polimerlere partikül

takviyesinin çekme dayanımını arttırması literatürden bilinen bir sonuçtur. TPE matris ile hegzagonal bor nitrür arasında iyi bir etkileşim olması sebebiyle yapışma kalitesinin de iyi olması beklenir. Bu sayede matristen partikül takviyesine etkili bir yük transferi gerçekleşir. Bu da çekme dayanımı değerlerini arttırır yorumu yapılabilir (Zhou ve diğ., 2014).

Şekil 4.57'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımının daha da artmış olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işlemi ile birlikte hegzagonal bor nitrürün yapı içerisindeki homojen dağılımının iyileşmesi ve daha iyi bir arayüzey yapışma kalitesinin oluşmasıdır. Bu sayede daha etkili bir gerilim transferi sergilenir ve çekme dayanımı değerlerinde artış gözlemlenir (Zhou ve diğ., 2014).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.58'de verilmiştir.



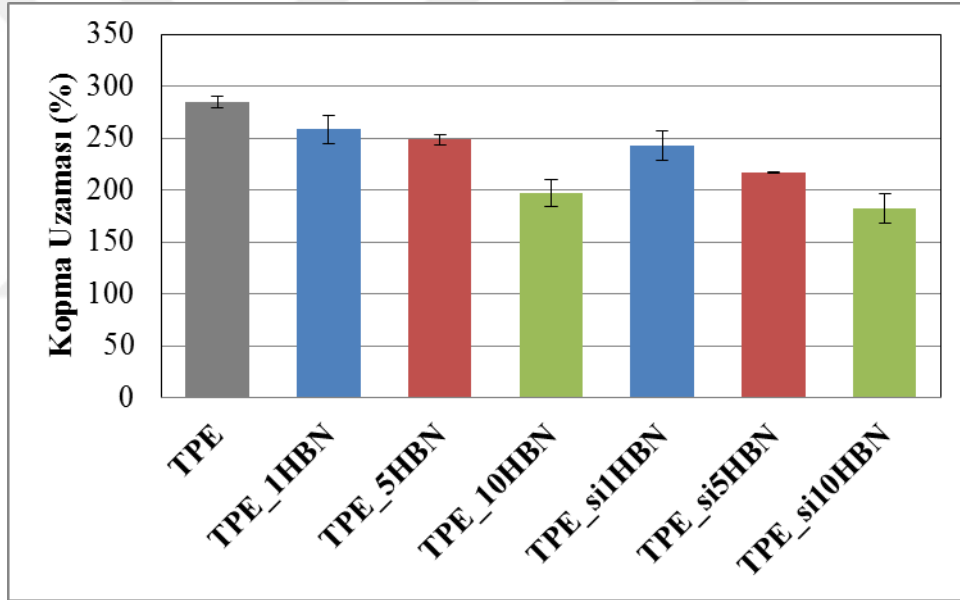
Şekil 4.58. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.58 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle modül değerleri artmıştır. Bu literatürde karışımlar kuralı ile açıklanabilir ve polimere göre daha yüksek rijitliğe

sahip partikül ilavesi ile kompozitin modül değerleri artmıştır denebilir (Fu ve diğ., 2008).

Şekil 4.58'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinin daha da artmış olmasıdır. Bunun sebebi karışımlar kuralı ile açıklanabilir. Silanlamayla birlikte hegzagonal bor nitrür ile takviye elemanı arasındaki arayüzeyin modülü artmış dolayısıyla kompozit malzemenin de modül değerlerinde artış olmuştur (Qiu ve diğ., 2018).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.59'da verilmiştir.

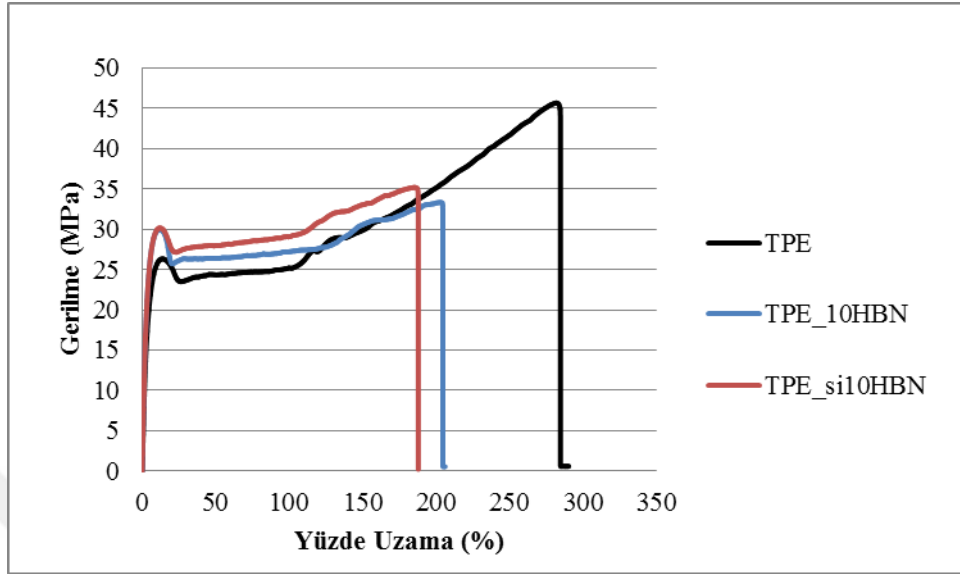


Şekil 4.59. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.59 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kopma uzaması değerleri azalmıştır. Kompozit daha rijit hale gelmiş, bu nedenle kompozit malzemenin yüksek oranda kopma uzaması sergileme davranışı azalmıştır.

Şekil 4.59'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kopma uzaması değerleri bir miktar azalmış olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işlemi ile birlikte sistemin rijitliğinin artmasıdır.

Şekil 4.60'ta saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri görülmektedir.



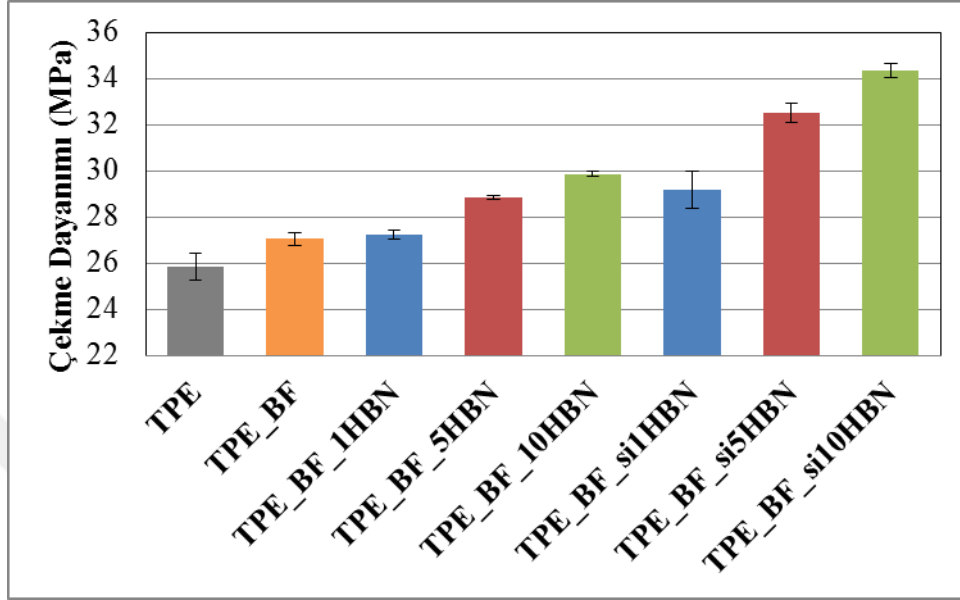
Şekil 4.60. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait gerilme-yüzde uzama eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.61 – 4.63'te verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.61'de verilmiştir.

Şekil 4.61 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle çekme dayanımı değerleri artmıştır. Bunun sebebi elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı olarak ilavesiyle ortaya çıkan sinerjik etki durumudur.

Bu etkiyle takviye elemanları kompozit malzeme içerisinde daha homojen bir şekilde dağılırlar ve böylece matristen takviye elemanına olan gerilim transferinin daha etkili bir şekilde gerçekleşmesi sağlanır (Lin ve diğ., 2012; Pedrazzoli ve diğ., 2014).



Şekil 4.61. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

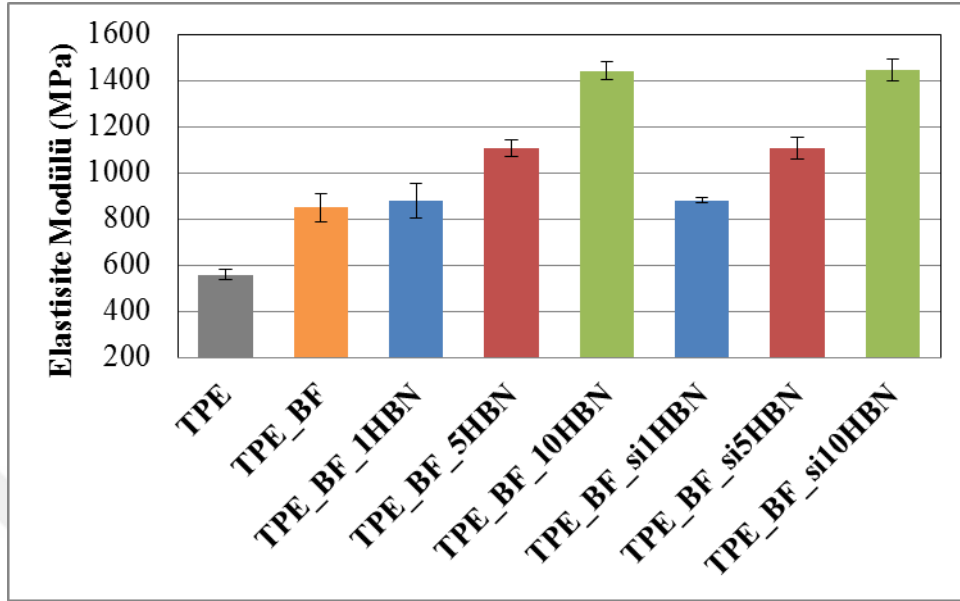
Şekil 4.61'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımı değerlerinin daha da artmış olmasıdır.

Hegzagonal bor nitrür yüzeyinin silanlanmasıyla birlikte arayüzey yapışma kalitesi artmış ve daha etkin yük transferi gerçekleşmiştir. En fazla artışın olduğu numune ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren kompozit malzemedir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.62'de verilmiştir.

Şekil 4.62 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle modül değerleri artmıştır. Literatürden hegzagonal

bor nitrürün yüksek modül değerine sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla karışımlar kuralına göre bu durum kompozit malzemenin de modül değerini artırır.



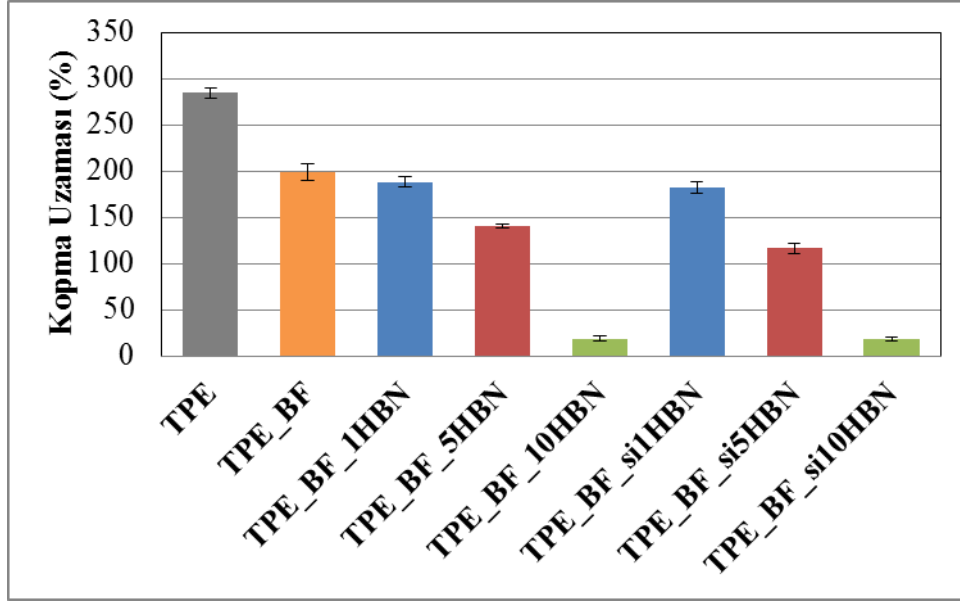
Şekil 4.62. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.62'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemiş olmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.63'te verilmiştir.

Şekil 4.63 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kopma uzaması değerleri azalmıştır. Bunun sebebi kompozitin rijitliğinin artması ve süneklik derecesinin azalmasıdır.

Şekil 4.63'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda önemli bir değişiklik olmamasıdır.

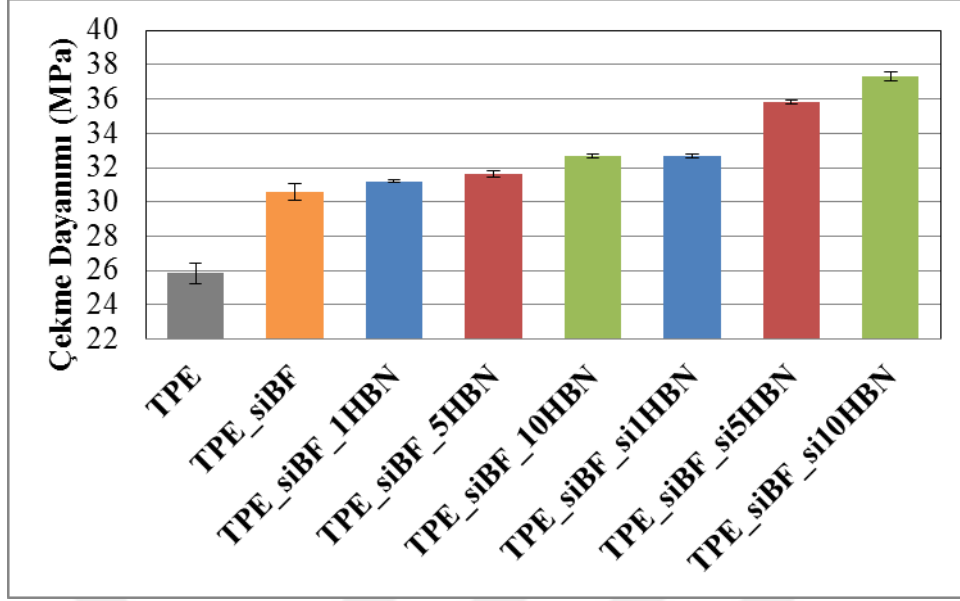


Şekil 4.63. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.64 – 4.66'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.64'te verilmiştir.

Şekil 4.64 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle çekme dayanımı değerleri artmıştır. Bunun sebebi hibrit ilaveyle ortaya çıkan sinerjik etkidir (Lin ve diğ., 2012; Pedrazzoli ve diğ., 2014). Bu etkiyle takviye elemanları arasındaki arayüzey kalitesi iyileşmiştir. İyileşen bu kalite ile birlikte matristen takviye elemanına olan gerilim transferi etkinliği artmıştır.



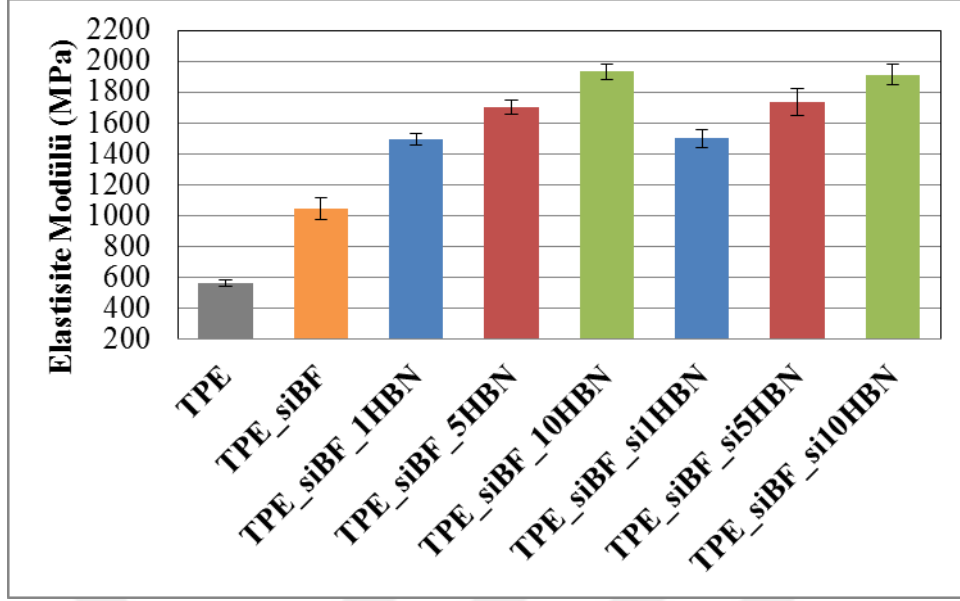
Şekil 4.64. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.64'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımı değerlerinin daha da artmış olmasıdır. Silanlamayla arayüzey yapışma kalitesi artmış ve matristen takviye elemanına daha etkin yük transferi gerçekleşmiştir. En fazla artışın olduğu numune ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren kompozittir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.65'te verilmiştir.

Şekil 4.65 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle modül değerleri artmıştır.

Bunun sebebi karışımlar kuralına göre açıklanabilir. Yüksek rijitliğe sahip hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kompozitin de modül değerleri artmıştır.



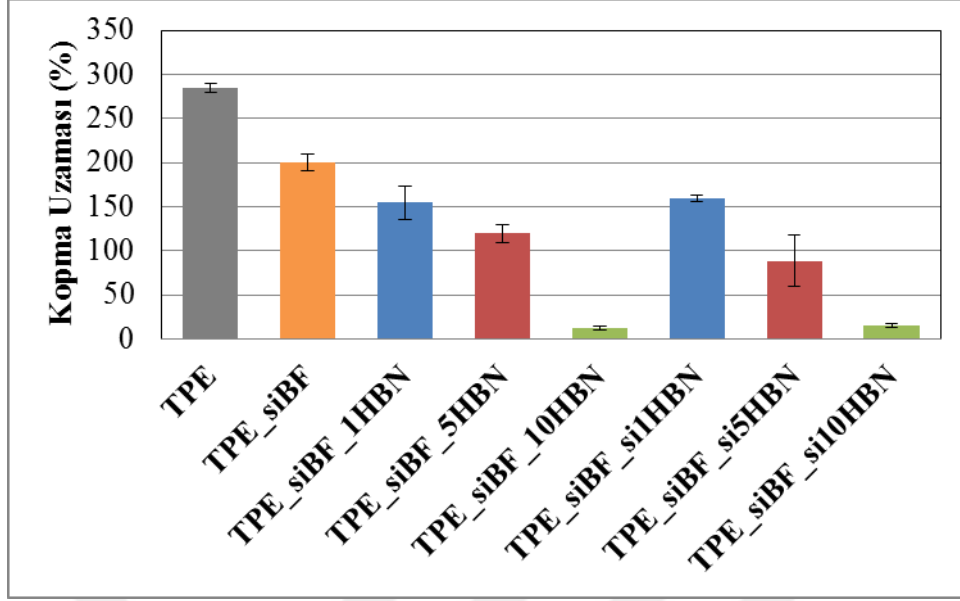
Şekil 4.65. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.65'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemesidir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.66'da verilmiştir.

Şekil 4.66 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kopma uzaması değerleri azalmıştır. Kompozitler, partikül ve elyafın birlikte ilavesiyle daha rijit bir hal almış ve kopma uzaması oranı azalmıştır.

Şekil 4.66'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış olan kompozitlere göre benzer kopma uzaması değerlerinin elde edilmiş olmasıdır.



Şekil 4.66. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

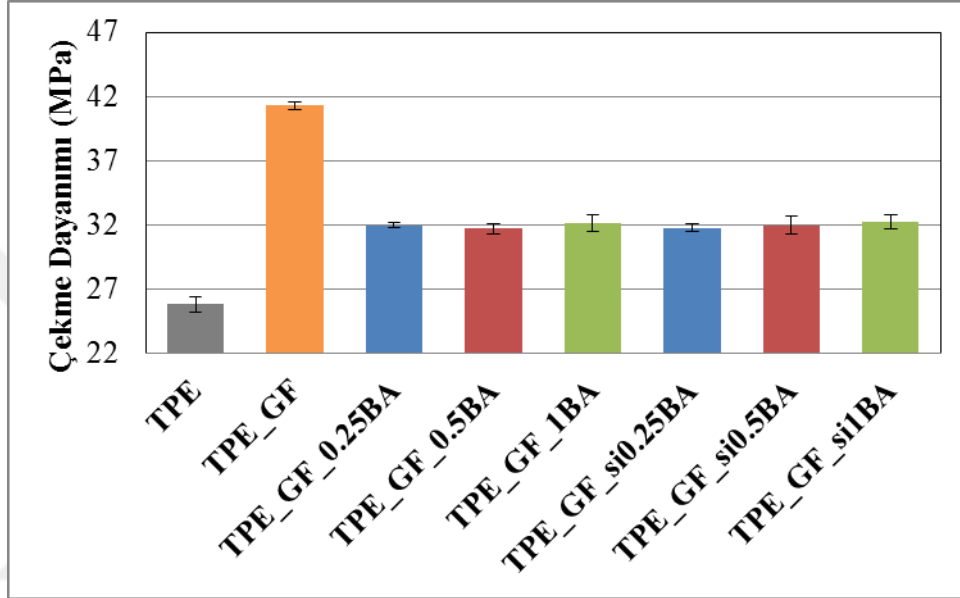
4.3.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.67 – 4.69'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.67'de verilmiştir.

Şekil 4.67 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle çekme dayanımı düşmüştür. Bunun sebebi cam elyaf ve borik asitin birlikte ilavesiyle iyi bir ara yüzey etkileşiminin olmaması ve dolayısıyla etkin bir gerilim transferinin oluşmamasıdır. Etkinliğin azalmasında borik asit partiküllerin çok düşük en-boy oranına sahip olmaları sebep olarak gösterilebilir (Polat ve Kaynak, 2016). Düşük en-boy oranına sahip borik asit partikülleri elyaf ile birlikte takviye

edildiğinde matrise iyi bir şekilde tutunamaz ve bu nedenle sadece elyaf takviyesine göre daha düşük bir çekme dayanımı değeri sergiler. Öte yandan sadece cam elyaf takviyesiyle birlikte kompozitin çekme dayanımı değerinin açık şekilde arttığı görülmektedir. Matrise göre çok daha yüksek çekme dayanımına sahip cam elyafa matristen etkili bir yük transferi olmuş ve bu durum da çekme dayanımı değerinde artış sağlamıştır yorumu yapılabilir.



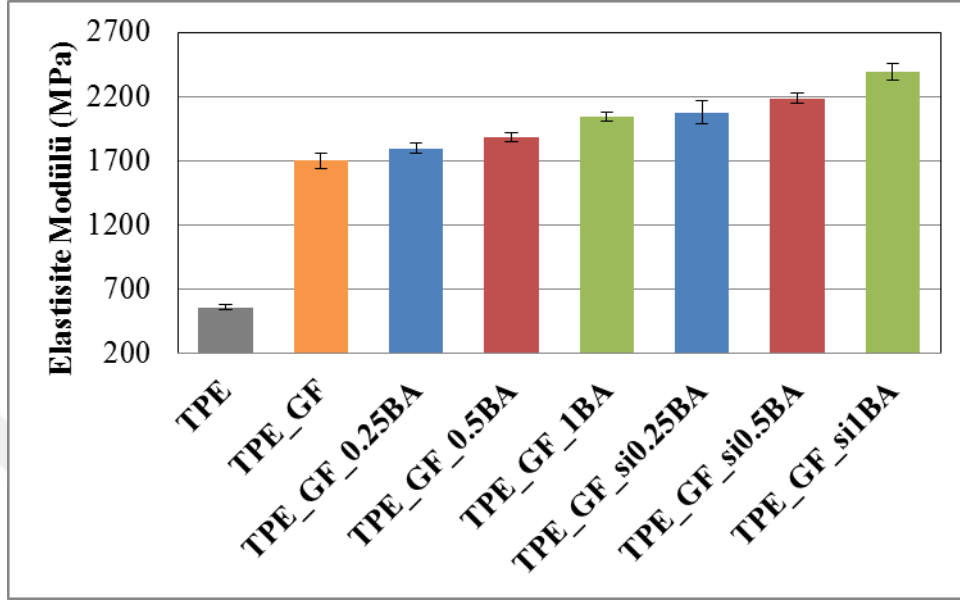
Şekil 4.67. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.67'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış borik asit takviyeli numunelere benzer sonuçlar elde edilmiş olması ve çekme dayanımı değerlerinde kayda değer bir değişim meydana gelmemiş olmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.68'de verilmiştir.

Şekil 4.68 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle modül değerleri artmıştır. Karışımlar kuralına göre rijitlik değerleri yüksek olan

takviye elemanları ile birlikte kompozitin de modül değeri artar. Yüksek modül değerine sahip cam elyaf ve borik asitin ilavesiyle sistemin modül değerleri de artmıştır.



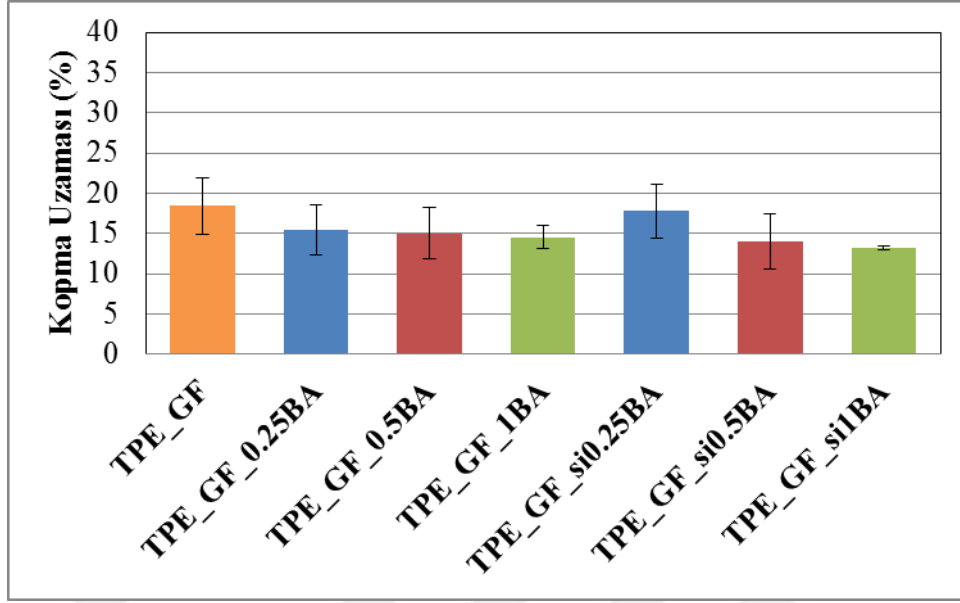
Şekil 4.68. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.68'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinin daha da artmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.69'da verilmiştir.

Şekil 4.69 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle kopma uzaması değerleri azalmıştır.

Bunun sebebi sistemin daha rijit bir hal alması ve bu nedenle yüksek oranda kopma uzaması sergileme kabiliyetinin azalmasıdır.



Şekil 4.69. Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.69'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış olana göre benzer değerler elde edilmiş olmasıdır. Silanlama işleminin cam elyaf ile silanlanmış borik asit içeren kompozitlerin kopma uzaması değerlerinde önemli bir etkinliğinin olmadığı söylenebilir.

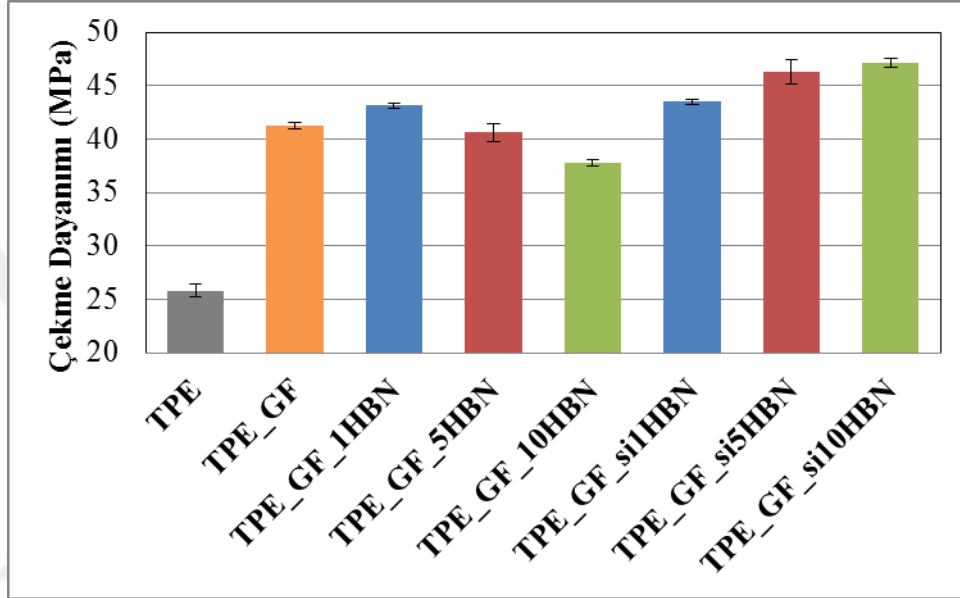
4.3.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.70 – 4.72'de verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.70'de verilmiştir.

Şekil 4.70 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür

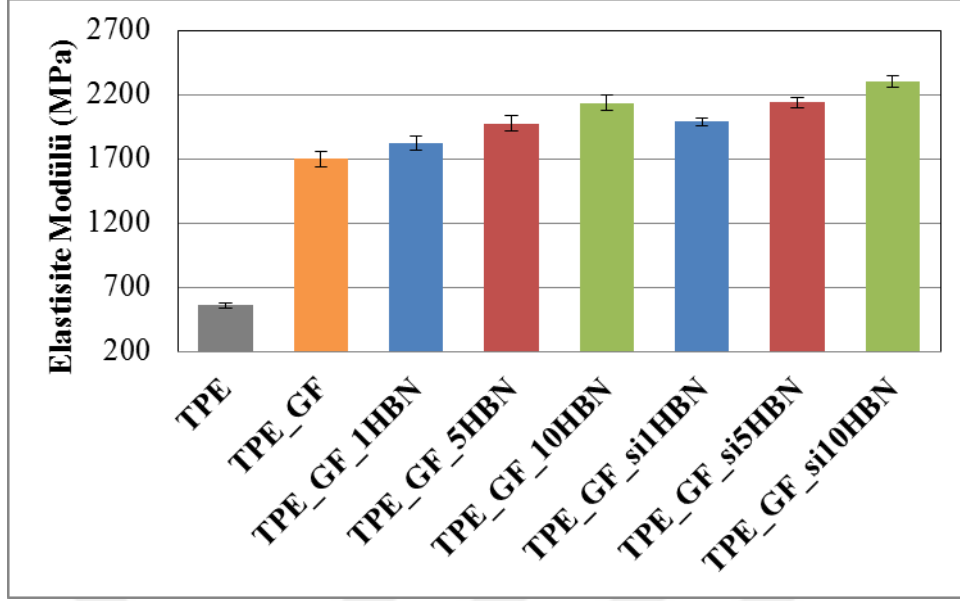
ilavesiyle çekme dayanımı değeri ağırlıkça %1 oranında hegzagonal bor nitrür takviyesiyle birlikte bir miktar artmış ancak ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında hegzagonal bor nitrür ilavesiyle azalmıştır. Cam elyaf düşük afiniteye (ya da yüzey enerjisine) sahip bir malzemedir (Chen ve diğ., 2006). Dolayısıyla bu sonuç partikül takviyelerinin cam elyaf etrafında kümelenerek bir kusur gibi davranmış ve çekme dayanımı değerlerini düşürmüş olabileceği şeklinde yorumlanabilir (Rothon, 2003).



Şekil 4.70. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.70'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımının artmış olmasıdır. Silanlamayla birlikte hegzagonal bor nitrür ile matris arasındaki arayüzey etkileşimi artmış ve cam elyafın partiküllere karşı olan düşük afiniteye sahip olma durumu bertaraf edilmiştir. Hegzagonal bor nitrür yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılarak cam elyaf takviyeli kompozitin çekme dayanımı değerini arttırmıştır denebilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.71'de verilmiştir.



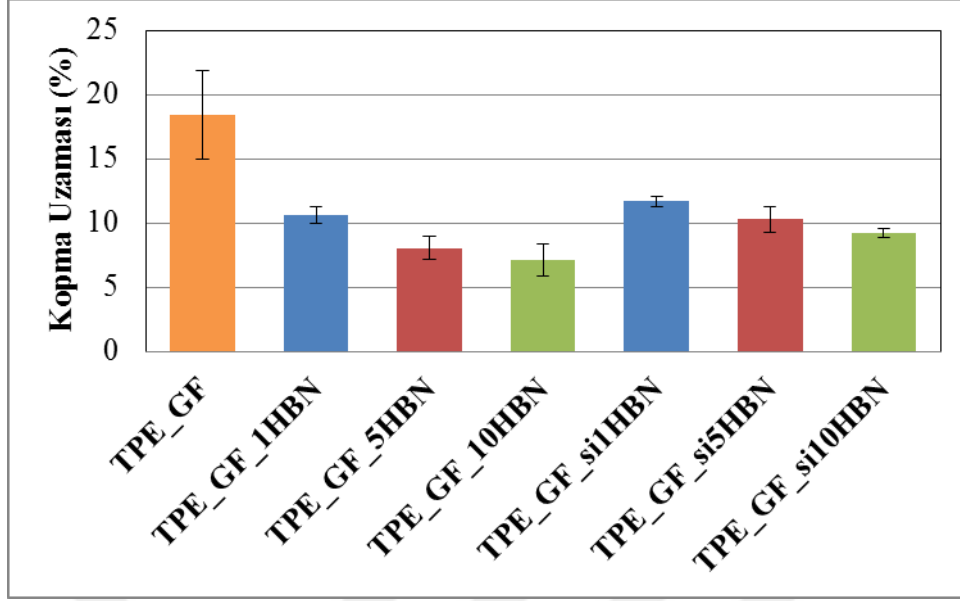
Şekil 4.71. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.71 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle modül değeri artmıştır. Bu durum karışımlar kuralına göre açıklanabilir. Yüksek rijitliğe sahip partikül takviyesi kompozitin modül değerini de arttırmaktadır.

Şekil 4.71'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinin bir miktar daha artmış olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işlemi sonucunda arayüzeyin modül değerinin artmasıdır. Bu durum kompozitin modül değerlerinin artmasına neden olur.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.72'de verilmiştir.

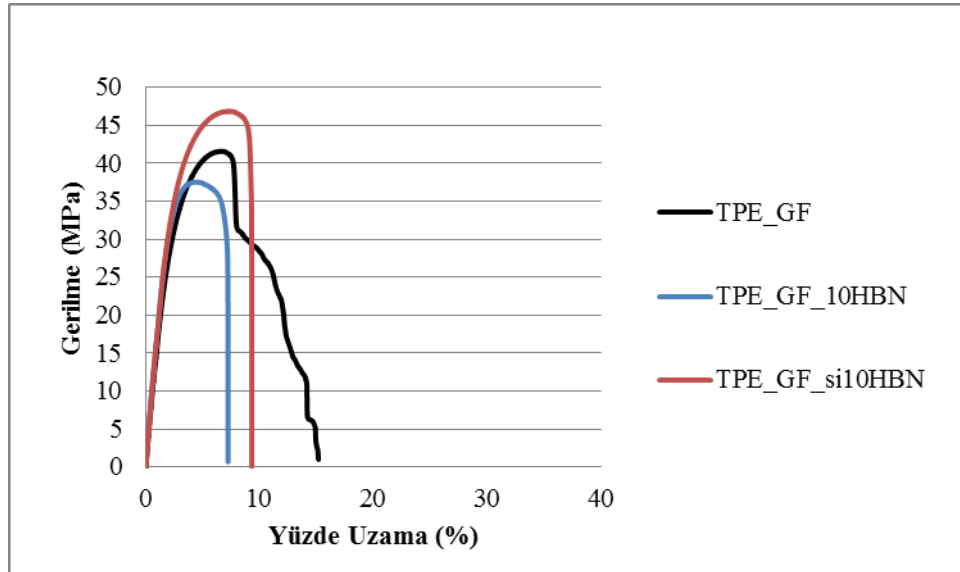
Şekil 4.72 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kopma uzaması değerleri azalmıştır. Bunun sebebi kompozit malzemenin daha rijit hale gelmesi ve yüksek oranda kopma uzaması sergileme kabiliyetinin azalmasıdır.



Şekil 4.72. Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.72'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kopma uzaması değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır.

Şekil 4.73'te cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait gerilme-yüzde uzama eğrileri görülmektedir.

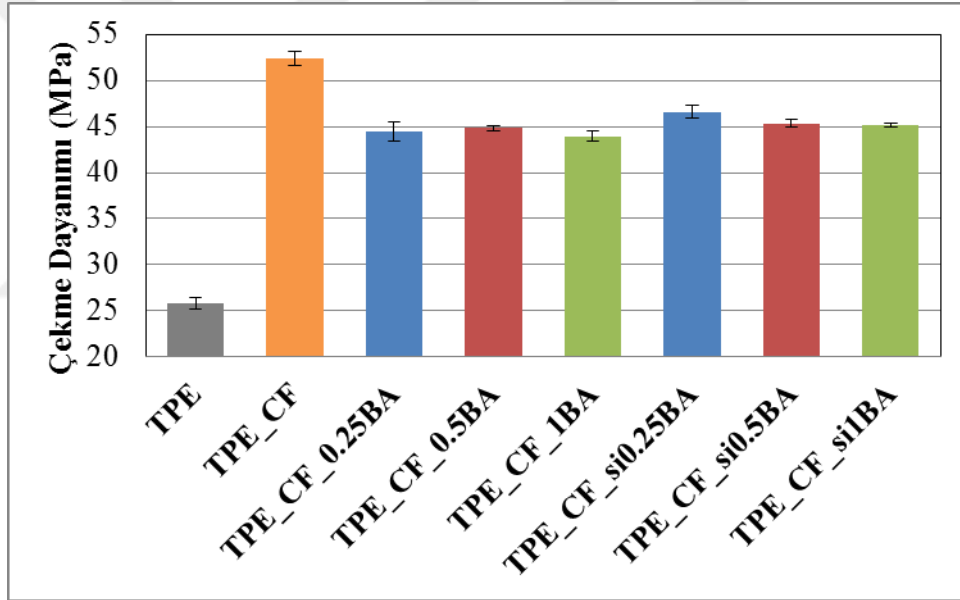


Şekil 4.73. Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli hibrit kompozitlere ait gerilme-yüzde uzama eğrileri

4.3.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.74 – 4.76'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.74'te verilmiştir.



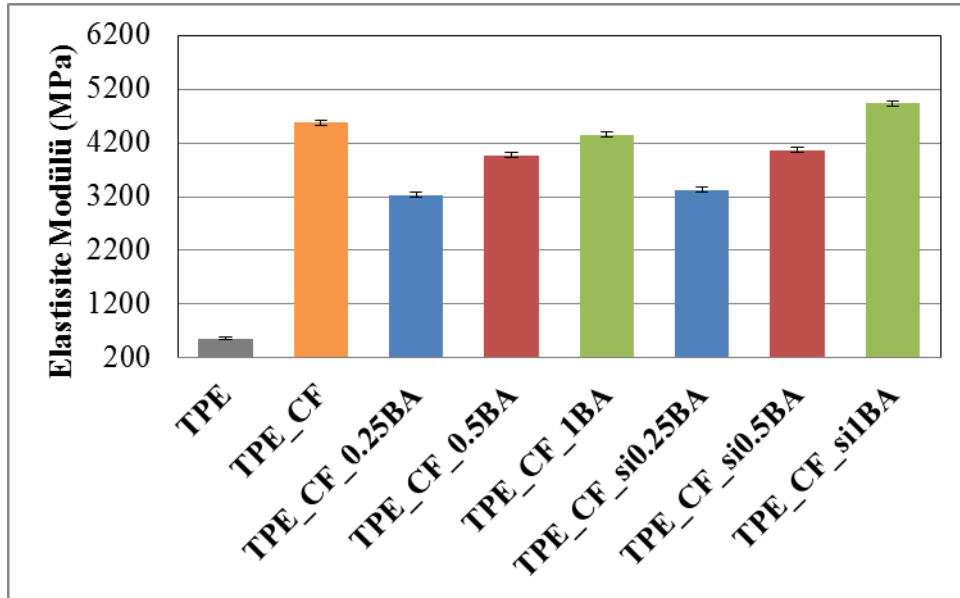
Şekil 4.74. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.74 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle çekme dayanımı değerleri azalmıştır. Karbon elyaf ve borik asitin birlikte ilave edilmesiyle aralarındaki etkileşimin kötü olması sebebiyle çekme dayanımı değerlerinin düştüğü söylenebilir. Zayıf olan arayüzey etkileşimi kompozit malzemede bir kusur gibi davranır. Öyle ki düşük en-boy oranına sahip borik asit partikülleri elyaf ile birlikte takviye edildiğinde matrise iyi bir şekilde tutunamaz ve

bu nedenle sadece elyaf takviyesine göre daha düşük bir çekme dayanımı değeri sergiler (Polat ve Kaynak, 2016). Öte yandan sadece karbon elyaf ilavesiyle kompozitin çekme dayanımı değerinin açık şekilde arttığı görülmektedir. Elyaf takviyesiyle kompozitin çekme dayanımı değerinde meydana gelen artış literatürden bilinen bir sonuçtur.

Şekil 4.74'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda özellikle %0,25 ve %1 oranında borik asit içeren kompozitlerin çekme dayanımı değerlerinde artış görülmesidir. Ancak bu artışa rağmen sadece karbon elyaf içeren kompozit malzemenin çekme dayanımı değerine ulaşamamıştır. Silanlanmış borik asit içeren kompozitlerde meydana gelen bu artışın sebebi silanlama işleminin partiküllerin yapı içerisinde daha homojen dağılımlarını sağlaması olarak yorumlanabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.75'te verilmiştir.

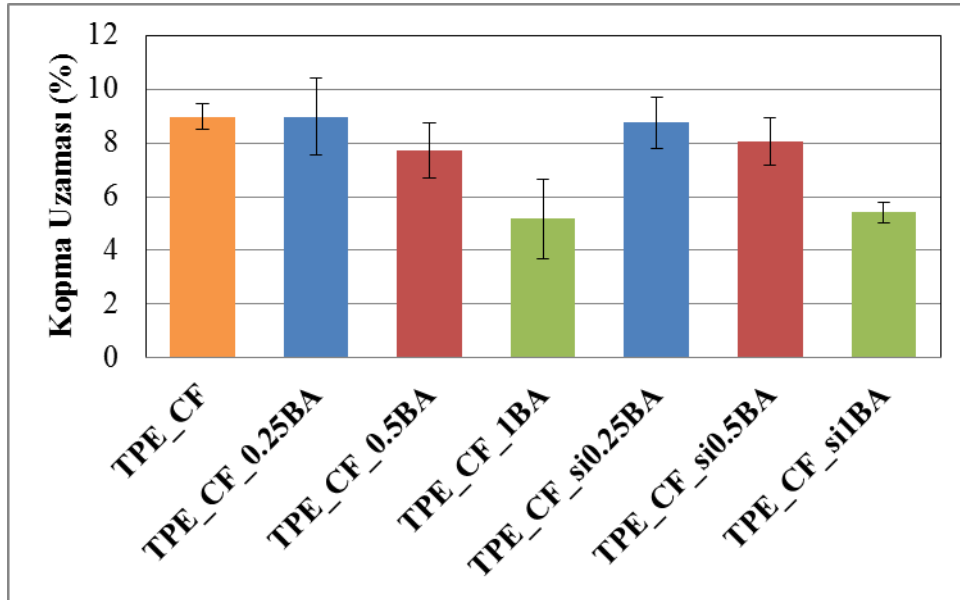


Şekil 4.75. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

Şekil 4.75 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle modül değerleri azalmıştır. Karışımlar kuralı ile açıklayacak olursak arayüzeyin modül değerinin azalmış olduğu söylenebilir. Bu nedenle sistemin de modül değerleri azalmaktadır. Bununla birlikte artan borik asit takviye oranıyla kompozitin de modül değerleri artmıştır denebilir. Ancak bu artışa rağmen sadece karbon elyaf içeren kompozitin modül değerine ulaşamamıştır.

Şekil 4.75'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış olanlara göre önemli bir değişiklik olmamasıdır. Ancak ağırlıkça %1 oranında borik asit ilavesinde silanlanmamış olan borik asit ilavesine göre bir miktar artış olmuştur. Bunun sebebi silanlamayla birlikte borik asitin yapı içerisine daha homojen dağılması ve sistemin rijitliğini arttırmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.76'da verilmiştir.



Şekil 4.76. Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.76 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle kopma uzaması değerleri azalmıştır.

Bunun sebebi düşük en-boy oranına sahip borik asitin yapı içerisinde matrise tutunamaması, böylece matriste stres konsantrasyonu fazla olan alan sayısının artması ve sadece cam elyaf takviyesine göre daha düşük bir kopma uzaması sergilemesidir.

Şekil 4.76'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış olanlara göre kayda değer bir değişikliğin olmamasıdır.

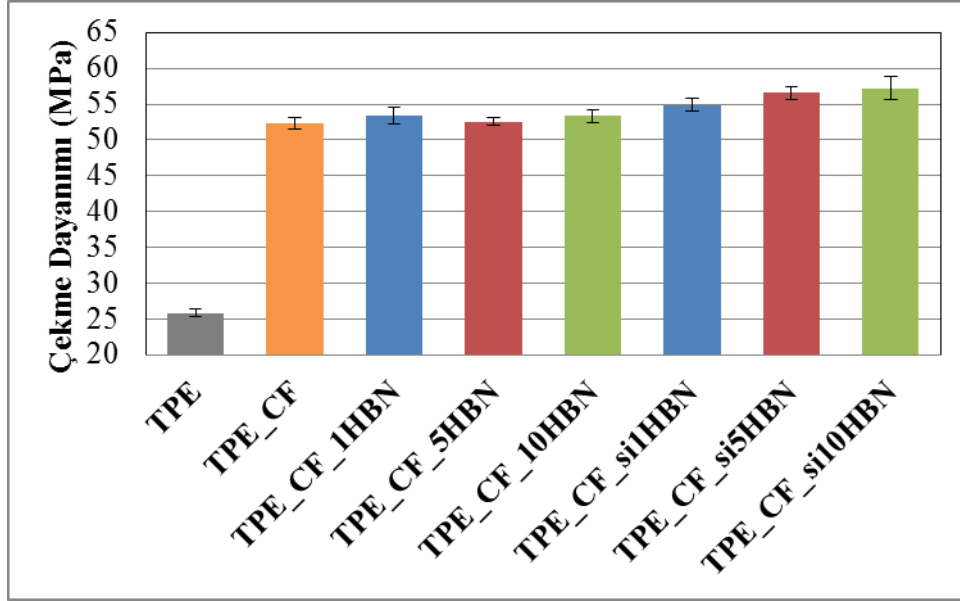
4.3.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı (σ), elastisite modülü (E) ve kopma uzaması (ϵ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.77 – 4.79'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri Şekil 4.77'de verilmiştir.

Şekil 4.77 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle ağırlıkça %1 oranındaki takviyede çekme dayanımı değeri artmasına rağmen ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında ise önemli bir değişiklik olmamıştır.

Ağırlıkça %1 oranında hegzagonal bor nitrür ilavesinde görülen bu artışın sebebi elyaf ve partikülün eş zamanlı takviyesinin ortaya çıkardığı sinerjik etki durumudur. Bu etkiyle birlikte partikül ve elyaf yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmış ve çekme dayanımı değerini arttırmıştır.

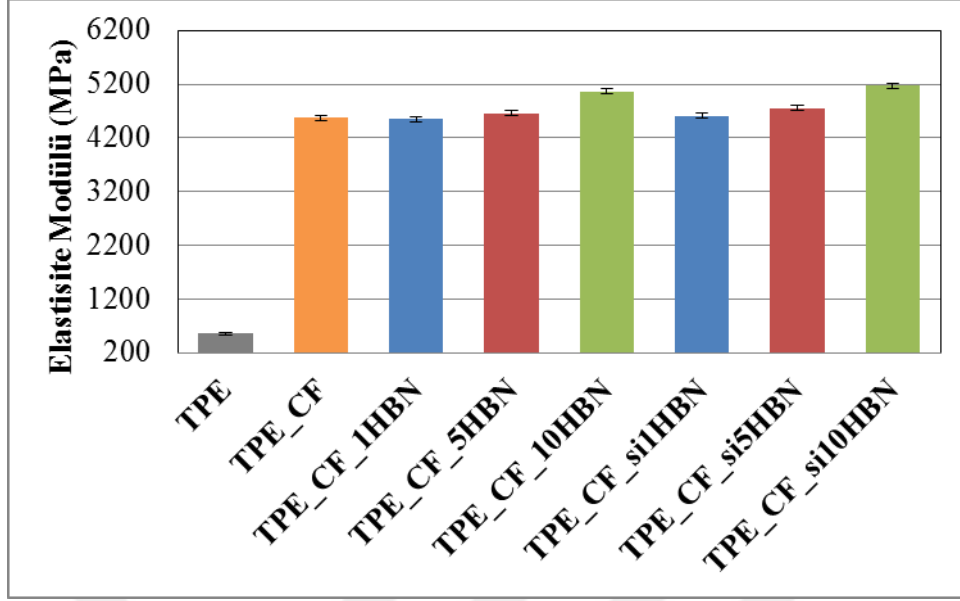


Şekil 4.77. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.77'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımı değerlerinde ortaya çıkan artıştır. Silanlama işlemi ile birlikte partiküller yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmış ve daha iyi bir arayüzey etkileşimi gerçekleşmiştir.

Bununla birlikte elyaf ve partikül takviyesiyle ortaya çıkması beklenen sinerjik etkiyle matristen takviye elemanına daha etkili gerilim transferi gerçekleşmiş ve sonuç olarak kompozitin çekme dayanımı değerleri artmıştır. Karbon elyaf ve silanlanmış hegzagonal bor nitrürü eş zamanlı içeren hibrit kompozitlerde, çekme dayanımı değerindeki en fazla artış ağırlıkça %10 oranında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren "TPE_CF_si10HBN" kodlu numunede elde edilmiştir. Bu numune aynı zamanda çalışma kapsamında üretilen tüm numuneler arasında en yüksek çekme dayanımı değerine sahip kompozit türüdür.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.78'de verilmiştir.



Şekil 4.78 Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait elastisite modülü değerleri

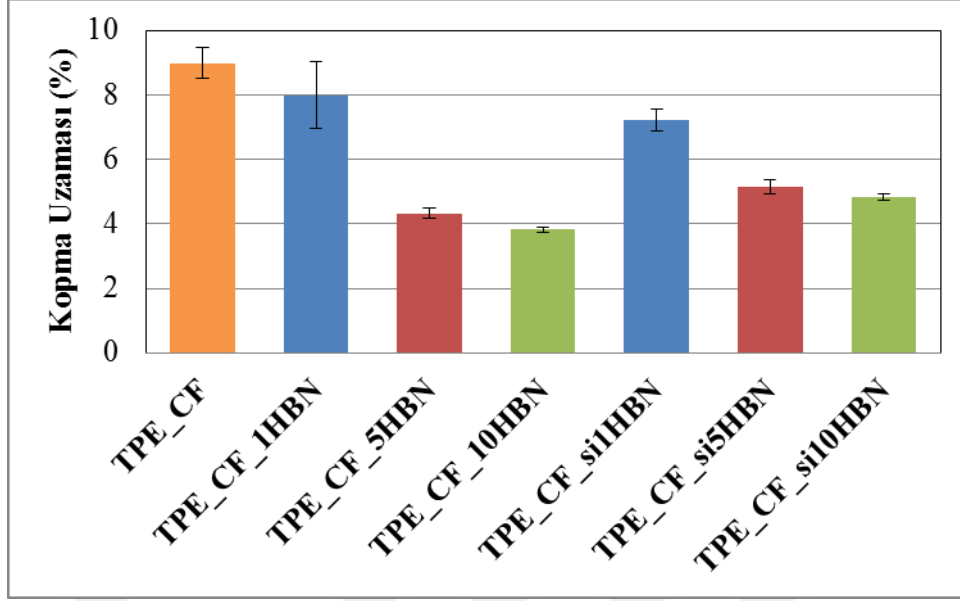
Şekil 4.78 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle modül değerleri artmıştır.

Karışımlar kuralına göre modül değeri yüksek takviye elemanlarının ilavesiyle kompozitin de modül değeri artmaktadır.

Şekil 4.78'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış olanlara göre kayda değer bir değişiklik olmamasıdır.

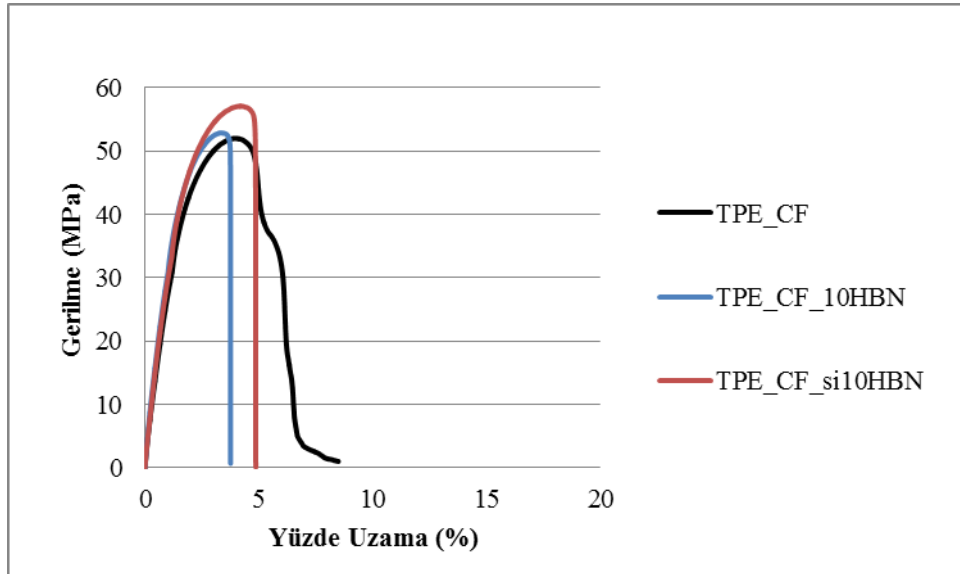
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması değerleri Şekil 4.79'da verilmiştir.

Şekil 4.79 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kompozit daha rijit hale geldiği için kopma uzaması değerleri azalmıştır.



Şekil 4.79 Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait kopma uzaması değerleri

Şekil 4.79'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kopma uzaması değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır. Şekil 4.80'de karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait gerilme-yüzde uzama eğrileri görülmektedir.

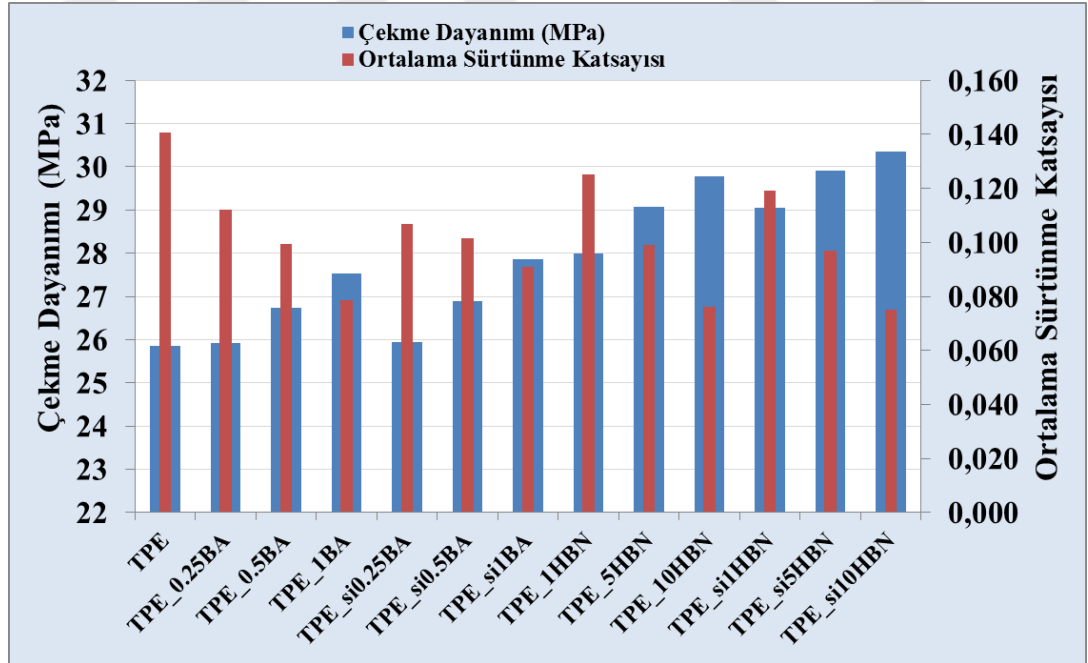


Şekil 4.80. Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli hibrit kompozitlere ait gerilme-yüzde uzama eğrileri

4.3.7. Çekme testi ve aşınma testi sonuçlarının karşılaştırılması

Bu başlık altında çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı ve aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerleri aynı grafik üzerinde gösterilerek çekme testi ve aşınma testi sonuçları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde TPE matrise, sadece partikül ilavesinin, partikül ile bazalt/cam/karbon elyafın eş zamanlı ilavesinin ve partikül/bazalt elyaf takviye malzemelerinin yüzeylerine uygulanan silanlama prosesinin etkileri değerlendirilerek birbirleri ile karşılaştırma yapılmış böylece en iyi performansın elde edildiği numune türü/türleri belirtilmiştir. Yapılan değerlendirme/karşılaştırma sonuçları aşağıda verilen Şekil 4.81 – 4.85'te özetlenmiştir.

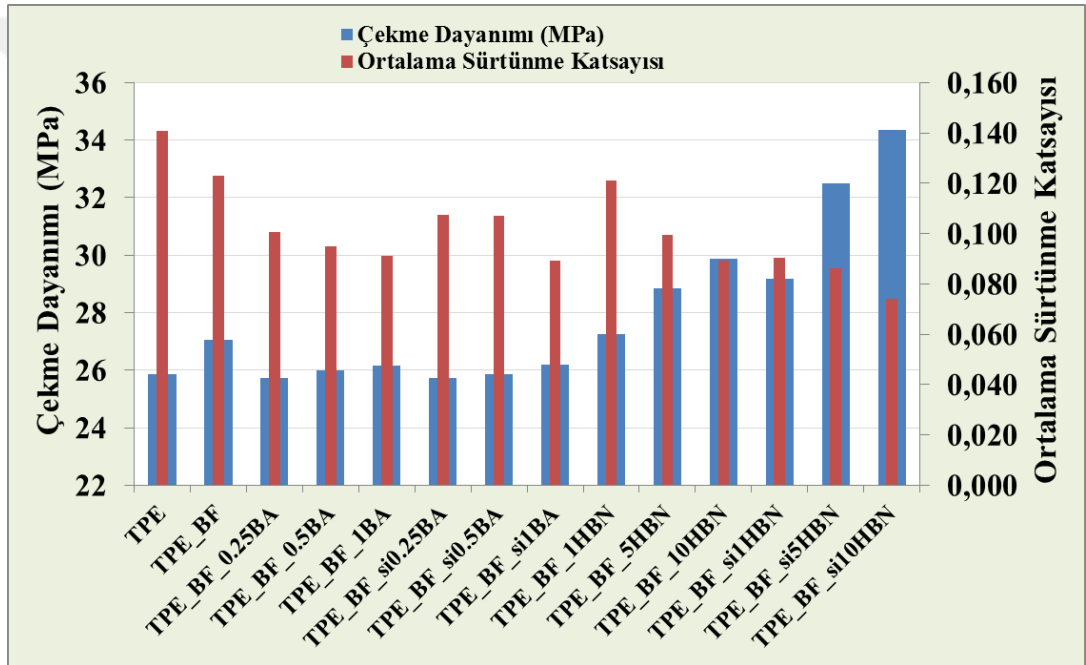
Şekil 4.81 TPE matrise sadece silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisini özetlemekle birlikte ilave edilen partikül türlerinin etkinliklerinin birbirleri ile karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.81. TPE matrise sadece silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.81 incelendiğinde açıkça görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partükül takviyesi saf TPE'nin aşınma direncini ve çekme dayanımını iyileştirmiştir. Bununla birlikte en yüksek iyileşme "TPE_si10HBN" kodlu numunede elde edilmiştir. Buradan hegzagonal bor nitrürün diğer partükül türleri ile karşılaştırıldığında daha iyi performans sergilediği sonucuna varılabilir.

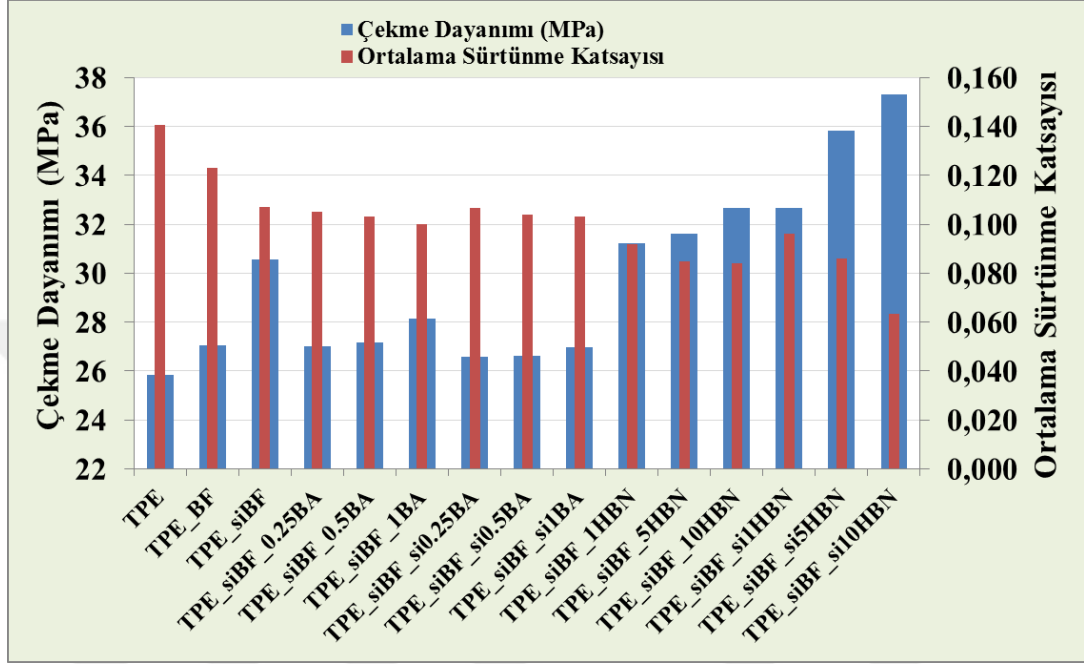
Şekil 4.82 yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ile yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partükül türlerinin eş zamanlı ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisini özetlemekle birlikte ilave edilen partükül türlerinin etkinliklerinin birbirleri ile karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.82. TPE matrise yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partükül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partükül türlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.82 incelendiğinde açıkça görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partüküllerin TPE matrise eş zamanlı ilavesi, hem saf TPE'nin hem de sadece bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozitlerin aşınma direncini ve çekme dayanımını iyileştirmiştir. Bununla birlikte en yüksek iyileşme "TPE_BF_si10HBN" kodlu numunede elde edilmiştir. Buradan hegzagonal bor nitrürün diğer partükül türleri ile karşılaştırıldığında hibrit kompozitlerde de daha iyi performans sergilediği sonucuna varılabilir.

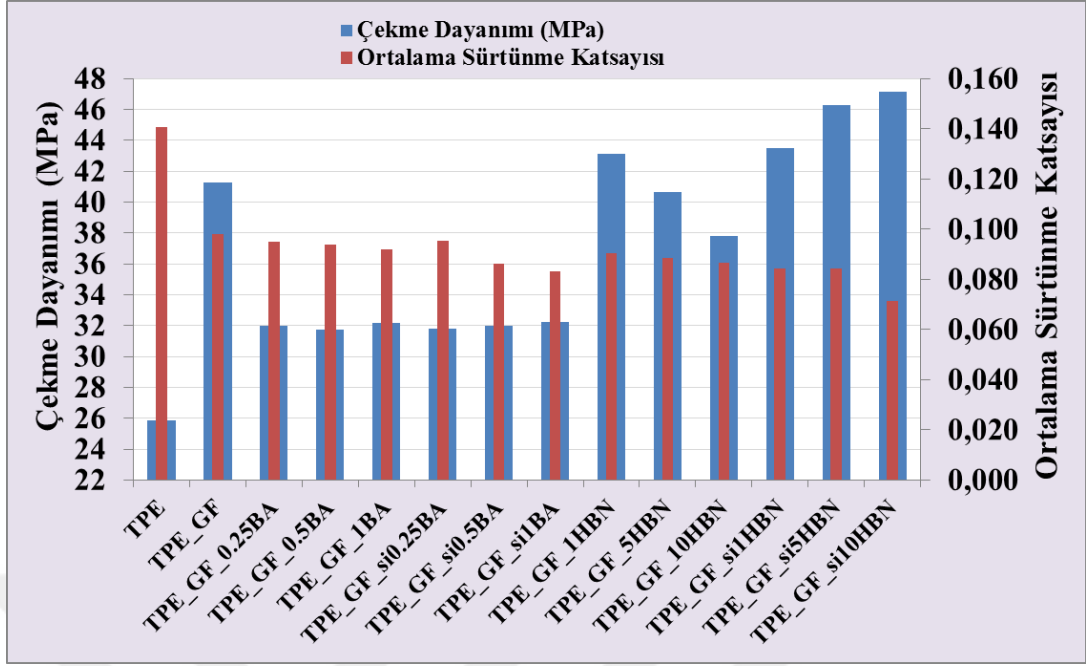
Şekil 4.83 yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf ile yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül türlerinin eş zamanlı ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisini özetlemekle birlikte ilave edilen partikül türlerinin etkinliklerinin birbirleri ile karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.83. TPE matrise yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.83 incelendiğinde açıkça görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partiküllerin TPE matrise eş zamanlı ilavesi, hem saf TPE'nin hem de sadece silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozitlerin aşınma direncini ve çekme dayanımını iyileştirmiştir. Bununla birlikte en yüksek iyileşme “TPE_siBF_si10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir. Buradan hegzagonal bor nitrürün diğer partikül türleri ile karşılaştırıldığında hibrit kompozitlerde de daha iyi performans sergilediği sonucuna varılabilir.

Şekil 4.84 cam elyaf ile yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül türlerinin eş zamanlı ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisini özetlemekle birlikte ilave edilen partikül türlerinin etkinliklerinin birbirleri ile karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır.



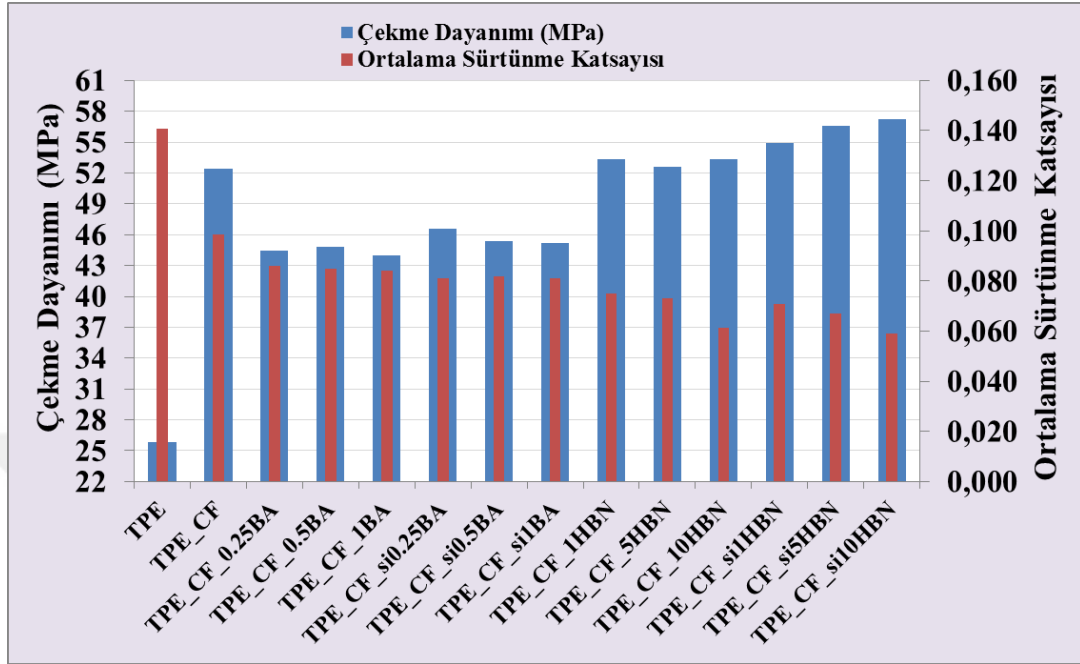
Şekil 4.84. TPE matrise cam elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.84 incelendiğinde açıkça görülmektedir ki cam elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partüküllerin TPE matrise eş zamanlı ilavesi, hem saf TPE'nin hem de cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozitlerin aşınma direncini ve çekme dayanımını iyileştirmiştir. Bununla birlikte en yüksek iyileşme "TPE_GF_si10HBN" kodlu numunede elde edilmiştir. Buradan hegzagonal bor nitrürün diğer partikül türleri ile karşılaştırıldığında hibrit kompozitlerde de daha iyi performans sergilediği sonucuna varılabilir.

Şekil 4.85 karbon elyaf ile yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül türlerinin eş zamanlı ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisini özetlemekle birlikte ilave edilen partikül türlerinin etkinliklerinin birbirleri ile karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır.

Şekil 4.85 incelendiğinde açıkça görülmektedir ki karbon elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partüküllerin TPE matrise eş zamanlı ilavesi, hem saf TPE'nin hem de karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozitlerin aşınma direncini ve çekme dayanımını iyileştirmiştir. Bununla birlikte en yüksek iyileşme "TPE_CF_si10HBN" kodlu numunede elde edilmiştir. Buradan hegzagonal bor

nitürün diğer partikül türleri ile karşılaştırıldığında hibrit kompozitlerde de daha iyi performans sergilediği sonucuna varılabilir.



Şekil 4.85. TPE matrise karbon elyaf ve yüzeyi silanlanmamış/silanlanmış partikül ilavesinin TPE matrisin aşınma davranışı ile çekme dayanımı üzerine etkisi ve partikül türlerinin karşılaştırılması

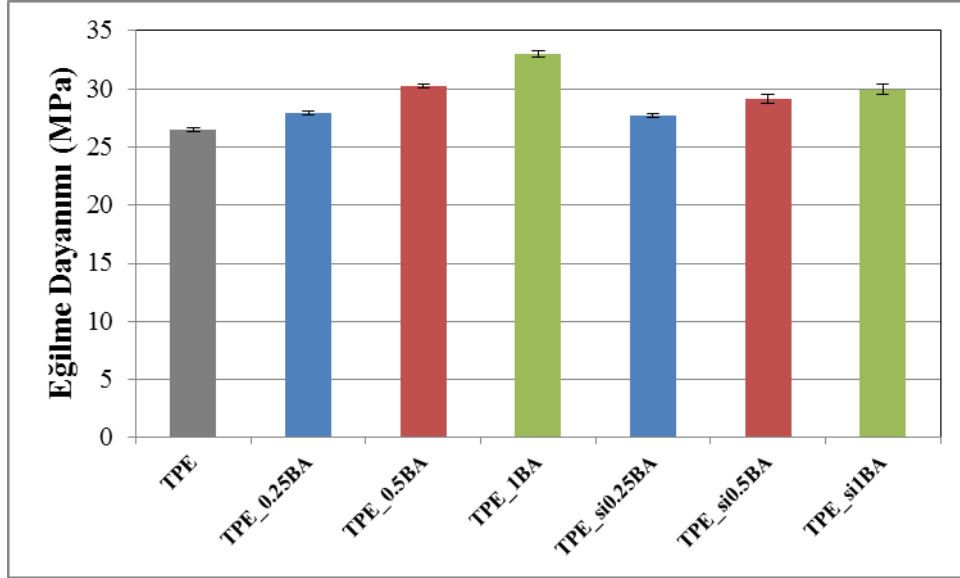
4.4. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Bu başlık altında, çalışma kapsamında üretilen kompozitlere ISO-178 standartına göre uygulanan üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen veriler grafik olarak sunulmuştur.

4.4.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.86 – 4.87'de verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.86'da verilmiştir.



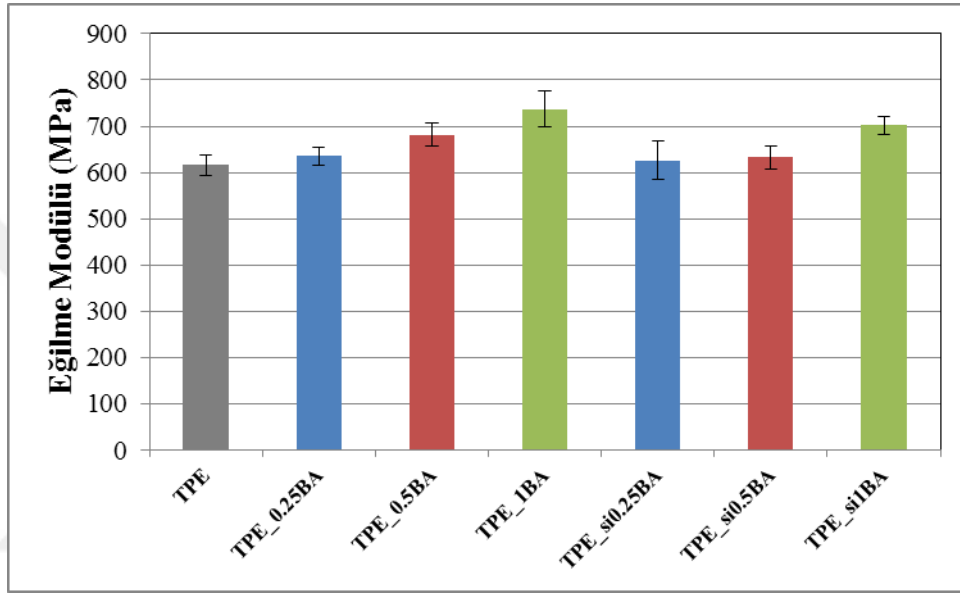
Şekil 4.86. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.86 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Çekme dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımında da kompozit içerisinde matris ile takviye elemanları arasındaki arayüzey yapışmasının kalitesi önemli bir rol oynar. Matristen takviye elemanlarına etkili bir gerilim transferi gerçekleştiğinde kompozitin eğilme dayanımı değerleri artar. Bununla birlikte takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımları ve iyi bir şekilde yönlenmeleri de kompozitin eğilme özellikleri için belirleyici faktörlerdir (Hemanth ve diğ., 2015). Bu bilgiler ışığında, borik asit partiküllerinin matris içerisinde homojen bir dağılım sergileyerek iyi bir gerilim transferi sağladığı söylenebilir. Sonuç olarak etkili olan gerilim transferiyle birlikte kompozitin eğilme dayanımı değerleri artmıştır (Hassan ve diğ., 2011). Bununla birlikte en fazla artışın ağırlıkça %1 oranında borik asit içeren kompozitte olduğu görülmektedir.

Şekil 4.86'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmış olanlara göre eğilme dayanımı değerlerinde azalma olmasıdır. Üç nokta eğme testinde kompozitin tarafsız eksene göre bir tarafı basma etkili eğilme gerilmesine maruz kalırken diğer tarafı ise çekme etkili eğilme gerilmesine maruz kalmaktadır (Dong ve diğ., 2012). Takviye elemanları kompozite silanlanarak eklendiğinde kompozitin basma etkili eğilme gerilmesine maruz kalan

kısımında silanın plastikleştirici özelliği daha baskın gelmektedir. Bu nedenle silanlanmış numunede eğilme dayanımı değerleri silanlanmamış partikül takviyeli numunelere göre azalmaktadır (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.87'de verilmiştir.

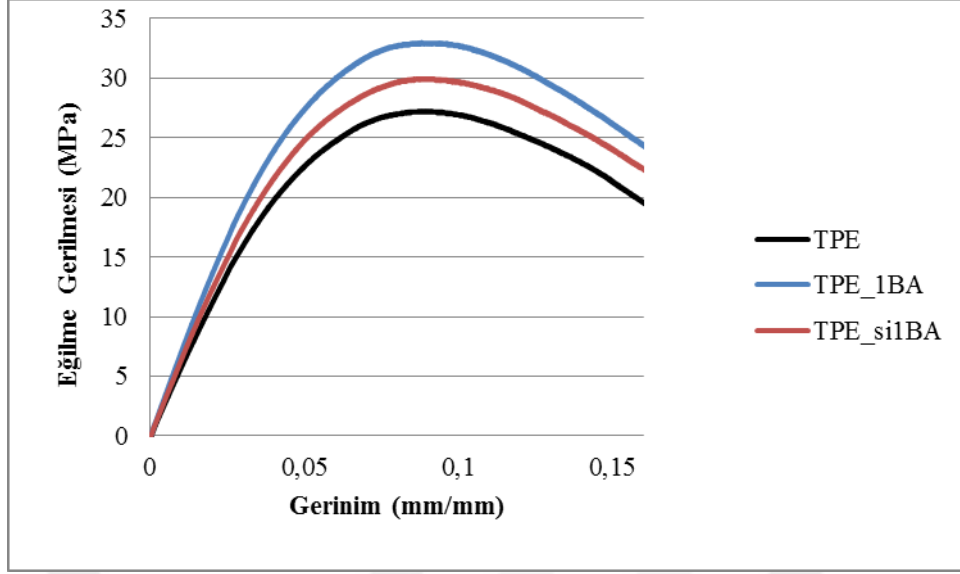


Şekil 4.87. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.87 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle modül değerleri artmaktadır. Bunun sebebi karışımlar kuralı ile açıklanmaktadır (Margem ve diğ., 2015). Polimere göre daha yüksek rijitliğe sahip partikül takviyesi ilavesi ile kompozitin de modül değerleri artmıştır.

Şekil 4.87'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinde bir miktar düşüş olmasıdır.

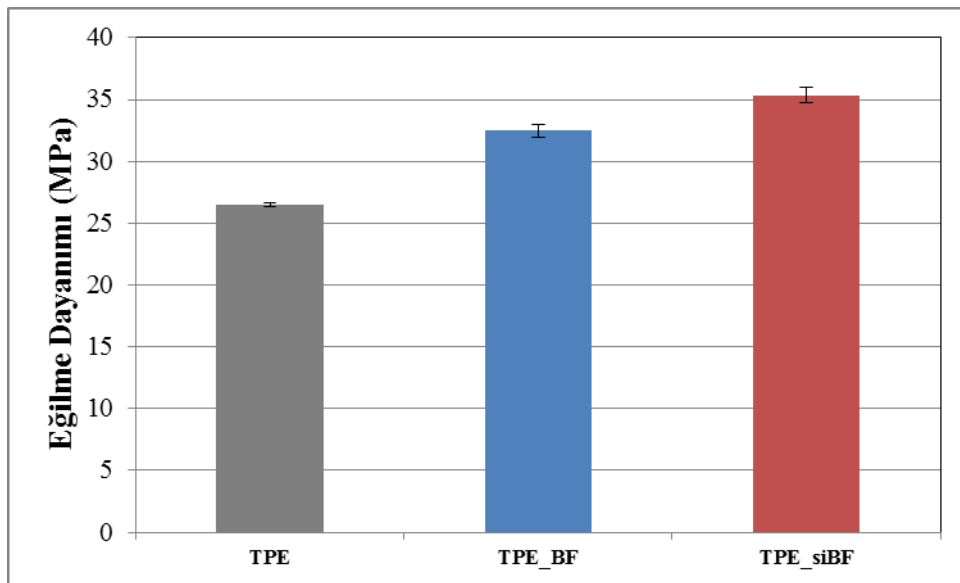
Şekil 4.88'de saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.88. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.89 – 4.90'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.89'da verilmiştir.

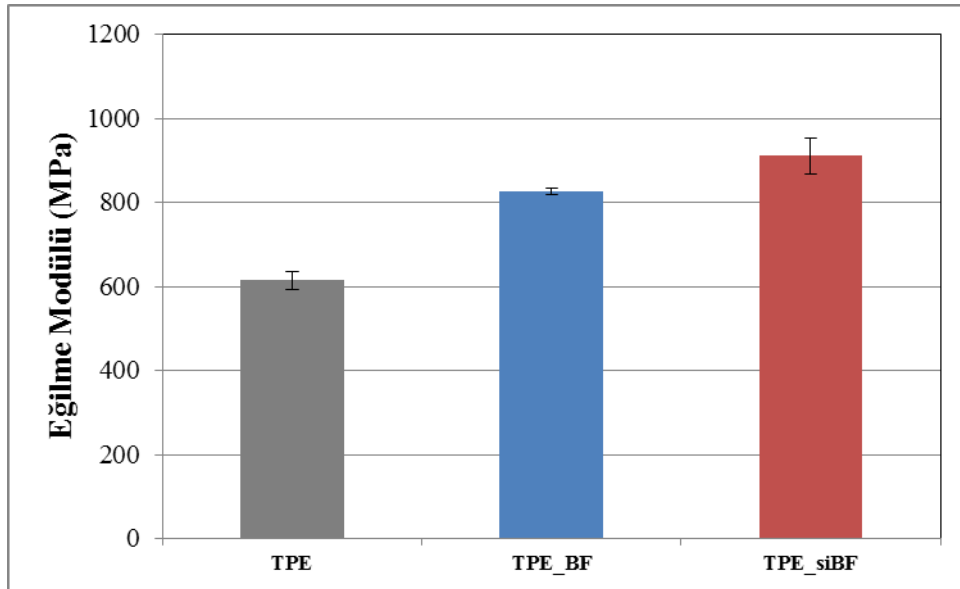


Şekil 4.89. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.89 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır ve bu beklenen bir sonuçtur. Elyafın polimerlere göre eğilmeleri daha zor dolayısıyla eğilme dayanımları daha yüksektir. Polimere elyaf takviyesiyle birlikte matristen takviye elemanına etkin bir gerilim transferi gerçekleşir. Bu sayede elyafın sahip olduğu yüksek eğilme dayanımı davranışı kompozitin de eğilme dayanımı davranışını arttırır. Ayrıca elyaf takviyesinin polimerde zincir hareketlerini sınırlandırarak kompozitin bükülmezliğini arttırdığı da söylenebilir (Carmisciano ve diğ., 2011).

Şekil 4.89'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımının daha da artmasıdır. Silanlamayla birlikte arayüzey yapışma kalitesi iyileşmiş ve matris ile takviye elemanı arasında daha etkili bir gerilim transferi gerçekleşmiştir. Sonuç olarak kompozitin bükülmezliği artmıştır.

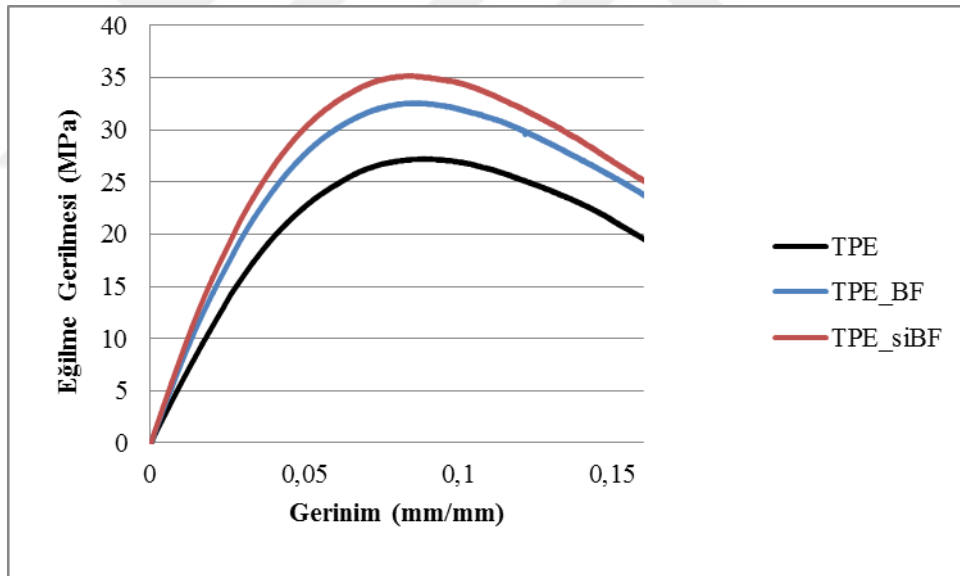
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.90'da verilmiştir.



Şekil 4.90. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.90 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle eğilme modülü değeri artmıştır. Bu durum karışımlar kuralı ile açıklanabilir ve yüksek rijitliğe sahip elyaf takviyesiyle birlikte kompozitin de eğilme modülü değeri artmıştır denebilir (Margem ve diğ., 2015).

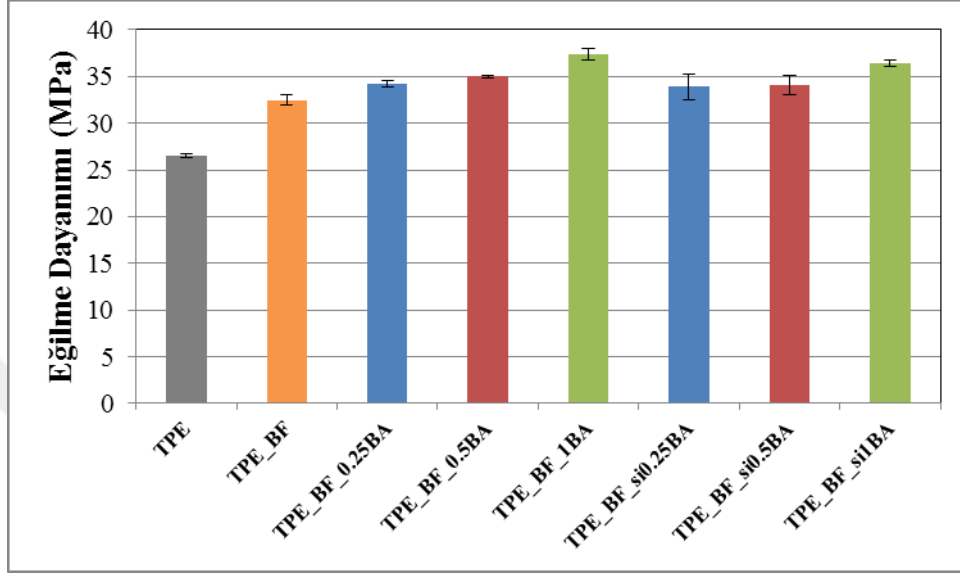
Şekil 4.90'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme modülü değerlerinin daha da artmasıdır. Karışımlar kuralına göre kompozit malzemede modül değeri; matrisin, takviye elemanın ve arayüzeyin modül değerlerine bağlıdır. Buradan yola çıkarak silanlamayla birlikte arayüzeyin eğilme modül değerinin arttığı bu nedenle kompozitin eğilme modülü değerinin de arttığı söylenebilir. Şekil 4.91'de saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.91. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.92 – 4.93'te verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.92'de verilmiştir.

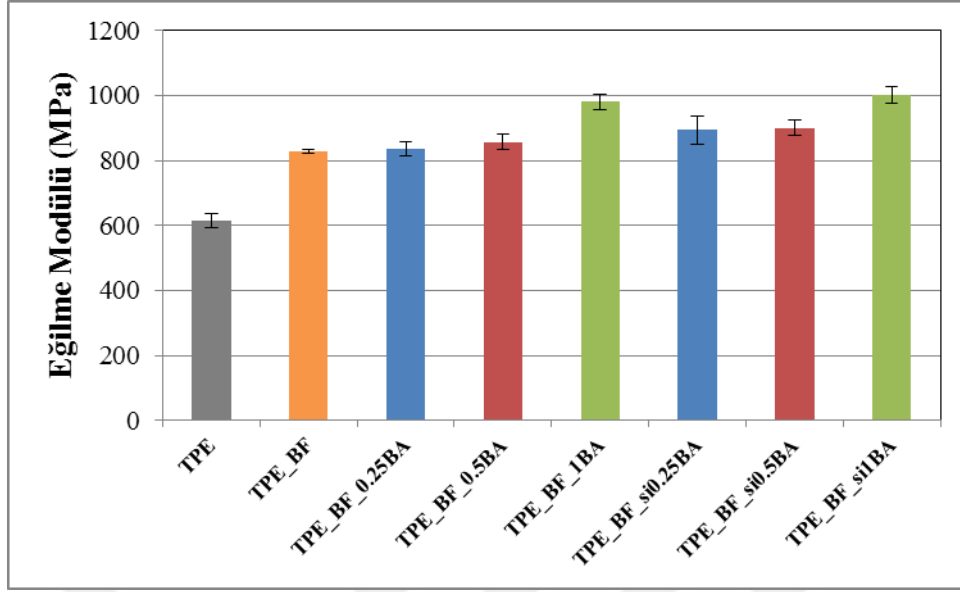


Şekil 4.92. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.92 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle matristen takviye elemanlarına daha fazla yük transferi gerçekleşmiş ve eğilme dayanımı değerleri artmıştır (Kim ve diğ., 2012).

Şekil 4.92'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinde bir miktar düşüş olmasıdır. Bunun sebebi silanlamayla birlikte silanın eğilme mekanizması üzerinde plastikleştirici etkisinin baskın gelmesi ve eğilme dayanımı değerlerini azaltmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.93'te verilmiştir.



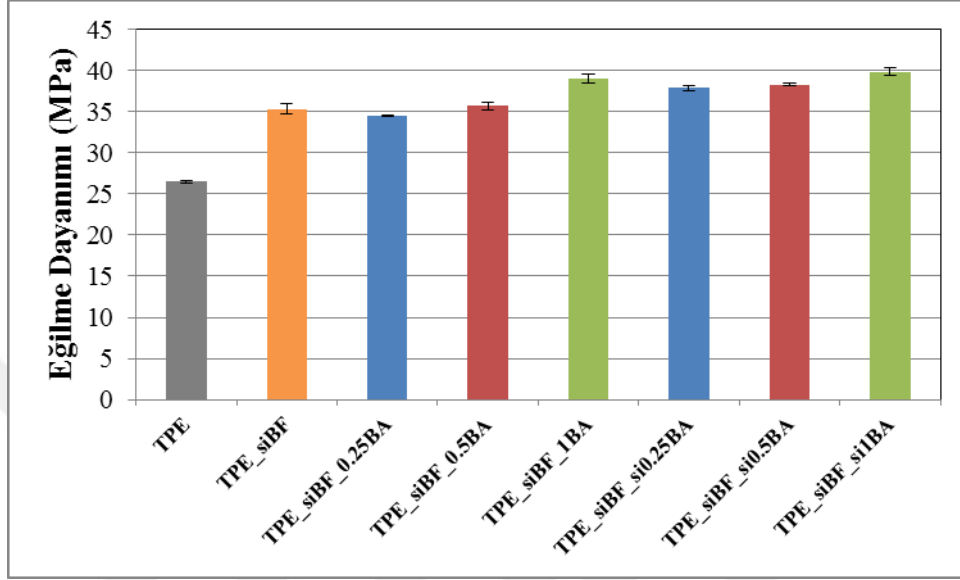
Şekil 4.93. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.93 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle modül değerleri artmıştır. Bunun sebebi elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı olarak yapılmasıyla ortaya çıkan hibrit etkidir. Karışımlar kuralına göre; arayüzey modülü artmıştır ve ara yüzey modülünün artma sebebi ise sinerjik etkiyle birlikte borik asitin elyaf ile matris arasındaki boşlukları doldurması ve arayüzeyin rijitliğini arttırmasıdır (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.93'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değerlerinde bir miktar artış olmasıdır. Bunun sebebi silanlamayla birlikte arayüzeyin eğilme modülünde oluşan artıştır. Bu durum da karışımlar kuralına göre kompozitin eğilme modülü değerini arttırmıştır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.94 – 4.95'te verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.94'te verilmiştir.

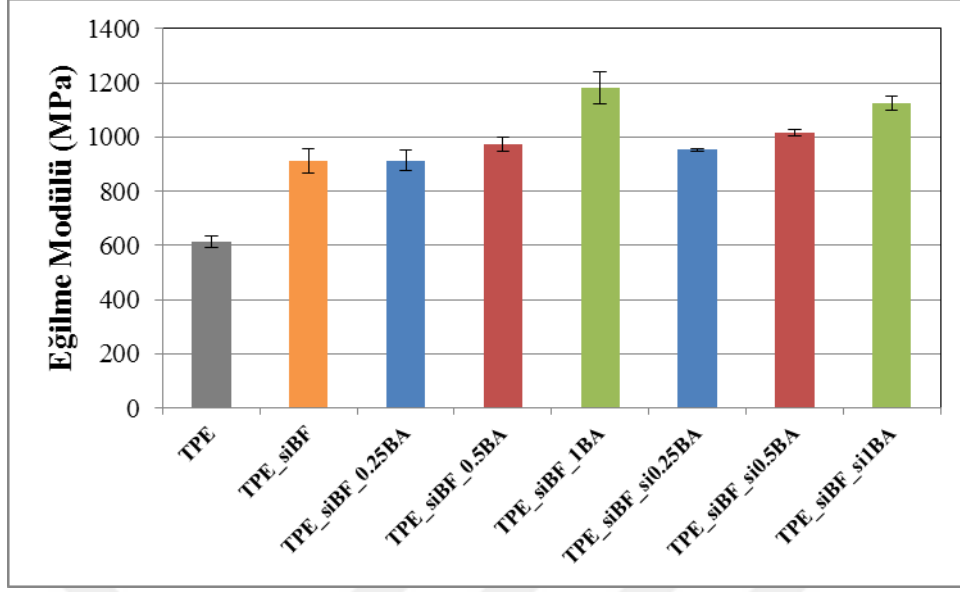


Şekil 4.94. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.94 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle eğilme dayanımı değerlerinde ağırlıkça %0,25 ve %0,5 borik asit takviye oranları için önemli bir değişiklik olmazken %1 borik asit ilavesinde artış olmuştur.

Şekil 4.94'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinin daha da artmasıdır. Bunun sebebi silanlama işlemiyle partiküllerin yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmaları ve matris ile olan uyumluluklarının iyileşmesiyle birlikte, yüzey silanlama prosesinin kompozitin eğilme dayanımını arttırıcı yönde etkisinin ortaya çıkması ile açıklanabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.95'te verilmiştir.



Şekil 4.95. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

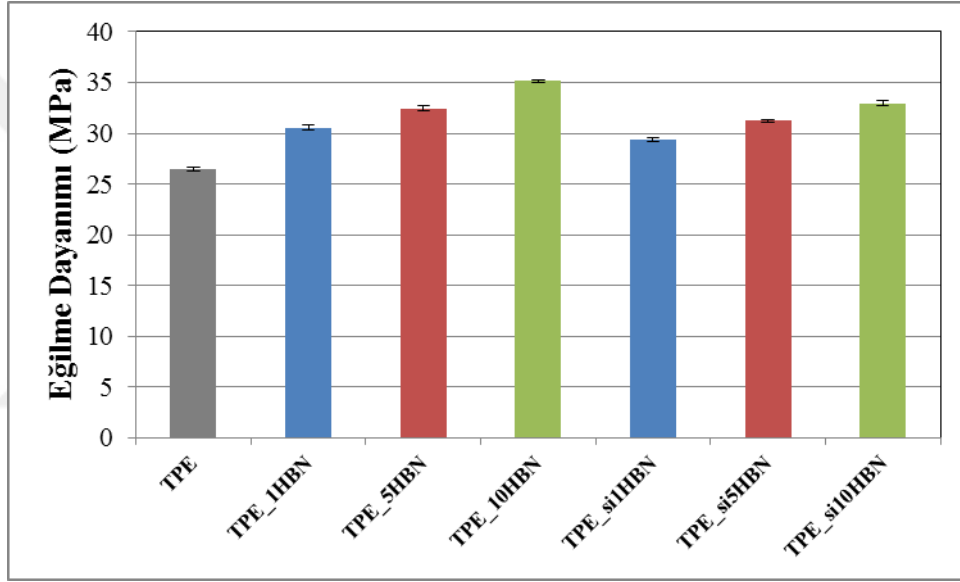
Şekil 4.95 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle ağırlıkça %0,25 takviye oranı için önemli bir değişiklik olmazken ağırlıkça %0,5 ve %1 takviye oranları için modül değerleri artmıştır. Ağırlıkça %0,25 takviye oranı için önemli bir değişikliğin olmaması takviye oranı miktarının çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan ağırlıkça %0,5 ve %1 takviye oranlarındaki artışın sebebi elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı olarak yapılmasıyla ortaya çıkan hibrit etkidir. Karışımlar kuralına göre; arayüzey modülü artmıştır ve ara yüzey modülünün artma sebebi ise sinerjik etkiyle birlikte borik asitin elyaf ile matris arasındaki boşlukları doldurması ve arayüzeyin rijitliğini arttırmasıdır (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.95'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ağırlıkça %1 borik asit içeren kompozitin modül değerinde bir miktar düşüş olmasıdır. Bunun sebebi silanlamayla birlikte oluşan plastikleştirici etkinin, eğilme modülü değeri üzerinde baskın gelmesidir. Bu etkiyle arayüzeyin eğilme modül değerinde azalma olmuştur. Bu durum da karışımlar kuralına göre kompozitin eğilme modülü değerini azaltmıştır.

4.4.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.96 – 4.97'de verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.96'da verilmiştir.



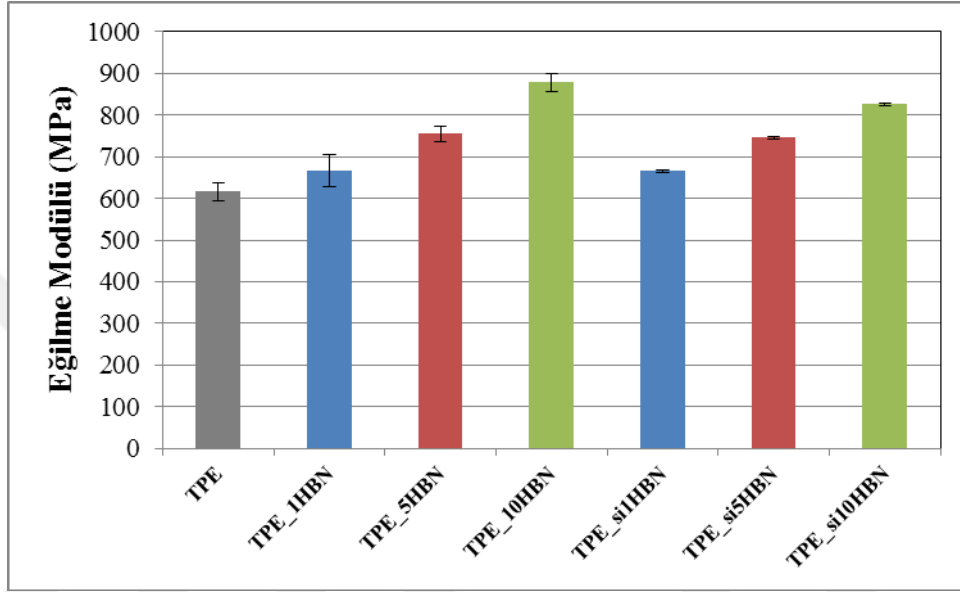
Şekil 4.96. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.96 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle matris ile takviye elemanı arasında etkili bir gerilim transferi gerçekleştirmiş eğilme dayanımı değerleri artmıştır. En fazla artışın %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren kompozitte gerçekleştiği görülmektedir. Bununla birlikte rijit partikül takviyesiyle birlikte polimer zincirlerinin hareketlerinin kısıtlandığı ve malzemenin bükülmezliğinin arttığı yorumu da yapılabilir.

Şekil 4.96'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinin azalmasıdır. Silanlama işlemi kompozitin eğilme dayanımı mekanizmasında plastikleştirici bir

etki oluşturarak daha düşük eğilme dayanımı değerlerinin elde edilmesine sebep olmuştur.

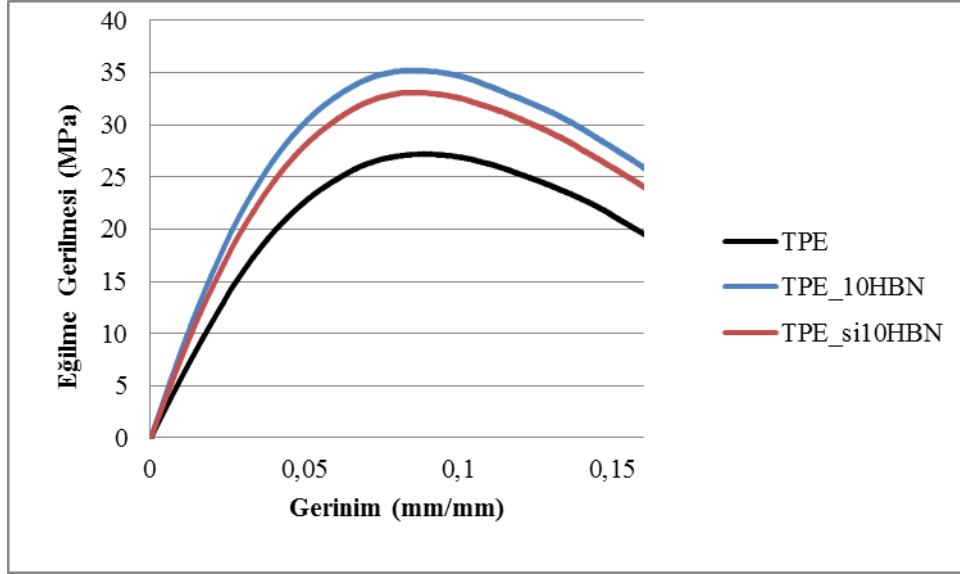
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.97'de verilmiştir.



Şekil 4.97. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.97 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme modülü değerleri artmıştır. Bu durum karışımlar kuralı ile açıklanabilir. Yüksek modüle sahip partikül ilavesiyle kompozitin de eğilme modülü değerleri artmıştır (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.97'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme modülü değerlerinde bir miktar azalma meydana gelmesidir. Bunun sebebi silanla işlemi ile eğilme mekanizması üzerinde meydana gelen plastikleştirici etki sebebiyle arayüzeyde eğilme modülü değerinin azalmasıdır. Karışımlar kuralına göre, arayüzey eğilme modülü değeri azalınca kompozitin de eğilme modülü değeri azalır. Şekil 4.98'de saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri görülmektedir.

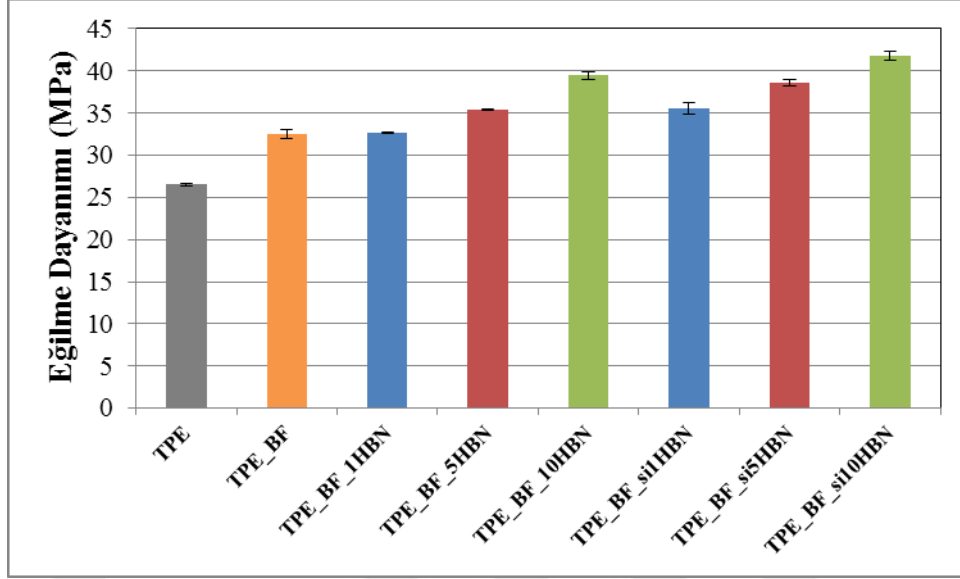


Şekil 4.98. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.99 – 4.100'de verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.99'da verilmiştir.

Şekil 4.99 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme dayanımı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Partikül ve elyaf takviyesinin birlikte ilavesiyle birlikte sinerjik etki meydana gelir. Bu durumda takviye elemanları matrisin içerisinde daha homojen bir şekilde dağılır ve takviye elemanları ile matris arasındaki arayüzeyde daha iyi bir yapışma gözlemlenebilir. Dolayısıyla matristen takviye elemanlarına daha etkili bir gerilim transferi gerçekleşir. Ayrıca en fazla artışın ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren kompozitte elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.99. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

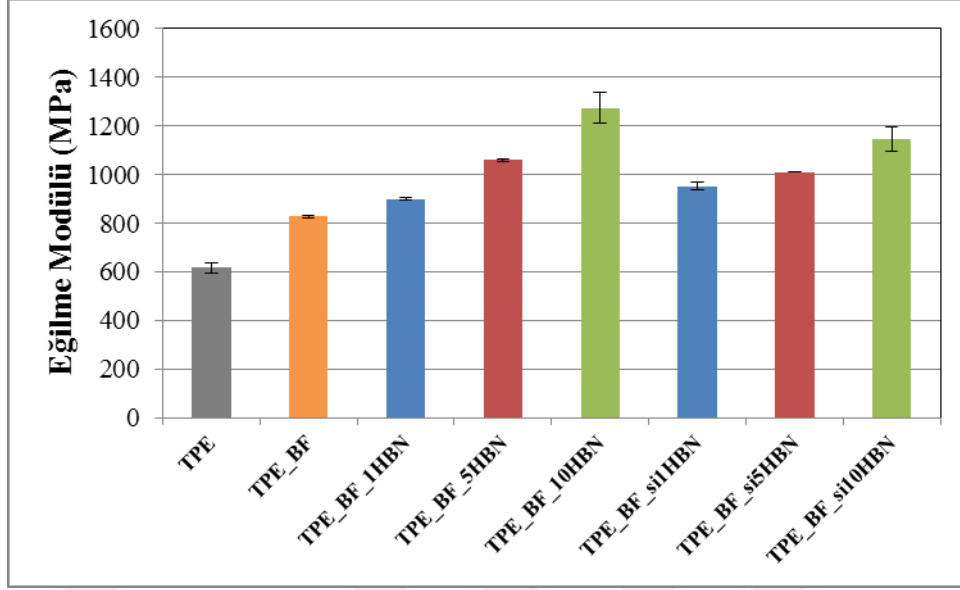
Şekil 4.99'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinin daha da artmasıdır.

Bunun sebebi silanlamayla birlikte matris ile takviye elemanı arasında arayüzey yapışma kalitesinin artması ve takviye elemanlarının matris içerisinde daha homojen bir dağılıma davranışı sergilemesidir.

Bununla birlikte takviye elemanlarının polimerdeki zincir hareketliliğini sınırlandırarak kompozitin bükülmezliğini ya da eğilme dayanımını iyileştirdiği yorumu yapılabilir.

Ayrıca en fazla artışın ağırlıkça %10 oranında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren kompozitte olduğu görülmektedir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.100'de verilmiştir.



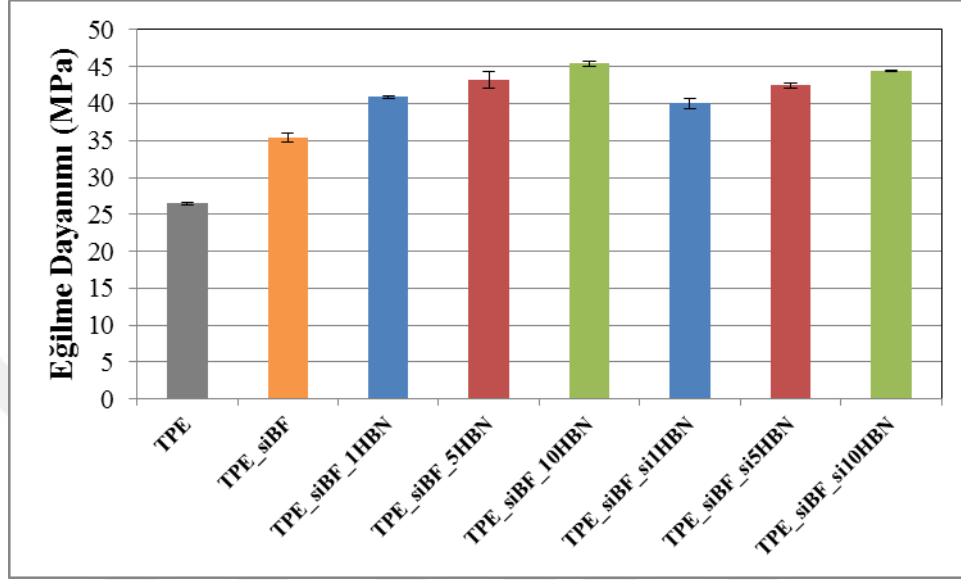
Şekil 4.100. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.100 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme modülü değerleri artmıştır. Partikül takviyesi yüksek eğilme modülü değerine sahiptir. Bu nedenle karışımlar kuralına göre kompozitin de eğilme modülü değerini arttırmaktadır (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.100'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında hegzagonal bor nitrür silanlanarak ilave edildiğinde eğilme modülü değerinin düşmesidir. Bunun sebebi yüksek oranda partikül takviyesi sebebiyle daha çok miktarda silanın kompozit içerisinde bulunmasıdır. Yüksek miktarda silan plastikleştirici etki sebebiyle arayüzeyin eğilme modülü değerini azaltmıştır. Dolayısıyla karışımlar kuralına göre arayüzeyin eğilme modülünde gelen bu azalma kompozitin de eğilme modülü değerini azaltmıştır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.101 – 4.102'de verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.101'de verilmiştir.

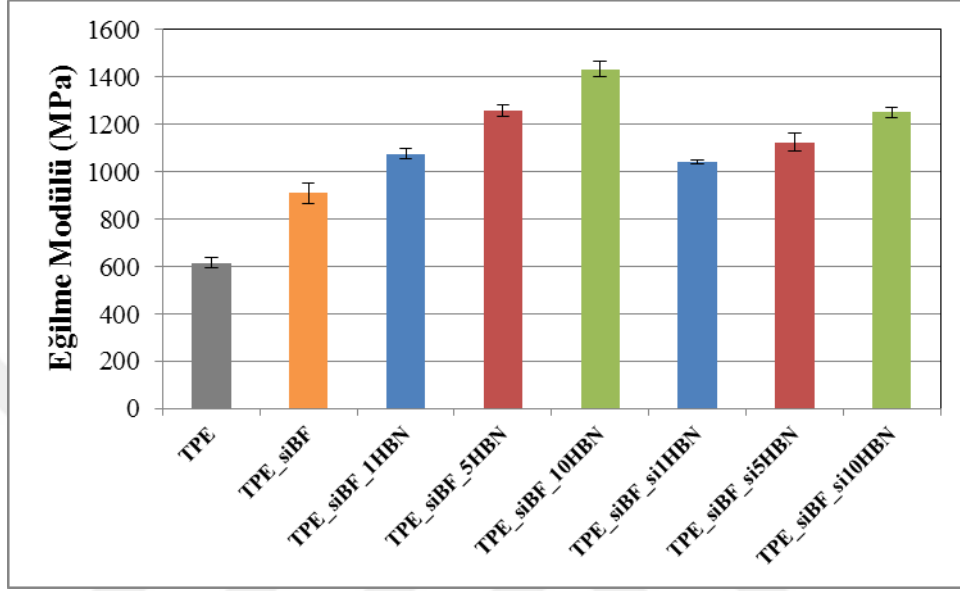


Şekil 4.101. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.101 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Elyaf ve partikül takviyesinin birlikte ilavesi kompozitte sinerjik bir etki yaratır. Oluşan bu sinerjik etkiyle takviye elemanları matris içerisinde daha homojen bir şekilde dağılır ve arayüzey yapışma kalitesi iyileşir. Bunun sonucunda matristen takviye elemanlarına gerilim transferi etkinliği artar ve kompozitin eğilme dayanımı değeri artar.

Şekil 4.101'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinde bir miktar azalma meydana gelmesidir. Her ne kadar partikül ve elyaf takviyesinin eş zamanlı ilavesiyle sinerjik bir etki durumu oluşsa da, silanlamanın plastikleştirici etkisi eğilme mekanizması üzerinde baskın gelmiştir. Meydana gelen bu durum da eğilme dayanımı değerlerini azaltmıştır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.102'de verilmiştir.



Şekil 4.102. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.102 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme modülü değerleri artmıştır. Hegzagonal bor nitrürün rijitliği fazladır.

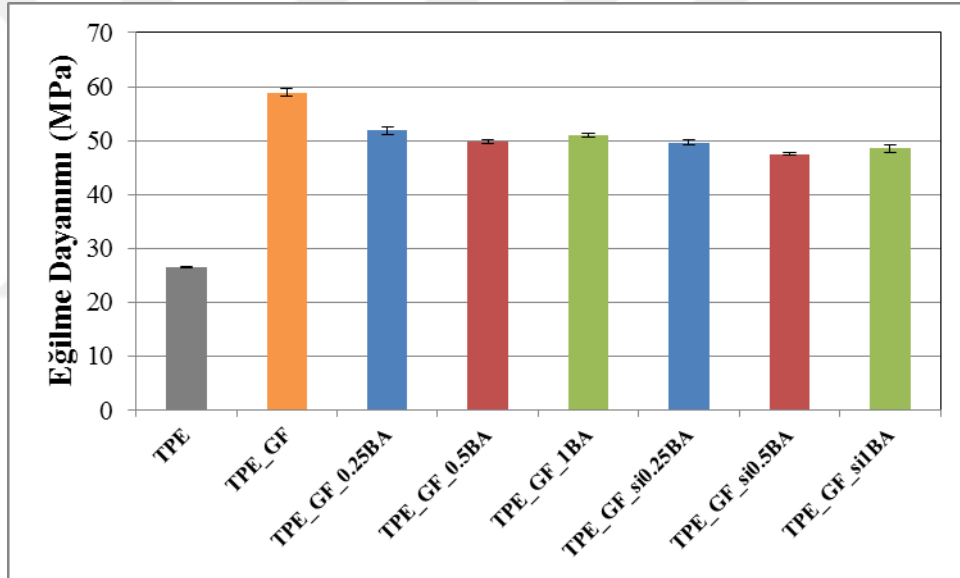
Karışımlar kuralına göre rijitliği polimere göre fazla olan takviye elemanlarının ilavesiyle kompozitin de eğilme modülü değerleri artar (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.102'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme modülü değerlerinde bir miktar azalma olmasıdır. Her iki takviye elemanın silanlanarak ilave edilmesi kompozit malzemenin arayüzeyinde plastikleştirici bir etki yaratmış ve eğilme modülü değerlerini azaltmıştır.

4.4.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.103 – 4.104'te verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.103'te verilmiştir.



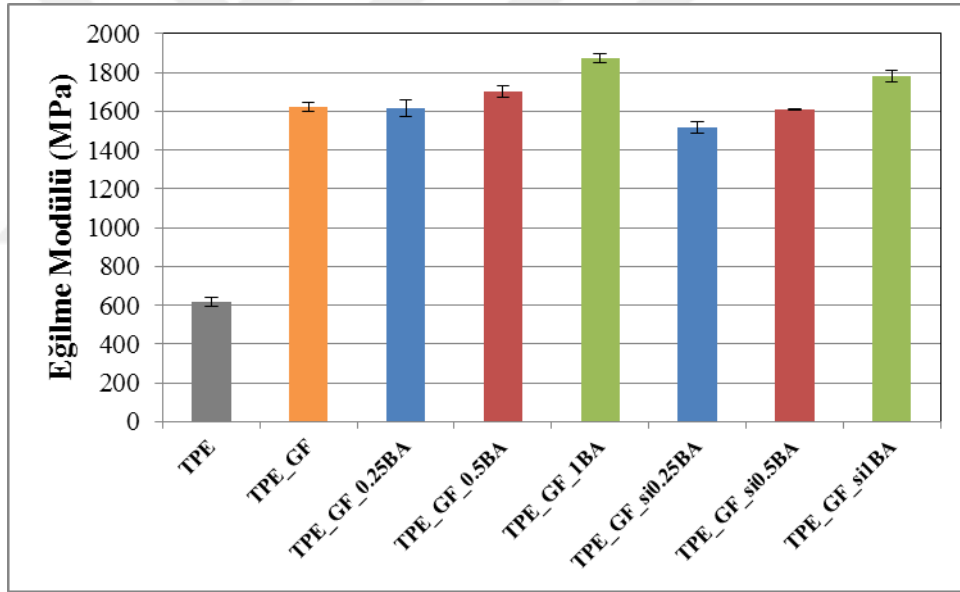
Şekil 4.103. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.103 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. Elyaf ve partikül takviye elemanının eş zamanlı ilavesi sinerjik bir etki oluşturmamış bu nedenle bir miktar düşüş yaşanmıştır. Bununla birlikte artan borik asit ilavesiyle daha düşük bir homojen dağılım seviyesi oluşmuş ve bu durum eğilme dayanımı değerlerine olumsuz bir şekilde yansımıştır. Ayrıca düşük en-boy oranına sahip borik asit partiküllerinin cam

elyaf ile birlikte takviye edildiğinde etkili bir gerilim transferi sağlamadığı söylenebilir.

Şekil 4.103'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinin daha da düşmüş olmasıdır. Bunun sebebi silanlamayla birlikte oluşan plastikleştirici etkinin eğilme mekanizması üzerinde baskın gelmesi ve bunun sonucunda kompozitin bükülmezliğinin azalmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.104'te verilmiştir.



Şekil 4.104. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

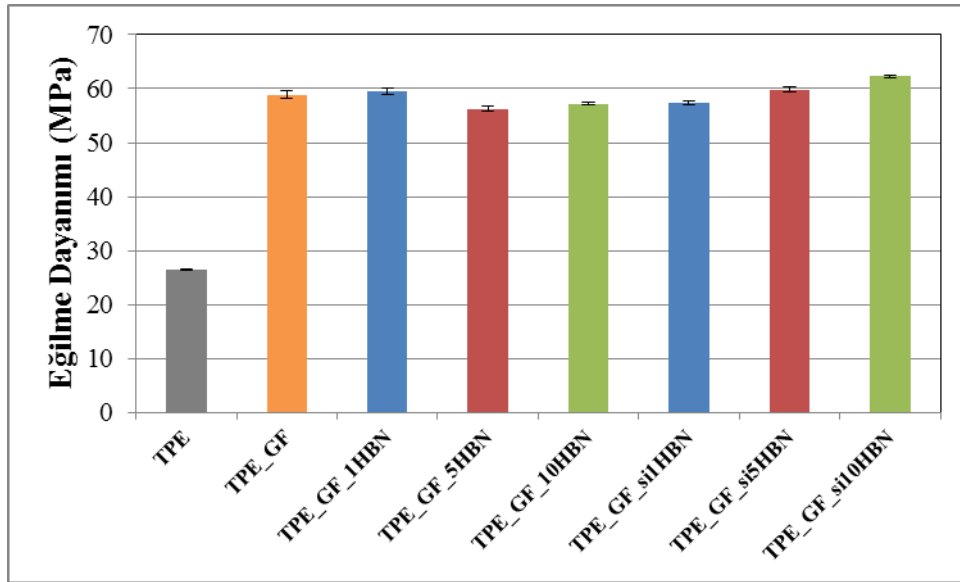
Şekil 4.104 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle eğilme modülü değerleri artmıştır. Bu durum karışımlar kuralı ile açıklanabilir. Yüksek rijitliğe sahip partikül ve elyaf takviyesiyle birlikte kompozitin de rijitliği yükselir. Bu nedenle artan borik asit ilavesiyle birlikte kompozitin eğilme modülü değerleri de artar (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.104'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme modülü değerlerinin bir miktar azalmış olmasıdır. Bu durum karışımlar kuralı ile açıklanabilir. Silanlama işlemi ile birlikte arayüzeyin rijitliği azalmıştır. Bu durum kompozitin eğilme modülü değerinde bir düşüşe yol açmıştır.

4.4.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.105 – 4.106'da verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.105'te verilmiştir.



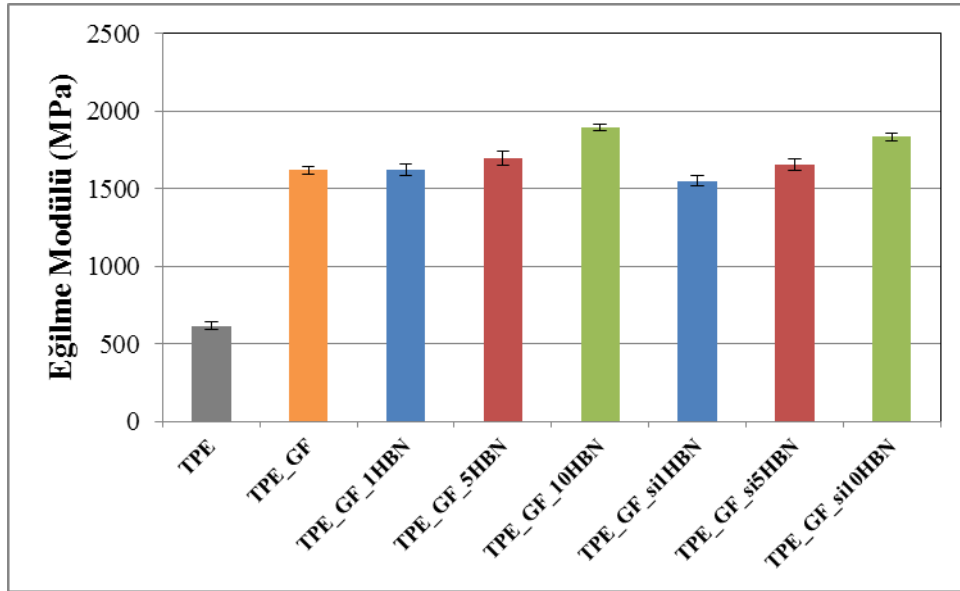
Şekil 4.105. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.105 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür

ilavesiyle eğilme dayanımı azalmıştır. Bunun sebebi cam elyafın hegzagonal bor nitrüre karşı olan afinitesinin düşük olmasıdır. Bu nedenle artan oranla birlikte hegzagonal bor nitrür matris içerisinde homojen bir dağılım sergileyememiş ve aglomera olarak bir kusur gibi davranmıştır. Sonuç olarak cam elyaf takviyeli kompozitin eğilme dayanımı değeri azalmış ya da başka bir ifadeyle daha kolay bükülebilir bir hal almıştır.

Şekil 4.105'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ağırlıkça %5 ve %10 hegzagonal bor nitrür takviye oranında eğilme dayanımı değerlerinin artmasıdır. Silanlama işlemi ile birlikte hegzagonal bor nitrür matris içerisinde daha homojen bir dağılım sergilemiş ve matris ile olan arayüzey etkileşiminin kalitesi artmıştır. Bu durum da matris ile takviye elemanları arasındaki gerilim transferi etkinliğinde iyileşme sağlamıştır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.106'da verilmiştir.

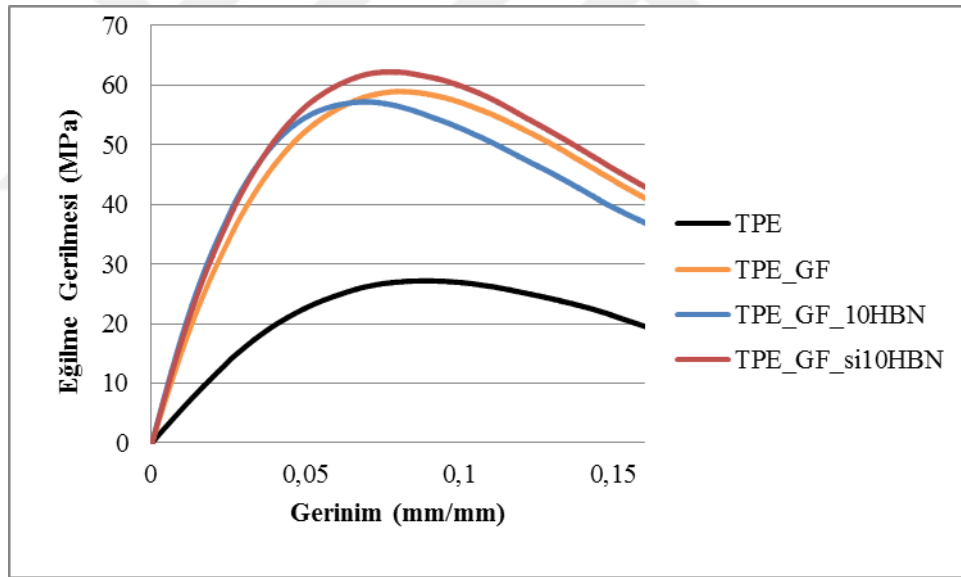


Şekil 4.106. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.106 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme modülü değerleri artmıştır. Bu durum karışımlar kuralı ile açıklanabilir ve yüksek rijitliğe sahip hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kompozitin de eğilme modülü değeri artmıştır denebilir (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.106'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme modülü değerlerinde bir miktar düşüş olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işleminin arayüzey üzerinde yarattığı plastikleştirici etkidir. Bu etkiyle birlikte arayüzeyin eğilme modülü değeri azalmış ve bunun sonucunda kompozitin de eğilme modülü değeri azalmıştır.

Şekil 4.107'de saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri görülmektedir.



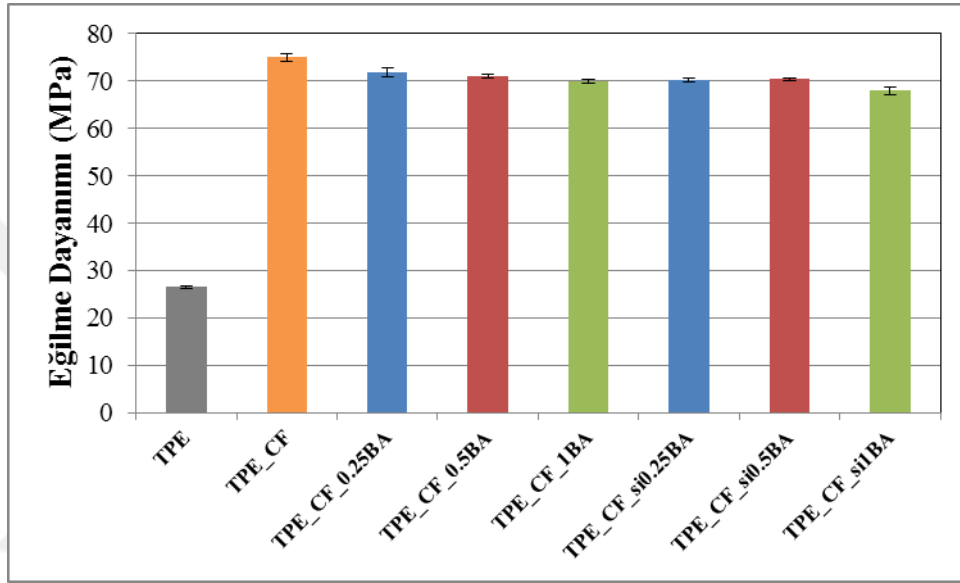
Şekil 4.107. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri

4.4.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi

amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.108 – 4.109’da verilmiştir.

Saf TPE’nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.108’de verilmiştir.

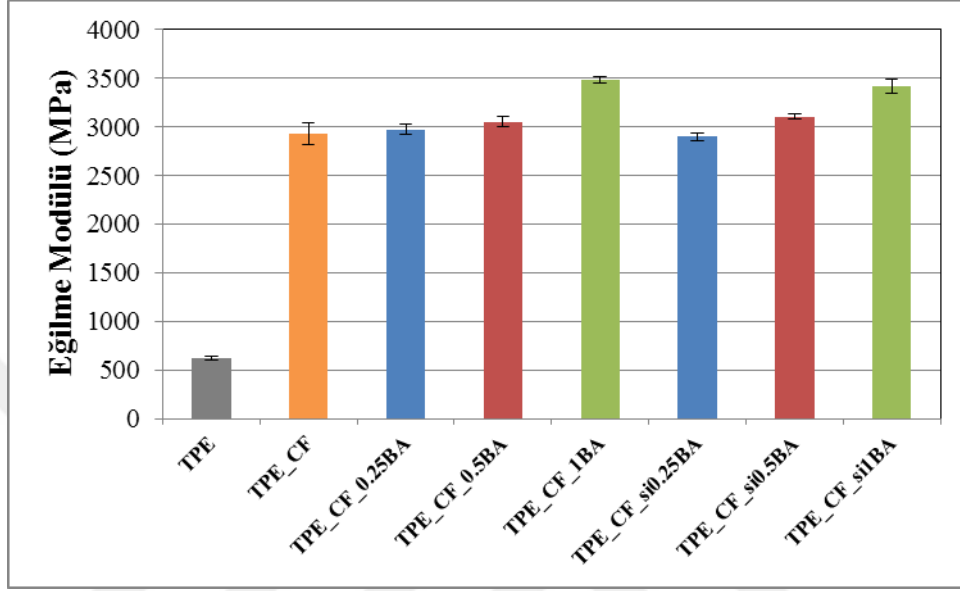


Şekil 4.108. Saf TPE’ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.108 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. Bunun sebebi borik asit ilavesiyle ortaya çıkması beklenen sinerji etkisi durumunun oluşmaması dolayısıyla matristen takviye elemanına olan gerilim transferi etkinliğinin azalmasıdır. Bununla birlikte borik asit partiküllerinin en-boy oranı düşük olması sebebiyle karbon elyaf takviyeli kompozitlere ilave edilmeleri durumunda etkili bir yük transferi gerçekleşmeyebilir.

Şekil 4.108’den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinde bir miktar azalma olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işlemi sonucunda oluşan plastikleştirici etkidir. Bu etkiyle birlikte matristen takviye elemanına olan gerilim transferi daha da azalmıştır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.109'da verilmiştir.



Şekil 4.109. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

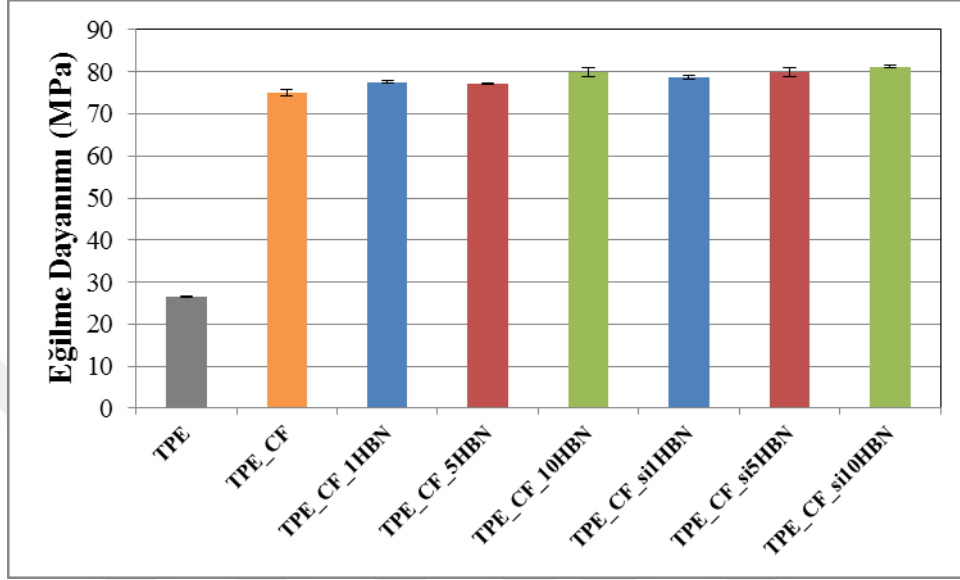
Şekil 4.109 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle eğilme modülü değerleri artmıştır.

Şekil 4.109'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme modülü değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır.

4.4.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin eğilme dayanımı (σ) ve eğilme modülü (E) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları sırasıyla Şekil 4.110 – 4.111'de verilmiştir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.110'da verilmiştir.

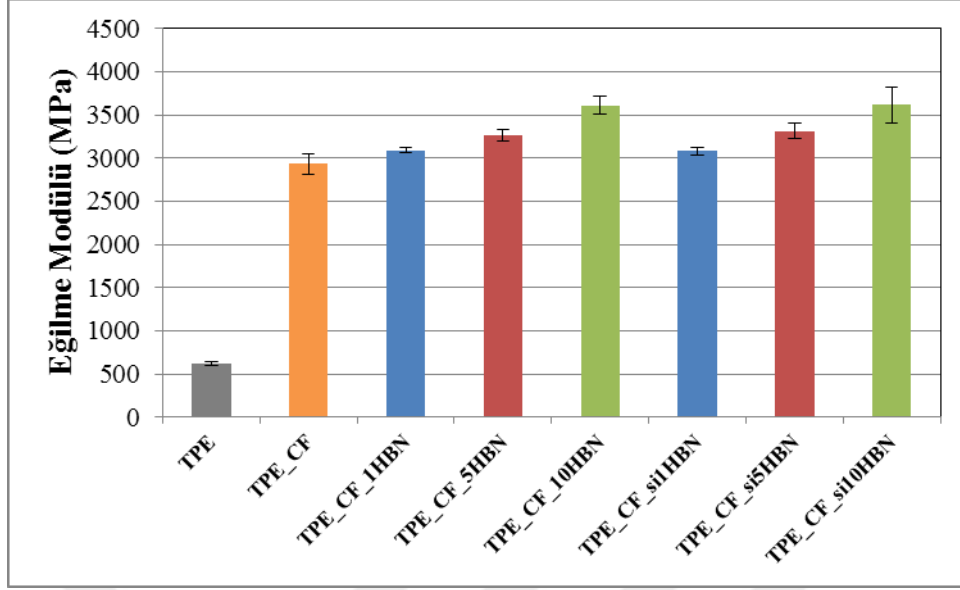


Şekil 4.110. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.110 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Bunun sebebi elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı olarak yapılmasıyla ortaya çıkan sinerjik etkidir. Bu etkiyle birlikte takviye elemanları yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılım sergilemiş ve matristen takviye elemanına olan gerilim transferi etkinliğini arttırmıştır. Bunun sonucunda kompozit malzemenin bükülmezliği artmıştır.

Şekil 4.110'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin üç nokta eğme testi sonucunda elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 4.111'de verilmiştir.



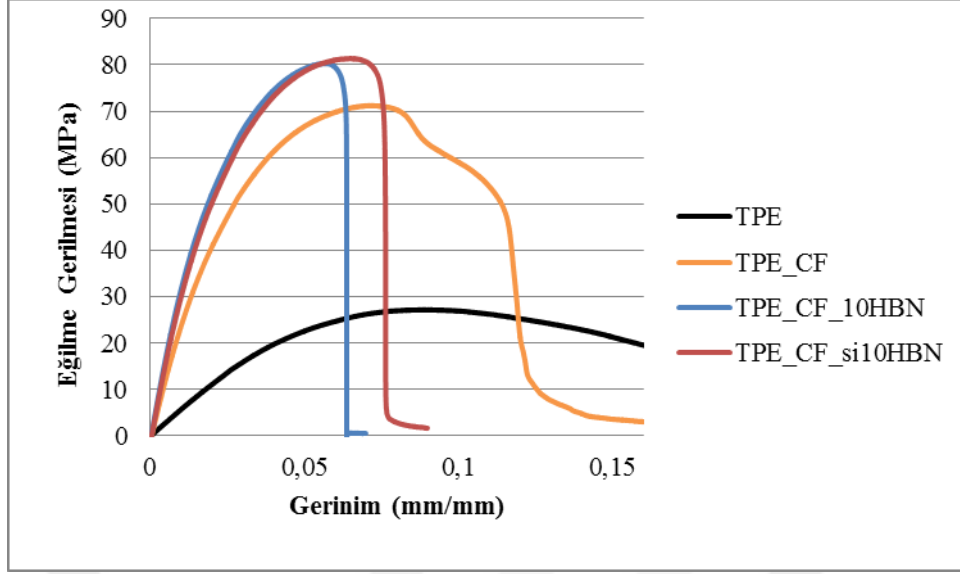
Şekil 4.111. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait eğilme modülü değerleri

Şekil 4.111 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle eğilme modülü değerleri artmıştır.

Bu durum karışımlar kuralı ile açıklanabilir ve yüksek rijitliğe sahip takviye elemanlarının ilavesiyle kompozitin de eğilme modülü değeri artmıştır denebilir (Margem ve diğ., 2015).

Şekil 4.111'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme modülü değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır.

Şekil 4.112'de saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri görülmektedir. Şekil 4.112 incelendiğinde görülmektedir ki, yüksek oranda gerinim sergileyerek eğilmekte olan termoplastik poliester elastomer malzemenin, karbon elyaf ve hegzagonal bor nitrür ilavesiyle gerinim değeri düşmüştür. Dolayısıyla kompozitin daha bükülmez bir davranış sergilediği söylenebilir.



Şekil 4.112. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlere ait eğilme gerilmesi-gerinim eğrileri

4.5. SEM Analizi Sonuçları

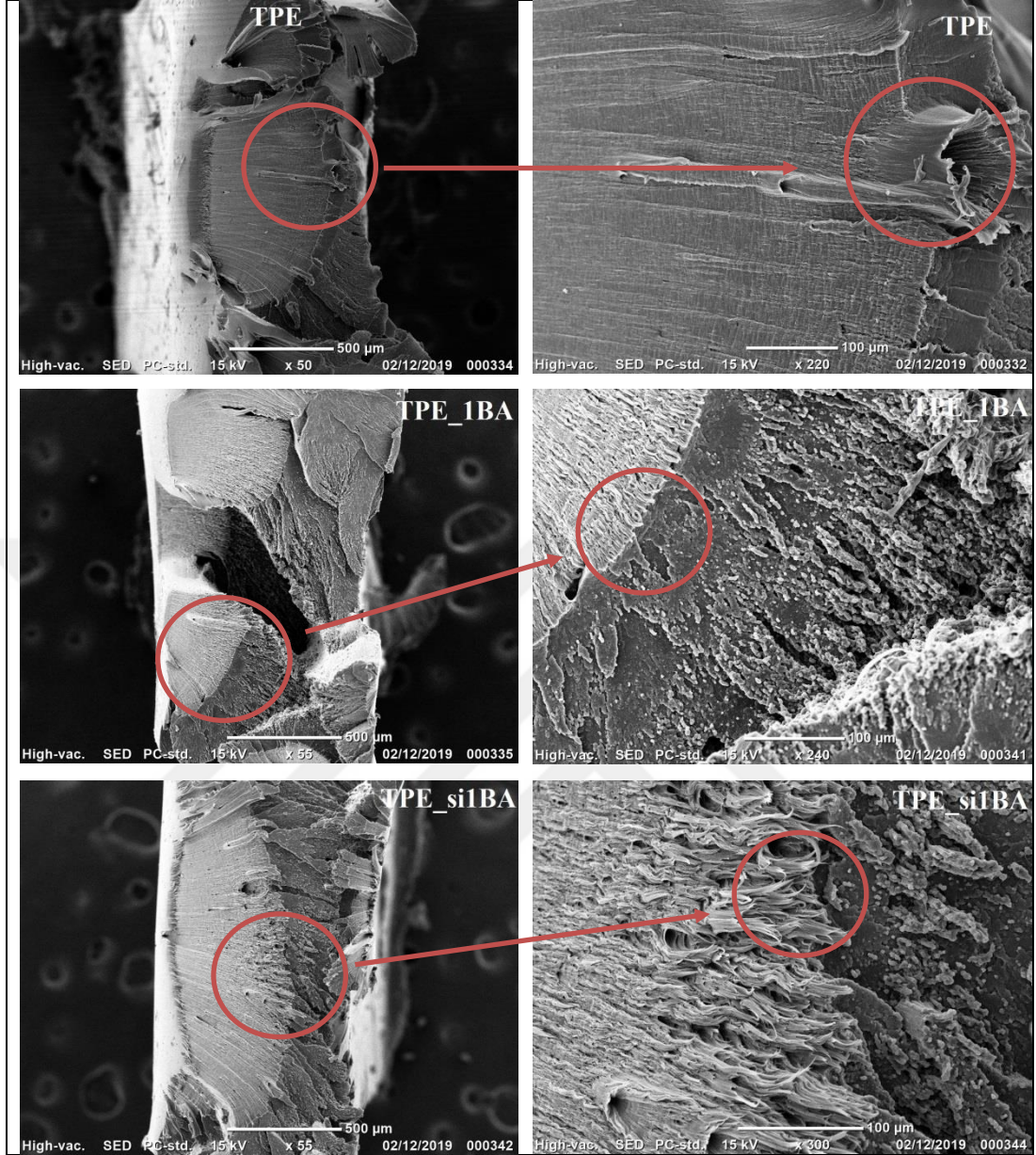
Bu başlık altında kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyleri ve aşınma testi sonucu aşınan yüzeylerinin SEM görüntülerine yer verilmiştir. Çekme testi ve aşınma testini ayrı ayrı değerlendirmek amacıyla iki farklı başlık altında sonuçlara yer verilmiştir.

4.5.1. Çekme testi sonucu kopan yüzeylerin SEM analizi

4.5.1.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.113'te verilmiştir.

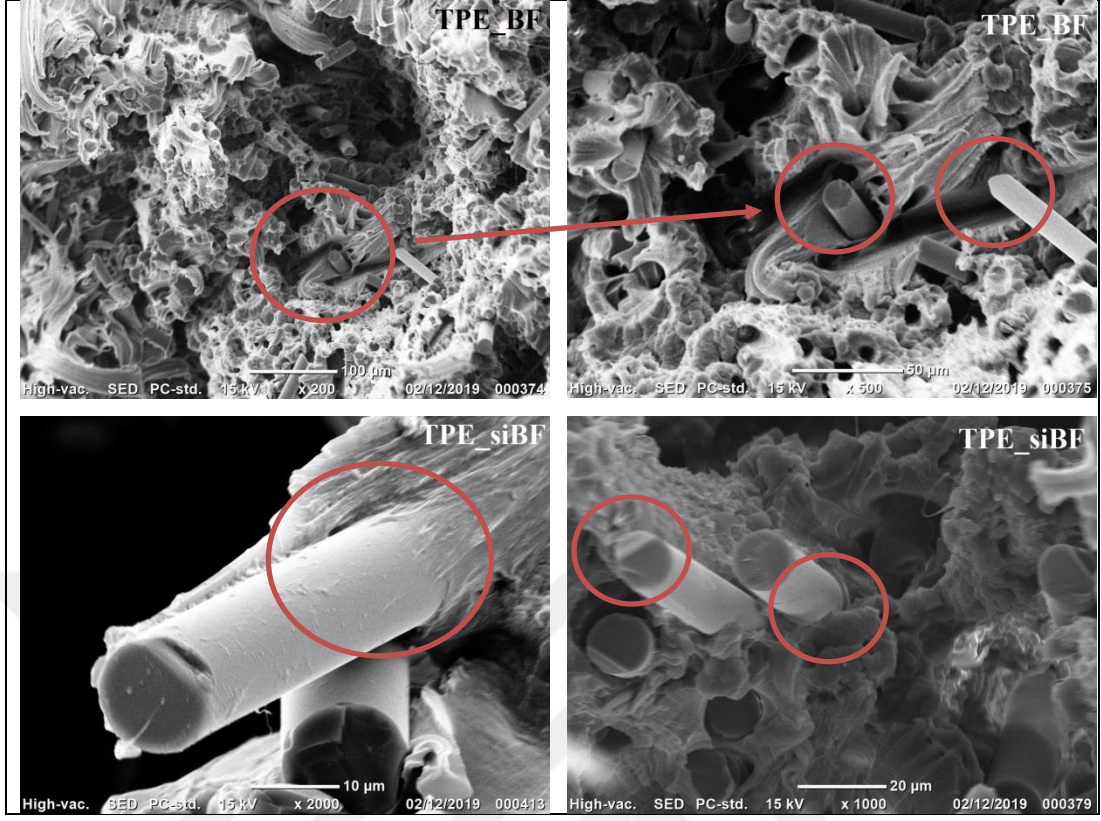
Şekil 4.113 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE yüzeyinde görülen katlanmalar kırılmadan önce yüksek plastik deformasyon olduğunun göstergesidir. Bu katlanmalara ek olarak, matrisin yüzeyinde oluşan bantlar da malzemenin sünek bir kırılma davranışı sergilediğini göstermektedir. Saf TPE'ye ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle partiküllerin matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bununla birlikte kopan yüzeyde bantların oluşumu malzemenin sünek kopma davranışını sürdürdüğünün bir kanıtıdır.



Şekil 4.113. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.113'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda matris yüzeyinde katlanmalar ve bant oluşumlarının görülmesidir. Dolayısıyla bu durum, borik asit ilavesiyle kompozitin yüksek oranda uzama sergileyerek koptuğunun bir kanıtıdır. Bununla birlikte borik asit partiküllerinin matriste daha homojen bir şekilde dağıldıkları söylenebilir.

Ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.114'te verilmiştir.



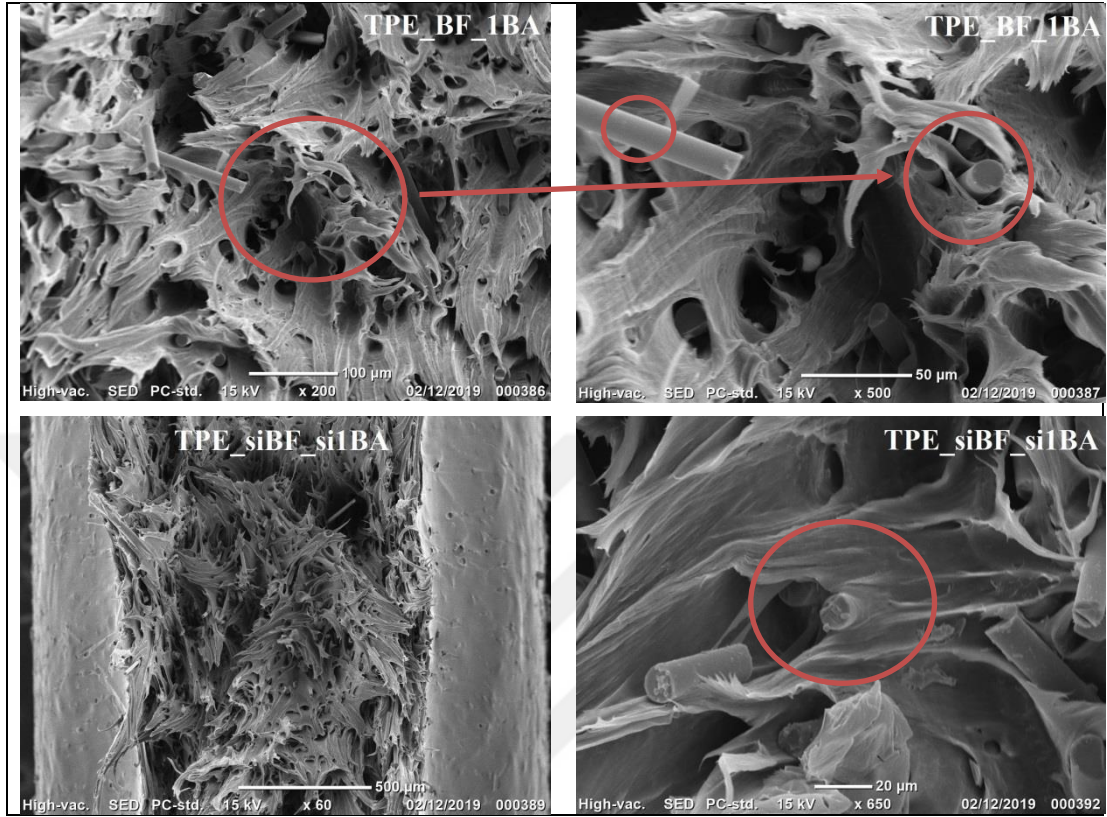
Şekil 4.114. Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.114 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle matris ile elyaf arasında boşluklar oluşmuştur. Bununla birlikte kırılma yüzeyinde fiber çıkması (fiber pull-out) sebebiyle birçok boşluğun olduğu da görülmektedir. Bu nedenle silanlanmamış elyaf ile matris arasında çok iyi bir yapışma kalitesi olduğu söylenemez. Bununla birlikte yüzeyi pürüzsüz olan bir bazalt lifi de şekilden açık şekilde görülmektedir.

Şekil 4.114'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda matris ile elyaf arasındaki boşlukların azalmış olmasıdır. Elyafın matris tarafından etkili bir şekilde ıslatıldığı ve etrafının sarıldığı açık şekilde görülmektedir. Bu nedenle silanlama işlemi ile birlikte elyaf-matris arasındaki yapışma kalitesinin artmış olduğu söylenebilir. Artan yapışma kalitesiyle matristen elyafa daha etkin bir gerilim transferi olmuş ve kompozitin çekme dayanımı değeri de artmıştır.

Ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit

kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.115'te verilmiştir.



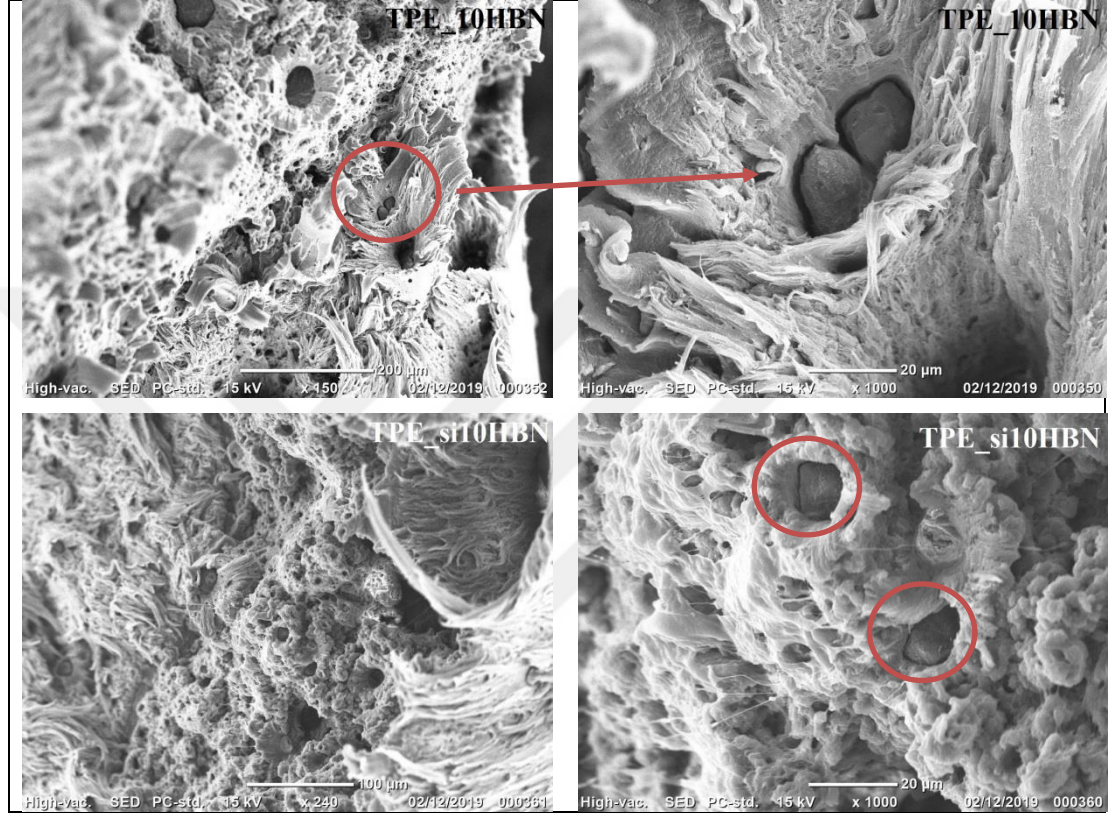
Şekil 4.115. Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.115 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle matris ile elyaf arasında iyi bir etkileşim ya da başka bir ifadeyle kaliteli bir yapışma olmadığı açık şekilde görülmektedir. Bu nedenle borik asit ile bazalt elyaf arasında iyi bir etkileşim olmadığı ve çekme dayanımı değerlerinin düştüğü söylenebilir.

Şekil 4.115'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf ve borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda elyaf ile matris arasındaki arayüzey yapışma kalitesinin artmış olmasıdır. Elyafın matris tarafından daha iyi bir şekilde sarılmış ya da başka bir ifadeyle etkili bir şekilde ıslatılmış olduğu söylenebilir. Artan arayüzey yapışma kalitesiyle matristen takviye elemanına olan yük transferi daha etkili bir şekilde gerçekleşmiş ve kompozitin çekme dayanımı değeri iyileşmiştir.

4.5.1.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.116'da verilmiştir.



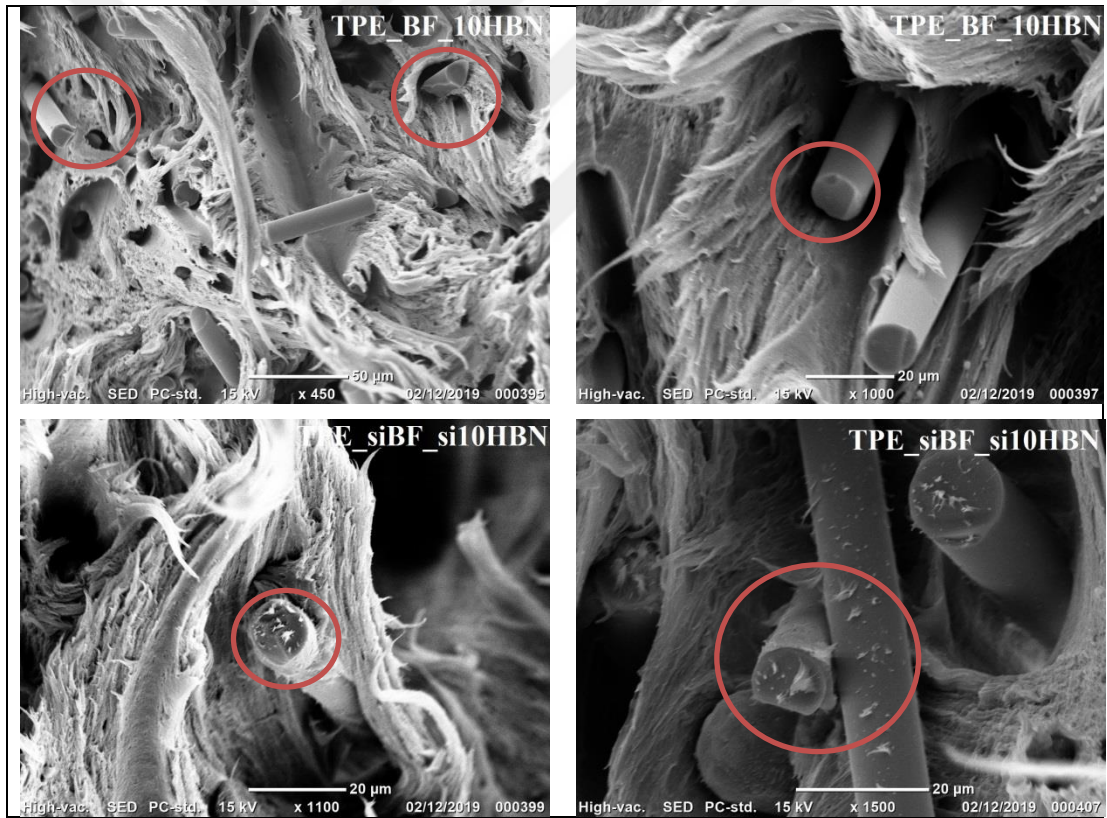
Şekil 4.116. Silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.116 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kompozitin kırılma yüzeyinde açık bir şekilde sünme davranışı meydana gelmiştir. Bununla birlikte matris içerisindeki hegzagonal bor nitrür partikülleri net bir şekilde görülmektedir. Hegzagonal bor nitrür ile matris arasında boşluklar olduğu söylenebilir. Bu nedenle matris ile takviye elemanı arasında yapışma kalitesinin çok iyi olduğu söylenemez. Ancak hegzagonal bor nitrür partiküllerine göre çok daha yumuşak olan matriste, hegzagonal bor nitrür ilavesiyle çekme dayanımı değeri artmıştır.

Şekil 4.116'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda hegzagonal bor nitrürün matris içerisine daha

homojen bir şekilde dağılmış olmasıdır. Bununla birlikte matris ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür partikülleri arasındaki boşluklarda, silanlanmamış olan hegzagonal bor nitrüre göre azalma olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum silanlama işlemiyle birlikte, matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey yapışma kalitesinin iyileşmesinin bir kanıtıdır. İyileşen arayüzey yapışma kalitesi ve partiküllerin matris içerisinde daha homojen bir şekilde dağılımlarıyla kompozitin çekme dayanımı değeri artmıştır.

Ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.117'de verilmiştir.



Şekil 4.117. Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.117 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle elyaf ile matris arasında iyi bir yapışma kalitesi oluşmamıştır. Elyaf yüzeyinin pürüzsüz olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Bununla birlikte matris ile elyaf arasındaki boşluklar görülebilmektedir. Ayrıca kırılma yüzeyinde polimerik matriste sünme davranışı oluştuğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.117'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf ve hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda matris ile takviye elemanları arasında yapışma kalitesinin iyileşmiş olmasıdır. Öyle ki, elyaf yüzeyindeki polimer kalıntıları net bir şekilde görülmekte ve elyafın matris tarafından etkili bir şekilde ıslatıldığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, silanlama işlemi ile birlikte matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey yapışma kalitesinin iyileştiği söylenebilir. Artan bu yapışma kalitesiyle kompozitin çekme dayanımı değeri de artmıştır.

4.5.1.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

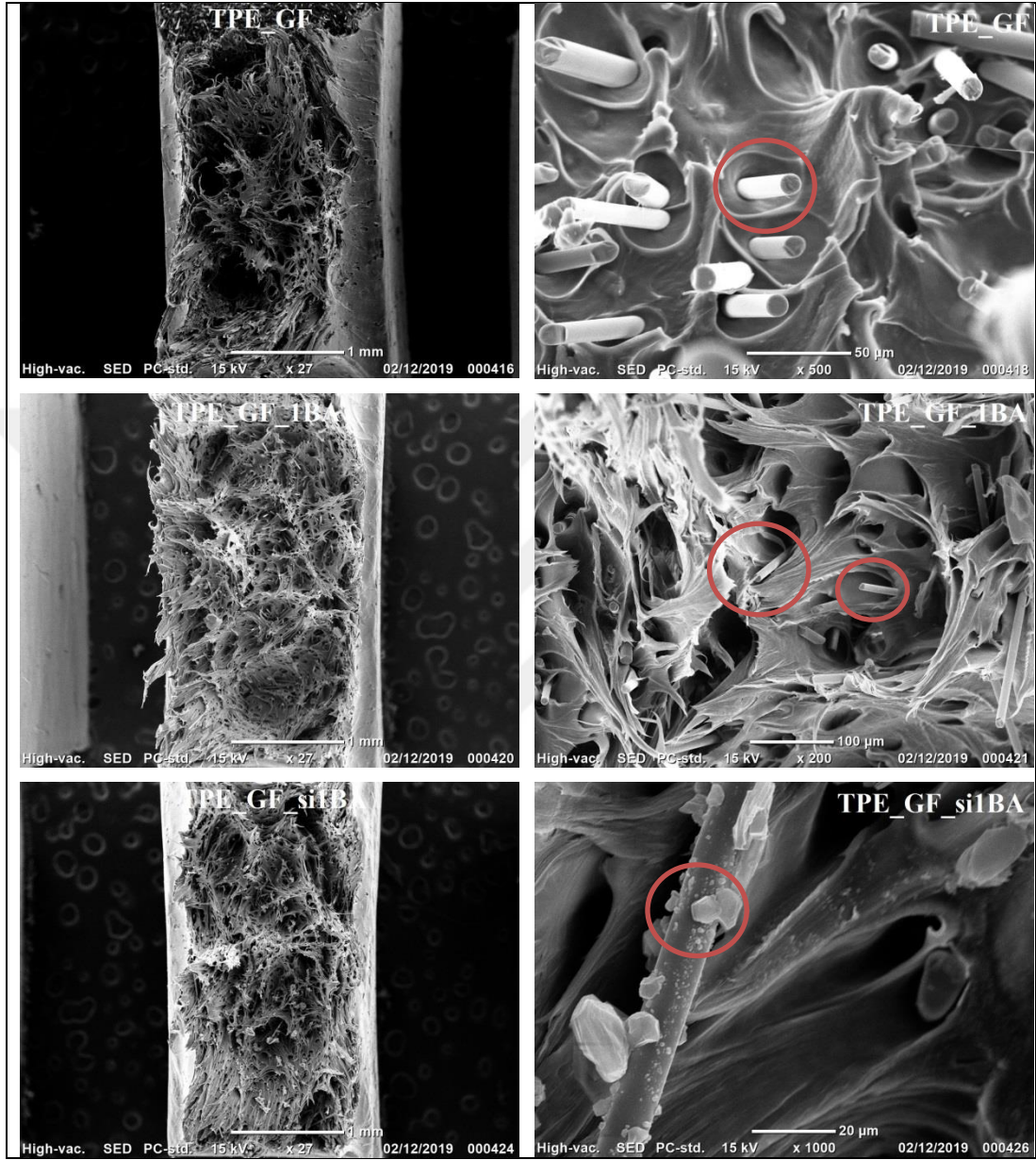
Ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.118'de verilmiştir.

Şekil 4.118 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozitte matris ile elyaf arasında iyi bir yapışmanın olduğu görülmektedir. Cam elyaf matrise göre daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Bu nedenle matristen takviye elemanına etkili bir gerilim transferi ile birlikte kompozitin çekme dayanımı artmıştır.

Cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle elyafın matris tarafından etkili bir şekilde ıslatılmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte matris yüzeyinde geniş boşluklar göze çarpmaktadır. Bu nedenle cam elyaf takviyeli kompozitlere borik asit ilavesiyle kompozitlerin çekme dayanımı değerleri sadece cam elyaf içeren kompozitlere göre azalmıştır.

Şekil 4.118'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda elyafın matris tarafından daha iyi bir şekilde ıslatılmış olmasıdır. Bununla birlikte elyaf yüzeyinin pürüzlü olduğu net şekilde görülmektedir. Ancak bu arayüzey iyileşmesine rağmen, cam elyafa göre daha düşük yük taşıma kapasitesine sahip borik asit partiküllerinin ilavesiyle, kompozitin çekme

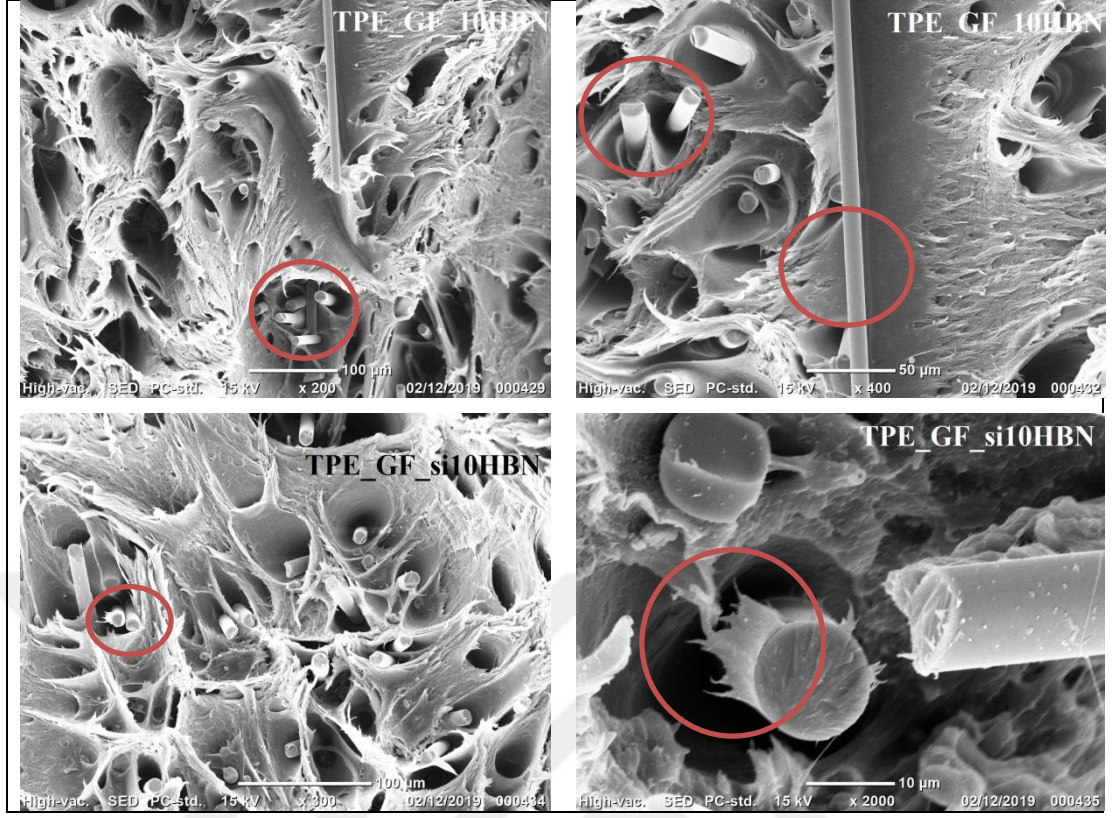
dayanımı değerleri sadece cam elyaf içeren kompozitlerin çekme dayanımı değerlerine göre düşük kalmıştır.



şekil 4.118. Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri

4.5.1.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri şekil 4.119'da verilmiştir.



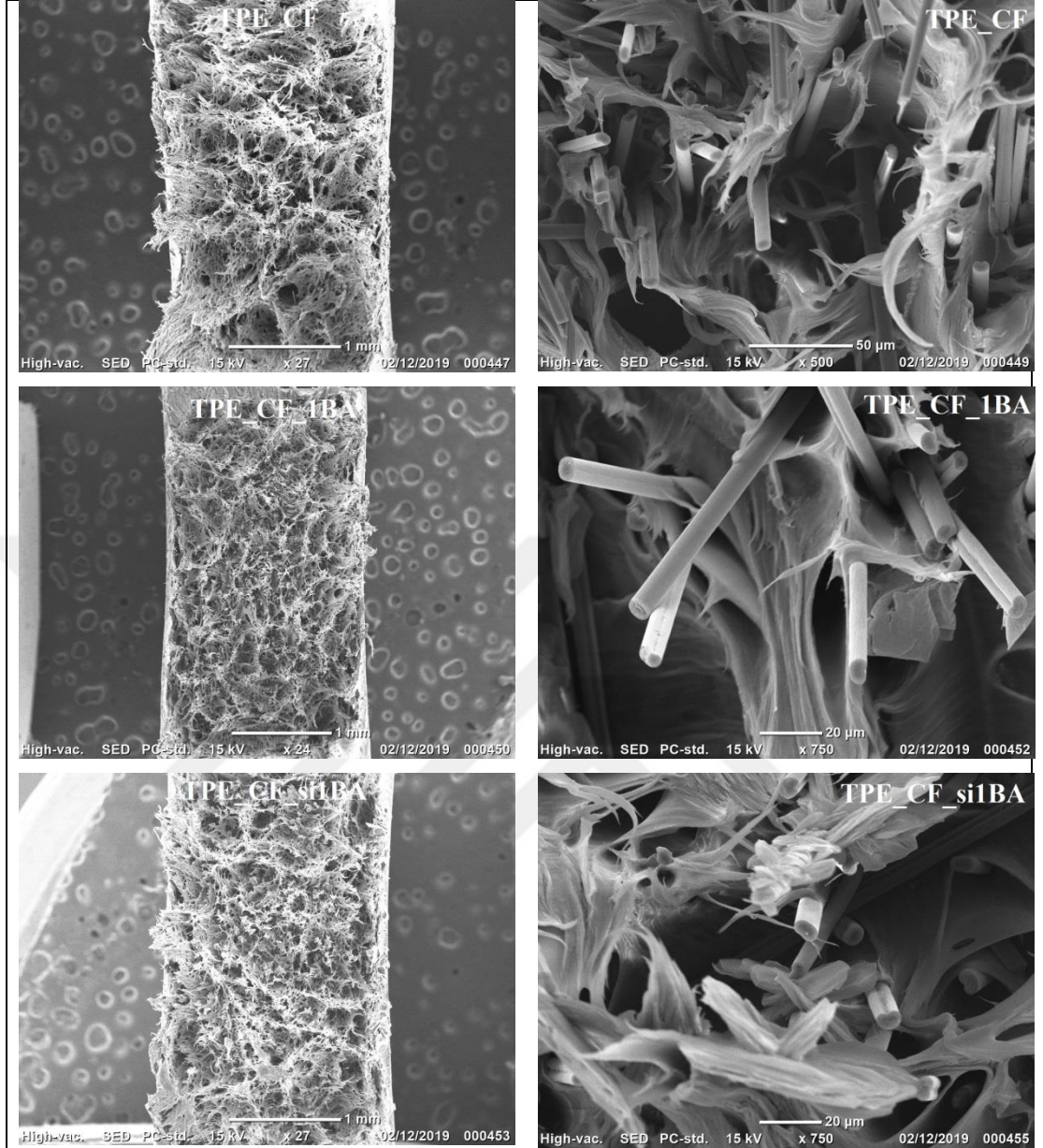
Şekil 4.119. Cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.119 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle matris ile elyaf arasında boşluklar oluşmuştur. Elyaf yüzeylerinin matris tarafından etkili bir şekilde ıslatılmadığı söylenebilir. Bununla birlikte yüzeyi pürüzsüz olan bir cam elyaf açık şekilde görülmektedir.

Şekil 4.119'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda matris ile elyaf arasındaki arayüzey yapışma kalitesinin iyileşmiş olmasıdır. Matrisin etrafını saran polimerik malzeme açık şekilde görülmektedir. Bununla birlikte kompozit içerisindeki cam liflerinin matris tarafından etkili bir şekilde sarıldığı ya da ıslatıldığı söylenebilir.

4.5.1.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.120'de verilmiştir.



Şekil 4.120. Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri

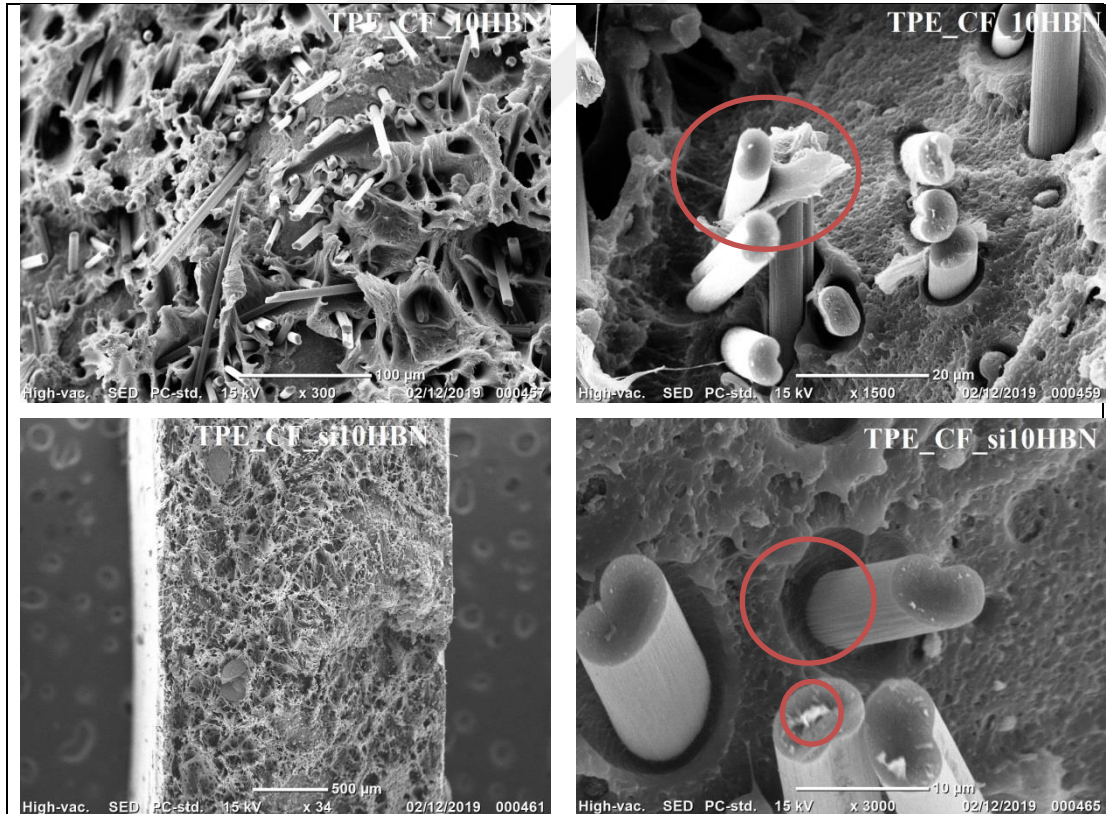
Şekil 4.120 incelendiğinde karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozitte karbon liflerinin matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bununla birlikte numune yüzeyinde kesit daralması olmadığı açık şekilde görülmektedir. Bunun sebebinin kompozitin karbon elyaf takviyesiyle birlikte süneklik davranışının azalması ve kopma uzaması değerinin azalması olduğu söylenebilir. Karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle matris ile elyaf arasında iyi bir yapışma olmadığı söylenebilir. Bu

nedenle karbon elyaf takviyeli kompozitin çekme dayanımı değerlerinin düştüğü sonucuna varılabilir.

Şekil 4.120'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda elyaf ile matris arasındaki yapışma kalitesinde önemli bir değişikliğin olmamasıdır. Çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, karbon elyaf takviyeli kompozitlere silanlanmamış borik asit veya silanlanmış borik asit ilavesiyle benzer değerlerin elde edildiği görülmektedir.

4.5.1.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin çekme testi sonucu kopan yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.121'de verilmiştir.



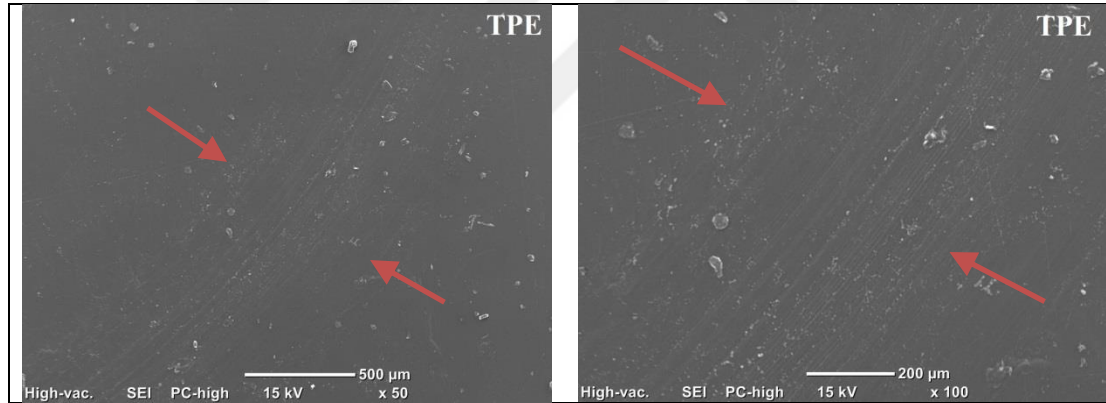
Şekil 4.121. Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.121 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle lifler kompozit içerisinde homojen bir şekilde dağılmışlardır. Elyaf yüzeyinden ayrılan bir polimer kalıntısı açık şekilde görülmektedir.

Şekil 4.121'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda elyaf ile matris arasındaki arayüzey yapışma kalitesinin iyi olmasıdır. Elyaf yüzeyindeki kalıntılar açık şekilde görülmektedir. İyileşen arayüzey yapışma kalitesiyle birlikte matristen takviye elemanına daha etkili bir yük transferi gerçekleştirmiş ve kompozitin çekme dayanımı değerleri artmıştır.

4.5.2. Aşınma testi sonucu aşınan yüzeylerin SEM analizi

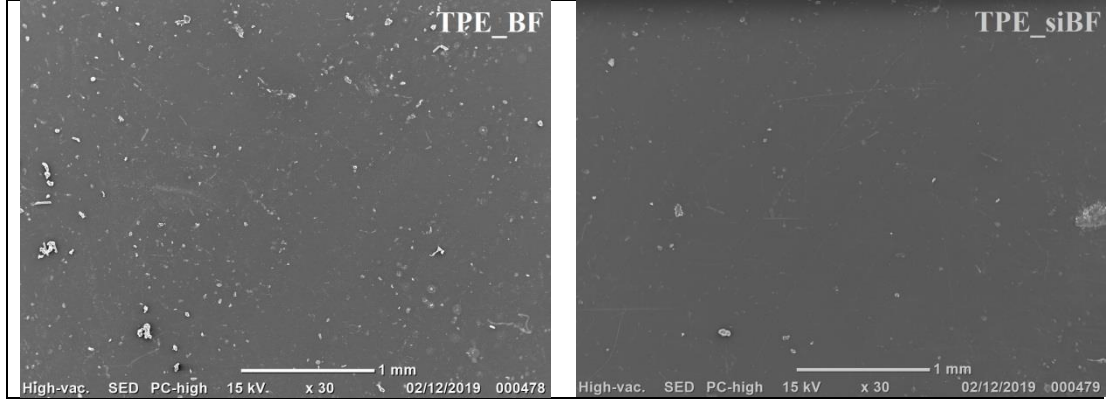
Saf TPE'nin aşınma testi sonucu aşınmış yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.122'de verilmiştir.



Şekil 4.122. Saf TPE'nin aşınma yüzeyine ait SEM görüntüleri

Şekil 4.122 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE yüzeyinde aşınma yönünde ince çizgiler oluşmuştur. Bu çizgiler aşındırıcı topun numune yüzeyine temas etmesi sonucu oluşan aşınma izleridir. TPE'nin sürtünme katsayısının düşük olması sebebiyle numune yüzeyinde aşınma döküntüleri oluşmamıştır. Bu nedenle malzeme yüzeyinde yalnızca plastik deformasyon olduğu ve numune yüzeyinde herhangi bir malzeme kaybı olmadığı söylenebilir.

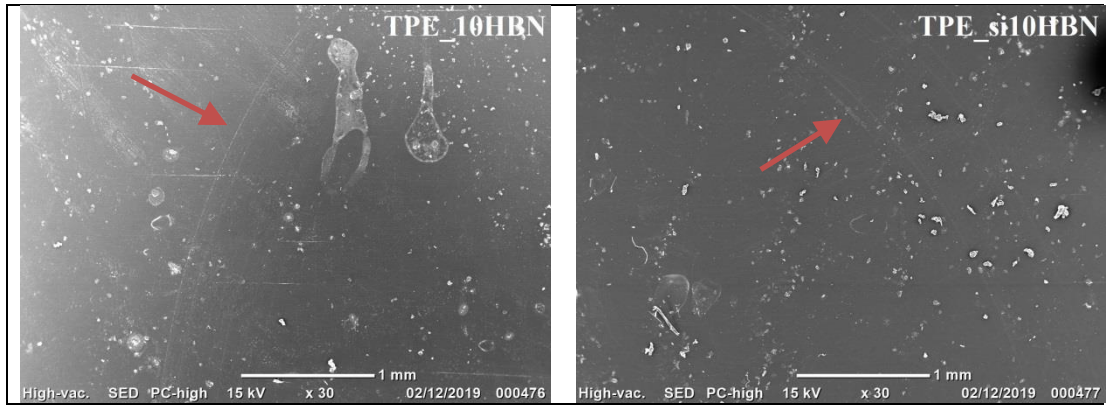
Ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE'nin aşınma testi sonucu aşınmış yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.123'te verilmiştir.



Şekil 4.123. Silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.123 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf ilavesiyle numune yüzeyinde herhangi bir aşınma izi oluşmamıştır. Bazalt elyaf ilavesiyle kompozitin sürtünme katsayısı değerindeki azalmayla kompozitin aşınma direnci iyileşmiştir. Bu nedenle, yüzeyi bazalt elyaf tarafından korunan matriste herhangi bir aşınma izi oluşmamıştır.

Ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin aşınma testi sonucu aşınma yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.124'te verilmiştir.

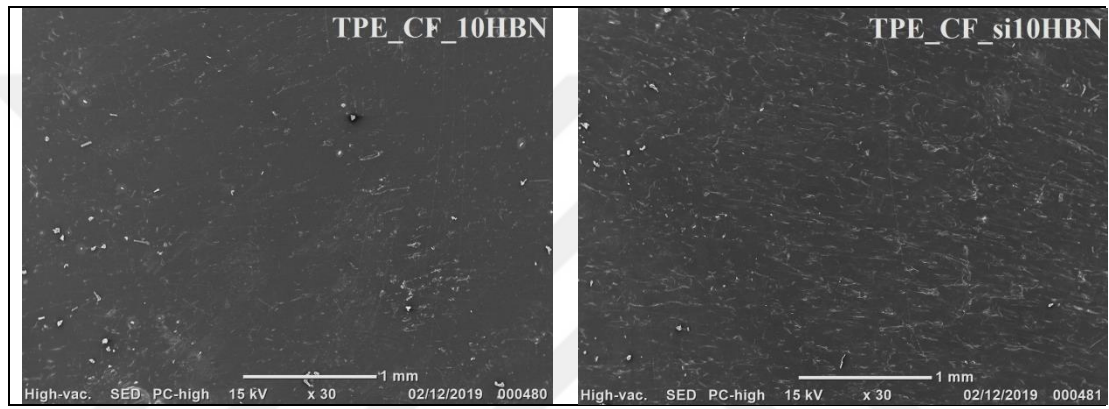


Şekil 4.124. Silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.124 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle numune yüzeyinde aşındırıcı topun hareket ettiği yönde çok ince aşınma izleri oluşmuştur. Ancak saf TPE ile karşılaştırıldığında izlerin belirginliğinin azaldığı açık şekilde görülmektedir.

Bunun sebebi, yağlayıcı özelliğe sahip hegzagonal bor nitrürün kompozit içerisinde bu özelliğini etkin şekilde göstermesi ve aşındırıcı topun matris yüzeyinde kolay bir şekilde kaymasını sağlayarak sürtünme kuvvetini azaltmasıdır. Azalan sürtünme kuvvetiyle birlikte kompozitin de sürtünme katsayısı değerleri azalmıştır. Dolayısıyla kompozitin aşınma direncinin iyileştiği yorumu yapılabilir.

Ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ve %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin aşınma testi sonucu aşınmış yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 4.125'te verilmiştir.



Şekil 4.125. Karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.125 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kompozit yüzeyinde herhangi bir aşınma izi oluşmamıştır.

Karbon elyaf ve hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kompozitin yüzeyi aşınmaya karşı dirençli hale gelmiş ve kompozitin sürtünme katsayısı değeri azalmıştır.

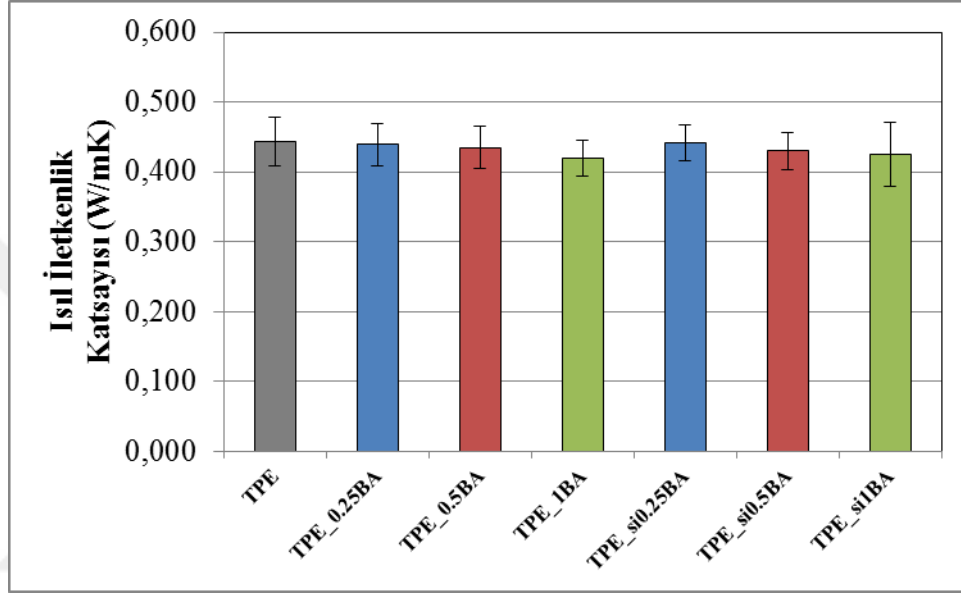
Karbon elyafın, matris yüzeyinde yük taşıma özelliğini ortaya koyması ve hegzagonal bor nitrürün tabakalı yapısından kaynaklanan yağlayıcı özelliğini sergilemesi sebebiyle kompozitin yüzeyi aşınmaya karşı korunmuştur.

Sonuç olarak, tüm kompozitler içerisinde en iyi aşınma davranışı sergileyen kompozit "TPE_CF_si10HBN" kodlu numunedir.

4.6. Isıl İletkenlik Katsayısı Analizi Sonuçları

4.6.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.126'da verilmiştir.



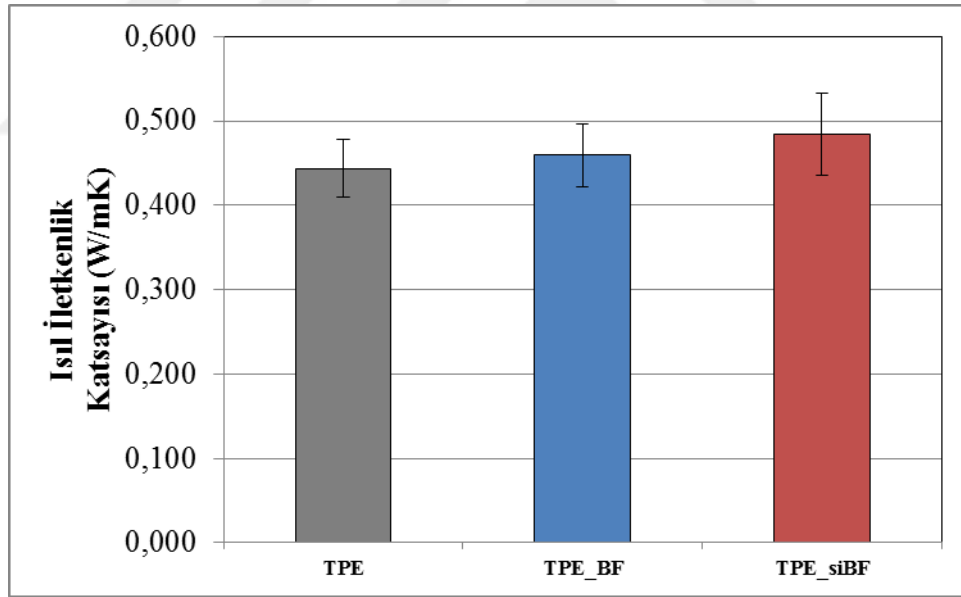
Şekil 4.126. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.126 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle ısı iletkenlik katsayısı değeri azalmıştır. Fonon transferi çoğu polimerde ısı iletiminin temel mekanizmasıdır. Fononlar kendi aralarındaki ve atomlarla olan etkileşimler yoluyla ısı enerjisini transfer ederler. Dislokasyon, boşluk ve safsızlık gibi kusurlar fonon saçılmasına sebep olabilir. Polimer matrisli kompozitler gibi çok fazlı bir sistemde saçılma, fononlar bir fazı diğerinden ayıran bir sınırdan yayıldığında meydana gelir (Tsekmes ve diğ., 2013). Borik asit ilavesiyle kompozit içerisinde fonon saçılması (phonon scattering) meydana gelmiş ve kompozitin ısı iletkenlik katsayısı değerinin bir miktar azalmış olduğu söylenebilir. Bununla birlikte borik asit polimerler gibi düşük bir ısı iletkenlik katsayısına sahiptir. Bu nedenle yüksek oranda borik asit kullanılması ısı iletkenlik katsayısını düşürücü etki yapabilir (URL-7, 2019). Literatürde yapılan bir çalışmada, düşük erime sıcaklığına (171 °C) ve düşük viskoziteye sahip olan borik

asitte partiküller arası bant boşluğu oluşabildiği ve bu durumda ısı transfer ağının engellenmesine sebep olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla borik asit ilavesiyle kompozitin ısı iletme kabiliyeti ve ısı iletkenlik katsayısı azalır (Panda ve diğ., 2019). Bu bilgilere göre borik asit partiküllerinin kompozitin ısı iletkenlik katsayısı değerlerini azaltması beklenen bir sonuçtur.

Şekil 4.126'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır. Dolayısıyla borik asit partiküllerini silanlayarak kompozite ilave etmenin ısı iletkenlik katsayısı değerleri üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.127'de verilmiştir.



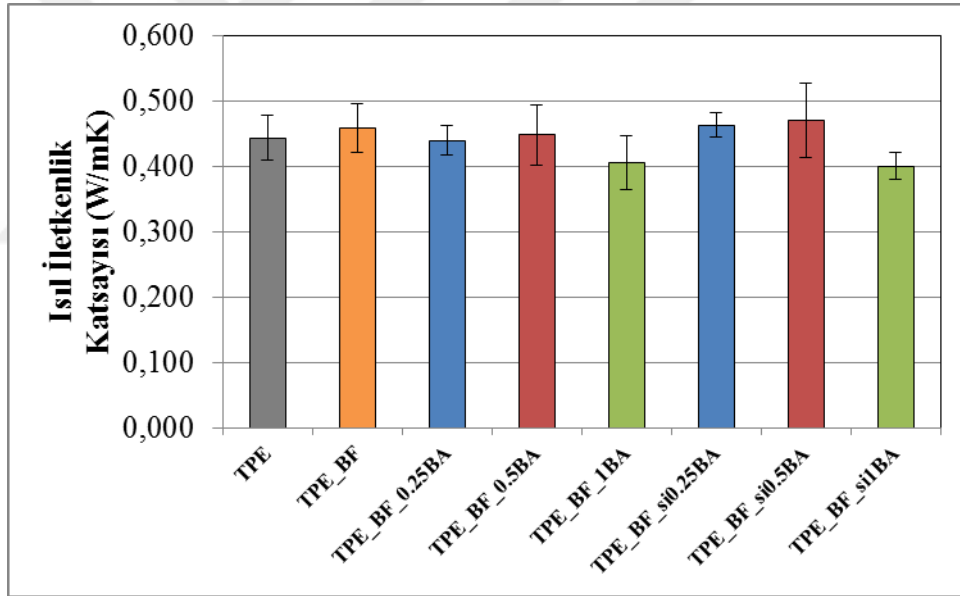
Şekil 4.127. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.127 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle ısı iletkenlik katsayısı bir miktar artmıştır. Polimer matrisli kompozitlerde elyaf yönlenmesi ısı iletkenliğinin iyileşmesi için önemli bir rol oynar (Pan ve diğ., 2018). Dolayısıyla bazalt lifleri matris içerisinde iyi bir şekilde yönlendirilerek etkili bir fonon transferi sağlamışlardır ve bunun

bir sonucu olarak bazalt elyaf kompozit içerisinde etkili bir ısı transferi sağlamıştır denilebilir (Zotti ve diğ., 2018).

Şekil 4.127’den gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısı iletkenlik katsayısında artış olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işlemi ile birlikte bazalt liflerinin daha homojen dağılarak daha iyi yönlendirmeleri ve böylece daha etkili bir fonon transferi gerçekleştirmeleri olarak açıklanabilir.

Saf TPE’nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.128’de verilmiştir.

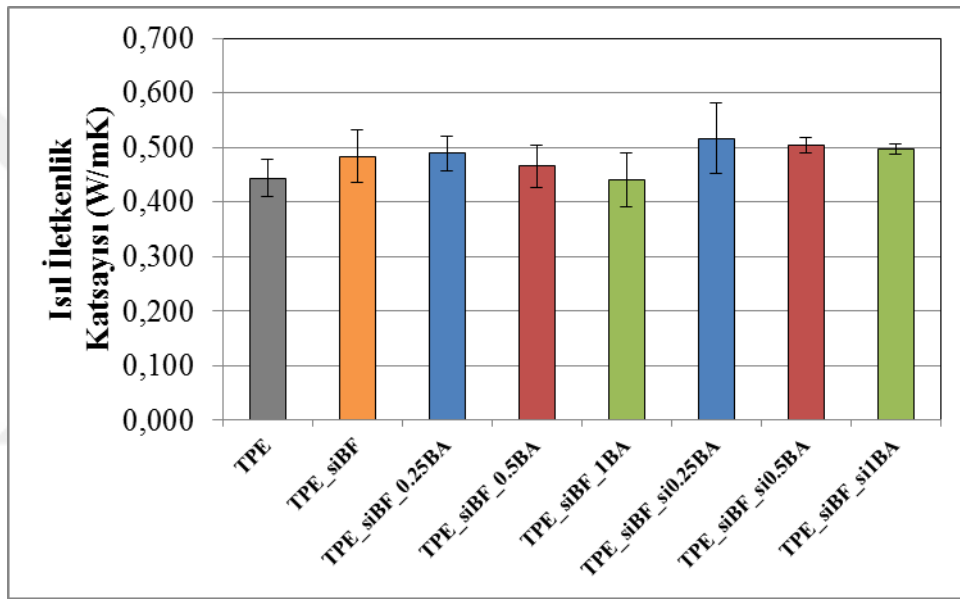


Şekil 4.128. Saf TPE’ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.128 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle bir miktar düşüş yaşanmıştır. Borik asit düşük ısı iletkenliğe sahip bir malzemedir. Dolayısıyla yüksek oranlarda takviye edildiğinde kompozitin ısı iletkenlik katsayısını düşürür (Panda ve diğ., 2019).

Şekil 4.128'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kayda değer bir değişiklik olmamasıdır. Borik asit partiküllerini silanlamanın kompozitin ısı iletkenlik katsayısı değerleri üzerinde önemli bir etkinliğinin olmadığı söylenebilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.129'da verilmiştir.



Şekil 4.129. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

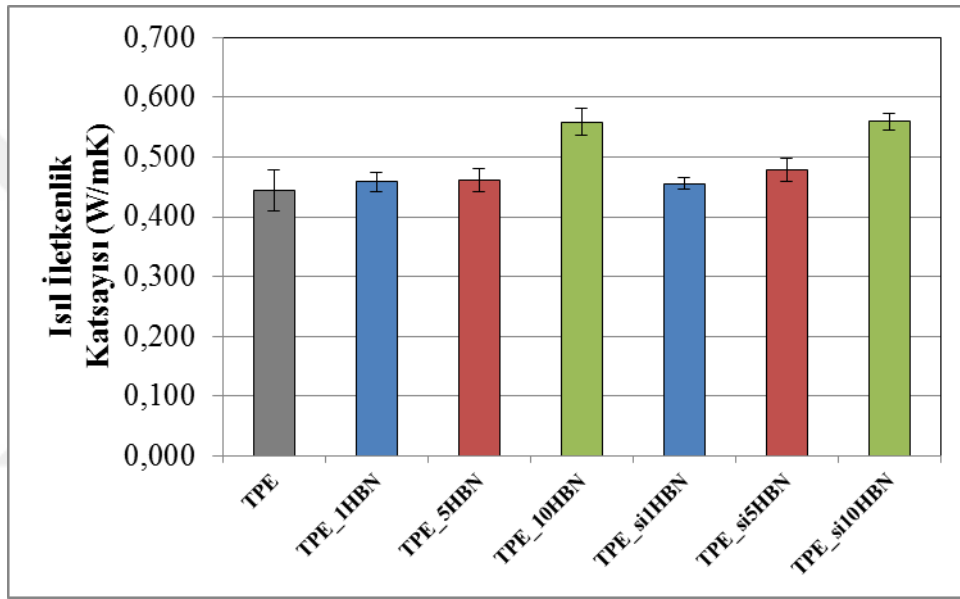
Şekil 4.129 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle %0,25 borik asit oranı için bir miktar artış olmuştur. Bunun sebebi bazalt elyaf ve borik asitin sinerjik bir etki yaratarak fonon transferini arttırmasıdır. Bununla birlikte artan borik asit oranıyla ısı iletkenlik katsayısının düşmesinin sebebi fonon saçılması durumunun baskın gelmesidir (Panda ve diğ., 2019).

Şekil 4.129'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin bir miktar artmış olmasıdır. Bunun sebebi silanlama işleminin bazalt liflerinin ve borik asit

partiküllerinin matris içerisinde daha iyi bir şekilde yönlendmesini sağlaması ve fonon transferini arttırmasıdır.

4.6.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.130'da verilmiştir.



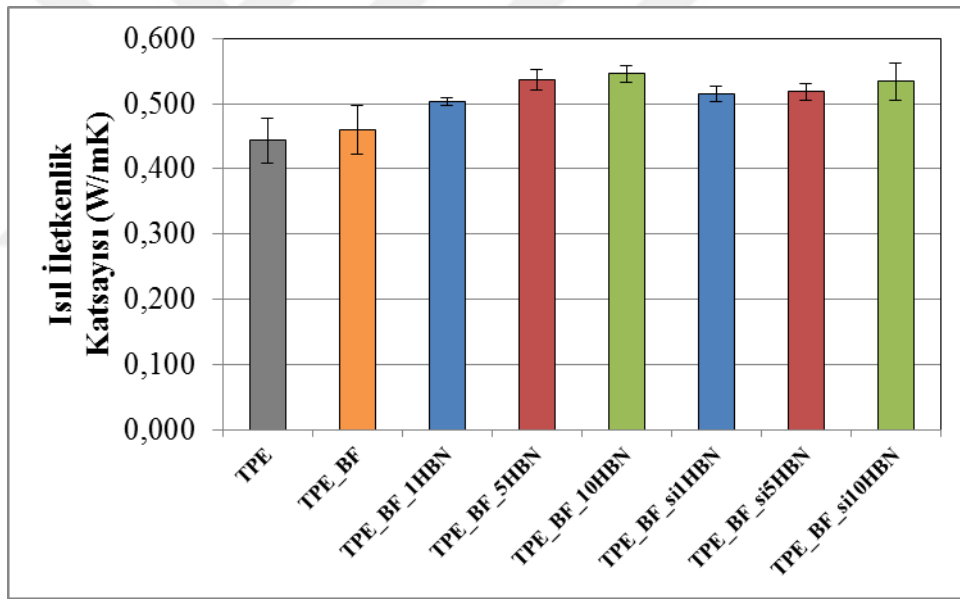
Şekil 4.130. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.130 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle ısı iletkenlik katsayısı değerleri artmıştır. Hegzagonal bor nitrür yüksek ısı iletkenlik katsayısına ve yüksek en-boy oranına sahiptir (Lin ve diğ., 2014). Bu nedenle matris içerisinde iyi bir şekilde yönlendirilerek iyi bir fonon transferi sağlar ve kompozitin ısı iletkenlik katsayısını yükseltir. Literatürde hegzagonal bor nitrürün polimerlerin ısı iletkenliğini arttırdığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bir çalışmaya göre hegzagonal bor nitrür ilavesiyle matris ile takviye elemanı arasında iyileşen etkileşimler daha az kusur oluşturmuş ve daha uyumlu bir arayüzeyin oluşmasını sağlamıştır. Bu sayede, arayüzeydeki fonon saçılması minimize edilmiştir (Sato ve diğ., 2010). Başka bir çalışmada ise, hegzagonal bor nitrürün tabakalı yapısı

sebebiyle kompozit içerisinde yönlendiği ve dokulu (textured) bir yapı oluşturduğu bu sayede ısı iletim kanalları oluşturduğu belirtilmiştir (Xie ve diğ., 2013). Sonuç olarak, polimere hegzagonal bor nitrür partiküllerinin ilavesinin ısı iletenlik katsayısını arttırması beklenen bir sonuçtur.

Şekil 4.130'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısı iletenlik katsayısında anlamlı bir değişiklik olmamasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısı iletenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletenlik analizi sonuçları Şekil 4.131'de verilmiştir.



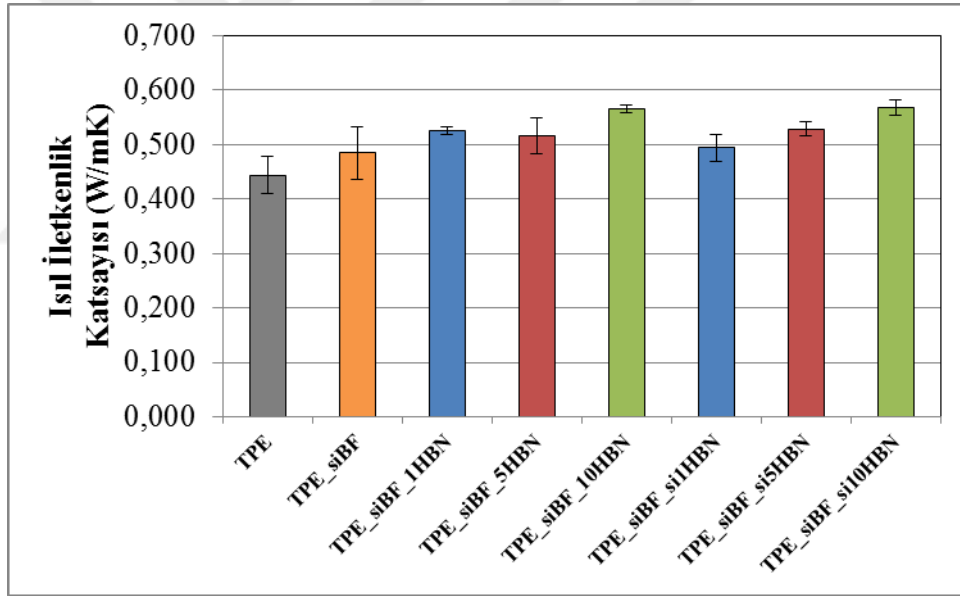
Şekil 4.131. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.131 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle ısı iletenlik katsayısı artmıştır. Hegzagonal bor nitrür yüksek ısı iletenliğe sahiptir ve matris içerisinde etkili bir fonon transferi sağlar. Dolayısıyla ısı iletenlik katsayısı değerlerindeki artış beklenen bir sonuçtur.

En fazla artışın %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren kompozitte gerçekleştiği görülmektedir.

Şekil 4.131'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır. Buradan hegzagonal bor nitrür partiküllerini silanlayarak ilave etmenin kompozitin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.132'de verilmiştir.



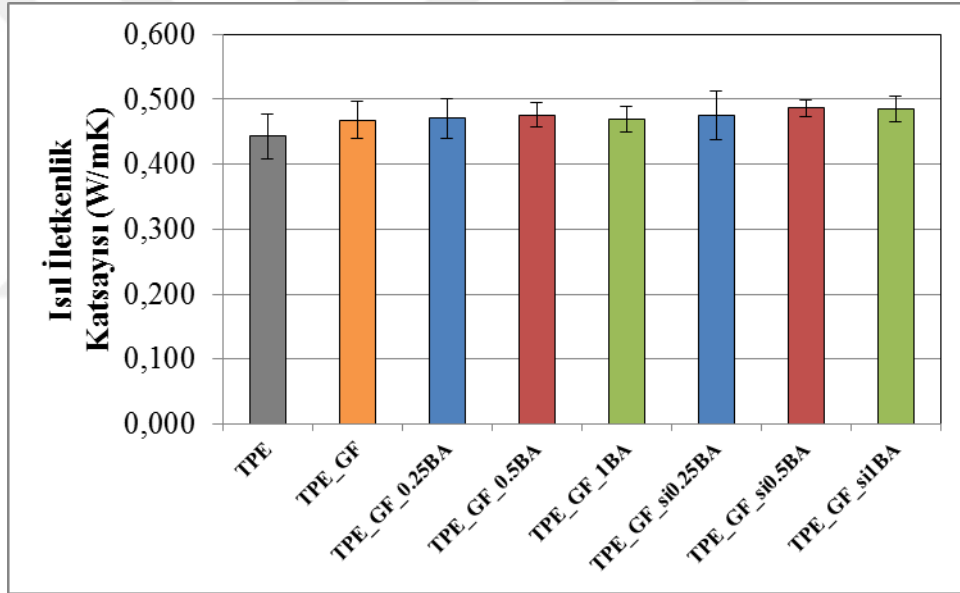
Şekil 4.132. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.132 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle ısı iletkenlik katsayısı değerleri artmıştır. Hegzagonal bor nitrür yüksek en-boy oranı sebebiyle matris içerisindeki ısının fonon transferi ile etkin bir şekilde iletilmesini sağlar. Dolayısıyla ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde meydana gelen bu artış beklenen bir sonuçtur.

Şekil 4.132'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde herhangi bir değişiklik olmamasıdır. Bu durumda silanlama işleminin silanlanmış bazalt elyaf ve silanlanmış hegzagonal bor nitrürü birlikte içeren kompozitlerin ısı iletkenliği üzerinde önemli bir etkisi olmadığı yorumu yapılabilir.

4.6.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.133'te verilmiştir.



Şekil 4.133. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

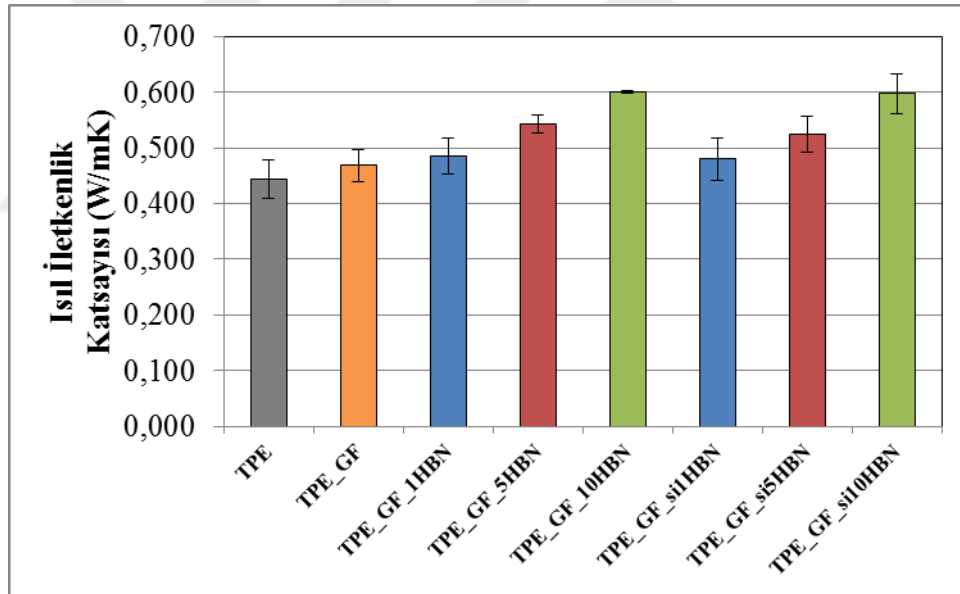
Şekil 4.133 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle önemli bir değişiklik olmamıştır. Ancak sadece cam elyaf takviyesiyle birlikte kompozitin ısı iletkenlik katsayısı artmıştır. Literatürde cam elyafın ısı iletkenlik katsayısını artırdığı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır (Patnaik ve diğ., 2010). Bu çalışmaya göre ısı iletkenlik katsayısı yüksek partiküller ya da kısa elyaflar kullanmak polimerlerin ısı iletkenlik katsayısını arttırmaktadır. Dolayısıyla cam

elyaf takviyesiyle ısı iletkenlik katsayısında meydana gelen bu artış beklenen bir sonuçtur.

Şekil 4.133'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda önemli bir değişiklik olmamasıdır. Dolayısıyla borik asit partiküllerine uygulanan silanlama işleminin kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerini kayda değer bir Şekilde etkilemediği söylenebilir.

4.6.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.134'te verilmiştir.



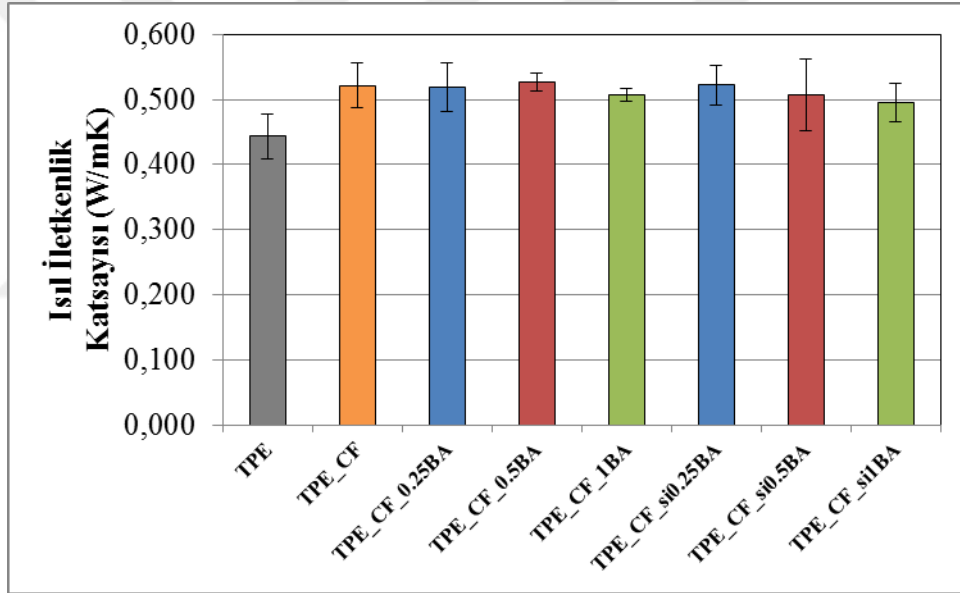
Şekil 4.134. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.134 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle ısı iletkenlik katsayısı değerleri artmıştır. Yüksek bir ısı iletkenlik katsayısına sahip hegzagonal bor nitrür bu özelliğini matris içerisinde etkin bir Şekilde göstermiştir. Bununla birlikte artan hegzagonal bor nitrür oranıyla daha etkili bir fonon transferi gerçekleştiği söylenebilir.

Şekil 4.134'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısıl iletkenlik katsayısı değerlerinde herhangi bir değişiklik olmamasıdır. Sonuç olarak, cam elyaf takviyeli kompozitlere hegzagonal bor nitrür partiküllerinin silanlanarak ilave edilmesinin kompozitin ısıl iletkenlik katsayısı değeri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı yorumu yapılabilir.

4.6.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısıl iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısıl iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.135'te verilmiştir.



Şekil 4.135. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısıl iletkenlik katsayısı değerleri

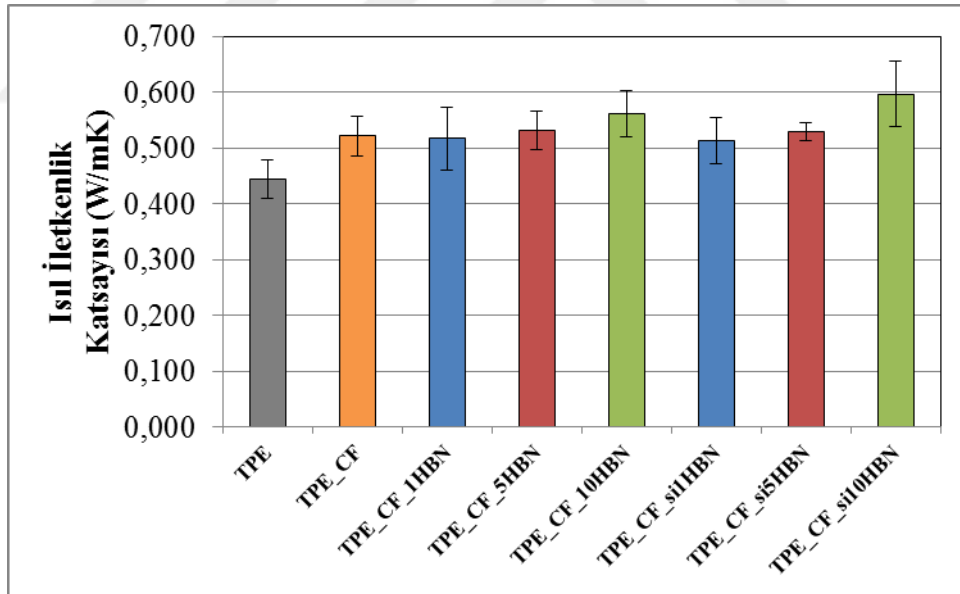
Şekil 4.135 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle %0,25 ve %0,5 oranlarında önemli bir değişiklik olmazken ağırlıkça %1 oranında borik asit içeren kompozitin ısıl iletkenlik katsayısı değeri bir miktar azalmıştır. Bunun sebebi borik asitin düşük ısıl iletkenliğe sahip bir malzeme olmasıdır. Bununla birlikte sadece karbon elyaf takviyesiyle birlikte kompozitin ısıl iletkenlik katsayısı değerinin arttığı görülmektedir. Karbon elyaf yüksek ısıl iletkenliğe sahip

bir malzemedir (Patton ve diğ., 2002). Bu nedenle yüksek ısı iletkenliğe sahip olan karbon elyaf kompozitin ısı iletkenlik katsayısı değerini arttırmıştır yorumu yapılabilir.

Şekil 4.135'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işleminin sonucunda ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemesidir. Sonuç olarak, borik asit partiküllerine uygulanan silanlama işleminin, karbon elyaf takviyeli kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı üzerinde bir etkinliğinin olmadığı söylenebilir.

4.6.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ısı iletkenlik analizi sonuçları Şekil 4.136'da verilmiştir.



Şekil 4.136. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Şekil 4.136 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle ısı iletkenlik katsayısı değerleri artmıştır. Hegzagonal bor nitrür yüksek

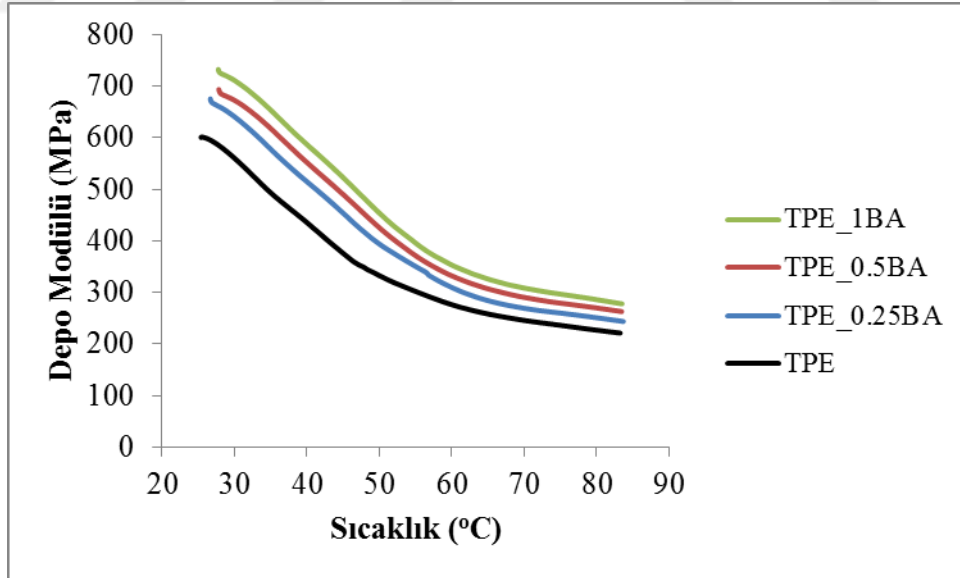
en-boy oranına sahip olması sebebiyle yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bu durum, kompozitin ısı iletkenlik katsayısının artmasını sağlar.

Şekil 4.136'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde ağırlıkça %1 ve %5 hegzagonal bor nitrür takviye oranları için önemli bir değişiklik meydana gelmemesidir. Ancak ağırlıkça %10 hegzagonal bor nitrür takviye oranında silanlama işlemiyle birlikte matris içerisinde ısı transferi artmış ve kompozitin ısı iletkenlik katsayısı daha da artmıştır.

4.7. Dinamik Mekanik Analiz Sonuçları

4.7.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit içeren TPE'nin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.137'de verilmiştir.

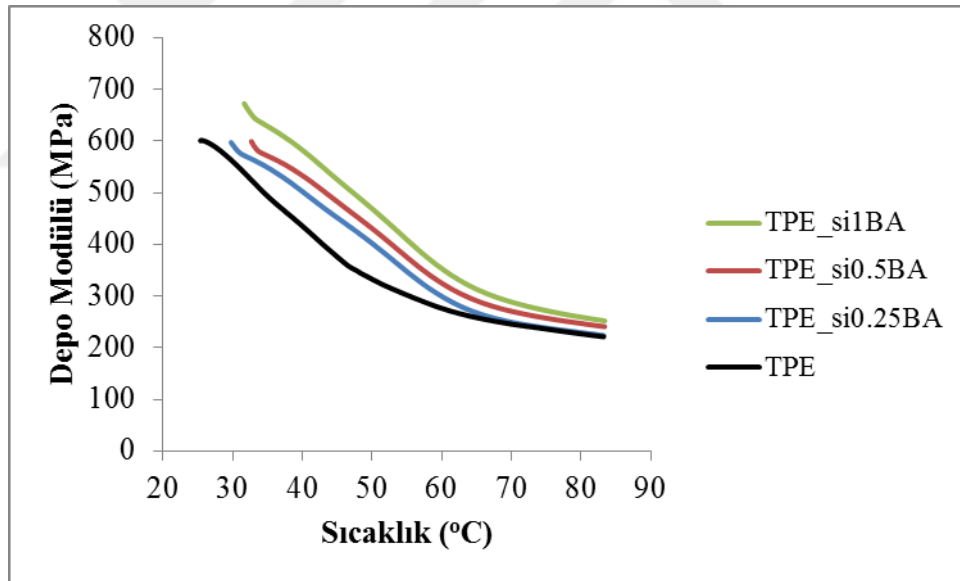


Şekil 4.137. Saf TPE'ye ve silanlanmamış borik asit takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.137 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle depo modülü değerlerinde artış olmuştur. Depo modülündeki bu artışın artan borik asit oranıyla birlikte daha fazla olduğu

anlaşılmaktadır. En fazla artışın ağırlıkça %1 oranında borik asit içeren TPE’de olduğu görülmektedir. DMA sıcaklığın bir fonksiyonu olarak malzemenin bükülmezliği (stiffness) hakkında bilgi verir. Dolayısıyla borik asitin polimer zincirlerinin hareketlerini sınırlandırarak malzemenin bükülmezliğini ve dolayısıyla depo modülü değerini arttırdığı söylenebilir. Bununla birlikte artan sıcaklıkla birlikte kompozit malzemelerin depo modülü değerlerinde düşüş olmuştur. Bunun sebebi ise artan sıcaklıkla birlikte polimer zincirlerinin hareketlerinin artmış olmasıdır. Literatürde de borik asit ilavesinin polimer matrisin depo modülünü arttırdığı ile ilgili sonuçlar bulunmaktadır (Özdemir ve diğ., 2016; Panda ve diğ., 2019).

Saf TPE’nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit içeren TPE’nin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E’) değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.138’de verilmiştir.

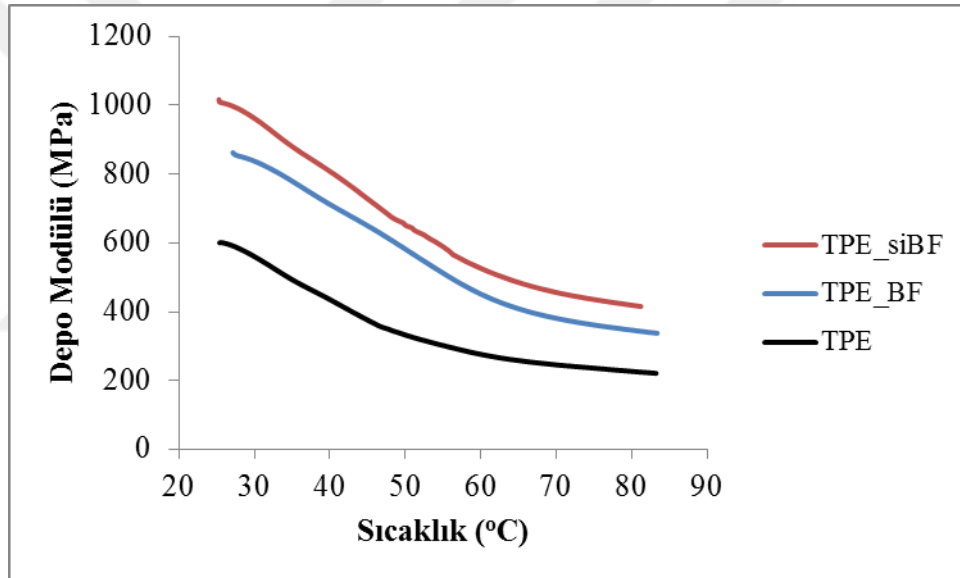


Şekil 4.138. Saf TPE’ye ve silanlanmış borik asit takviyeli TPE’ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.138 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE’ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış borik asit ilavesiyle TPE’nin depo modülü değerleri artmıştır. Bunun sebebi borik asitin polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlayarak malzemenin bükülmezliğini arttırmasıdır. Bununla birlikte Şekil 4.137 ve Şekil 4.138 birlikte değerlendirildiğinde borik asitin silanlanarak ilavesi silanlanmamış borik asit ilavesine göre depo modülü değerini bir miktar düşürmüştür. Silanlama işleminin

amacı matris ile takviye elemanı arasında arayüzeyi iyileştirmektir. Bu iyileşmeyi takviye elemanının yüzeyinde fonksiyonel gruplar oluşturarak gerçekleştirir. Ancak yüzeyde oluşan bu fonksiyonel gruplar matris üzerinde plastikleştirici etki gösterebilir ve bu etki ara yüzeyi iyileştirme etkisine baskın gelebilir (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004). Bu nedenle silan bağlama ajanı, matris ve partikül arasında bir plastikleştirici gibi davranarak depo modülü değerini düşürebilmektedir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış/silanlanmamış bazalt elyaf içeren TPE'nin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.139'da verilmiştir.



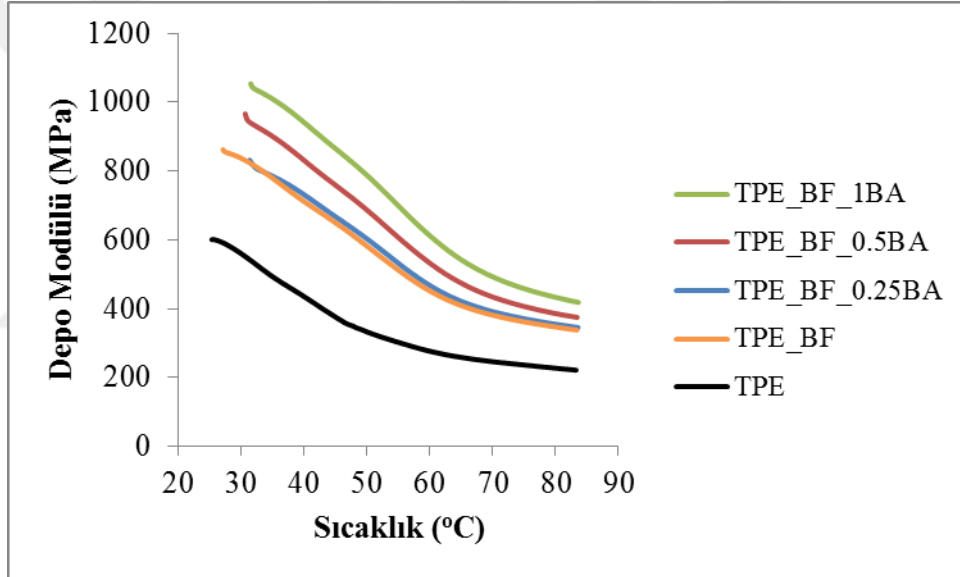
Şekil 4.139. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.139 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle depo modülü değeri artmıştır ve bu literatüre göre beklenen bir sonuçtur. Öyle ki elyaflar polimerlere göre çok yüksek rijitliğe ve bükülmezliğe sahiptirler. Bu nedenle TPE'nin zincir hareketlerini sınırlandırarak depo modülü değerini arttırmaktadırlar denebilir (Czigány ve diğ., 2008).

Şekil 4.139'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda depo modülü değerinin daha da artmış olmasıdır. Elyaf

takviyeli kompozit malzemelerde ara yüzey etkileşimi fiber-matris gerilim transferini etkileyen faktörlerden biridir. Silanlama işlemi ara yüzey yapışmasının kalitesini arttırmaktadır. Artan arayüzey yapışma kalitesi ile birlikte polimer zincirlerinin hareketi kısıtlanmaktadır. Bu durum silanlanmış bazalt elyafın depo modülünü daha da arttırmasının sebebi olarak gösterilebilir (Guo ve diğ., 2015).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.140'ta verilmiştir.

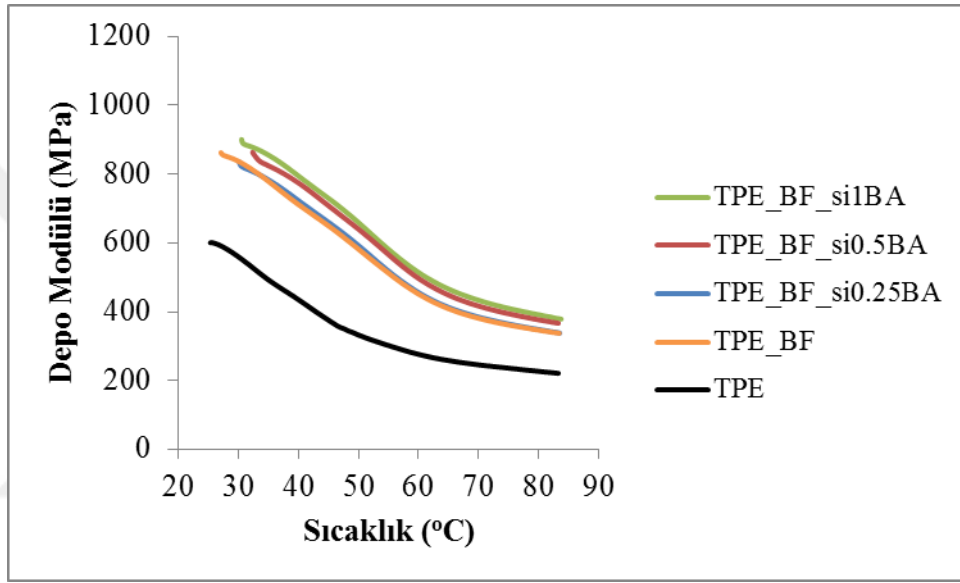


Şekil 4.140. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.140 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle depo modülü değerlerinde artış olmuştur. Polimerik malzemelere elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı ilavesiyle elde edilen hibrit kompozitlerde, hibrit etkisiyle takviye elemanlarının yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağıldığı ve bükülmezlik özelliklerini arttırdığı bilinmektedir (Lin ve diğ., 2012). Bu sebeple bazalt elyaf ve borik asitin eş zamanlı ilavesi hibrit etki yaratarak depo

modülü değerlerini arttırmıştır. En fazla artışın ağırlıkça %1 oranında borik asit içeren bazalt elyaf takviyeli kompozitte olduğu görülmektedir.

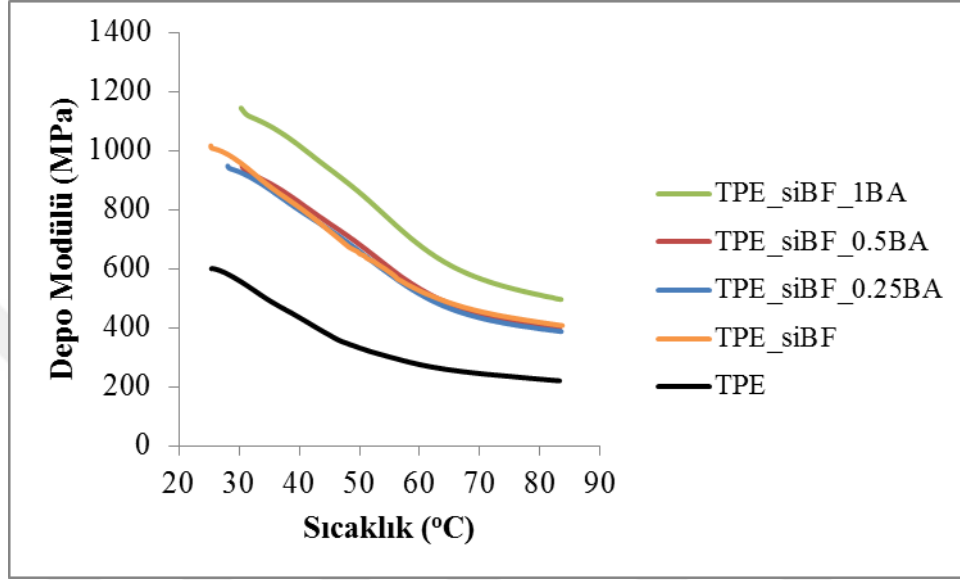
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.141'de verilmiştir.



Şekil 4.141. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.141 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış borik asit ilavesiyle depo modülü değerlerinde artış olmuştur. Bunun sebebi elyaf ve partikül takviyesiyle birlikte ortaya çıkan hibrit etkidir. En fazla artış ağırlıkça %1 oranında borik asit içeren numunede gerçekleşmiştir. Ancak Şekil 4.140 ve Şekil 4.141 birlikte değerlendirildiğinde borik asitin silanlanması, silanlanmamış borik asit takviyeli malzemelere göre depo modülü değerini düşürmektedir. Bunun sebebi borik asit silanlanmasıyla birlikte matris üzerinde ortaya çıkan plastikleştirici etkidir (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004). Ancak bununla birlikte silanlanmış borik asit takviyeli kompozitlerde bir miktar düşüş olmasına rağmen, bazalt elyaf takviyeli polimerin depo modülü değerinden yüksek bir değer elde edilmiştir.

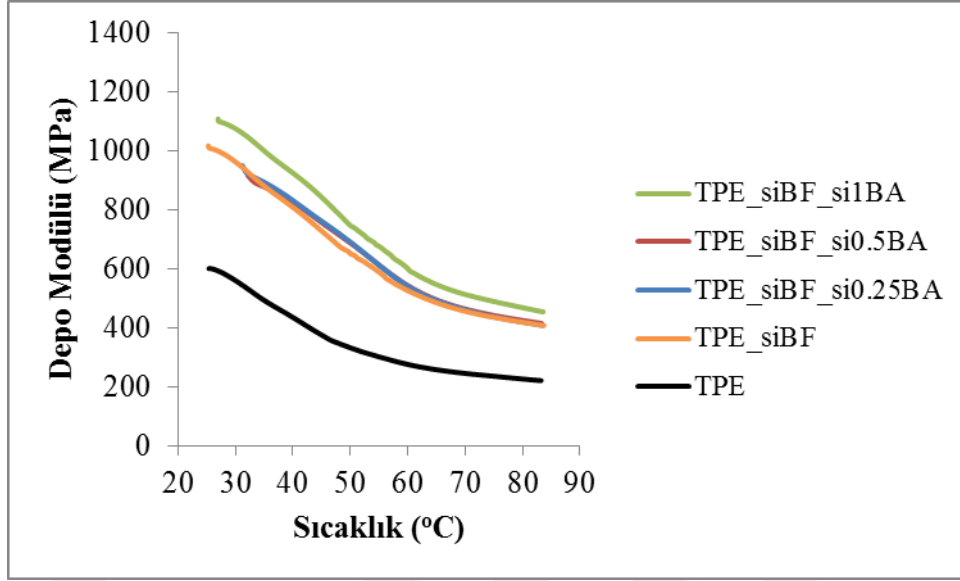
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.142'de verilmiştir.



Şekil 4.142. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.142 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle %0,25 ve %0,5 takviye oranları için önemli bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte ağırlıkça %1 borik asit oranı ilavesiyle depo modülü değerinde artış olmuştur. Bunun sebebi hibrit kompozitlerde ortaya çıkması beklenen sinerjik etkinin artan takviye oranıyla birlikte daha etkin bir şekilde sergilenmesi ve kompozitin zincir hareketlerinin sınırlanmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.143'te verilmiştir.

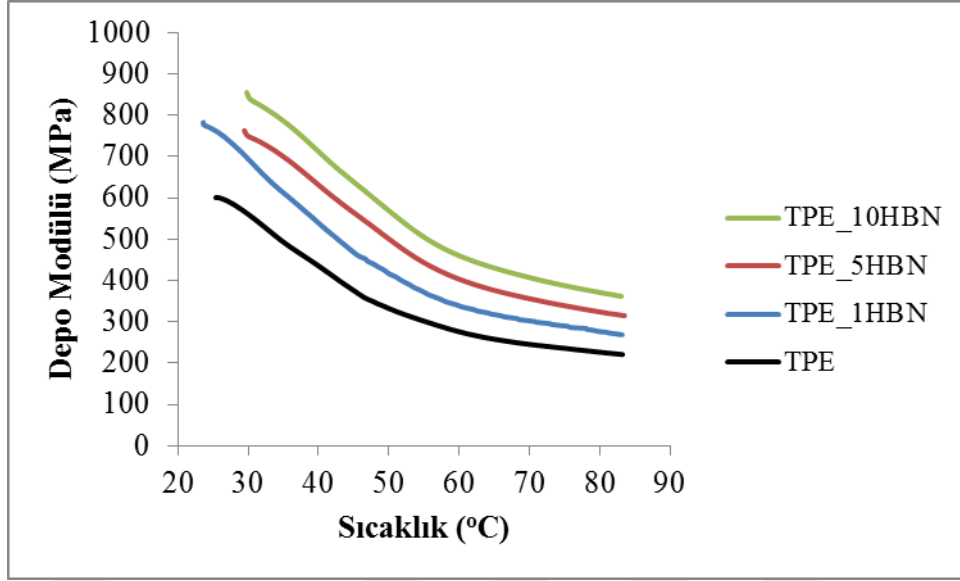


Şekil 4.143. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.143 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış borik asit ilavesiyle ağırlıkça %0,25 ve %0,5 takviye oranları için önemli bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte ağırlıkça %1 borik asit oranı ilavesiyle depo modülü değerinde artış olmuştur. Bunun sebebi hibrit kompozitlerde ortaya çıkması beklenen sinerjik etkinin artan takviye oranıyla birlikte daha etkin bir şekilde sergilenmesidir. Ancak Şekil 4.142 ve Şekil 4.143 birlikte değerlendirildiğinde ağırlıkça %1 borik asitin silanlanarak ilave edilmesi silanlanmamış borik asite göre depo modülü değerini düşürmüştür. Bunun sebebinin silanlama işlemiyle takviye elemanı yüzeyinde oluşan fonksiyonel gruplarla birlikte ortaya çıkan yan reaksiyonların kompozit üzerinde yarattığı plastikleştirici etki olduğu söylenebilir (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004).

4.7.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.144'te verilmiştir.



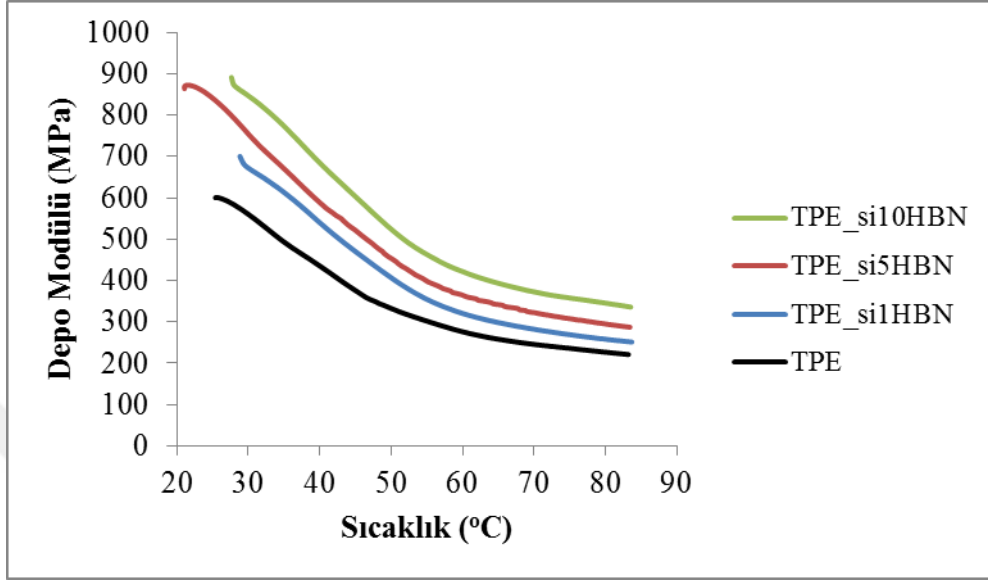
Şekil 4.144. Saf TPE'ye ve silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.144 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır. Artan takviye oranıyla birlikte depo modülü değeri artış eğilimindedir ve en fazla artış ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür ilavesiyle olmuştur. Hegzagonal bor nitrür ilavesiyle polimerin zincir hareketleri kısıtlanmış ve dolayısıyla kompozitin bükülmezliği artmıştır (Jin ve diğ., 2013).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.145'te verilmiştir.

Şekil 4.145 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır. En fazla artış ise ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren numunede elde edilmiştir. Şekil 4.144 ve Şekil 4.145 birlikte değerlendirildiğinde hegzagonal bor nitrürün silanlanarak ilavesinin, silanlanmamış hegzagonal bor nitrüre göre depo modülü değerini bir miktar düşürdüğü söylenebilir. Bu düşüşe rağmen silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerin depo modülü değerleri saf TPE'nin depo modülü değerinin üzerindedir. Silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitin depo modülü değerindeki düşüşün sebebinin, silanlamayla birlikte oluşan

plastikleştirici etki olduğu söylenebilir. Polimer zincirleri üzerindeki bu plastikleştirici etki ile birlikte zincirlerin hareketliliği bir miktar artmıştır (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004).

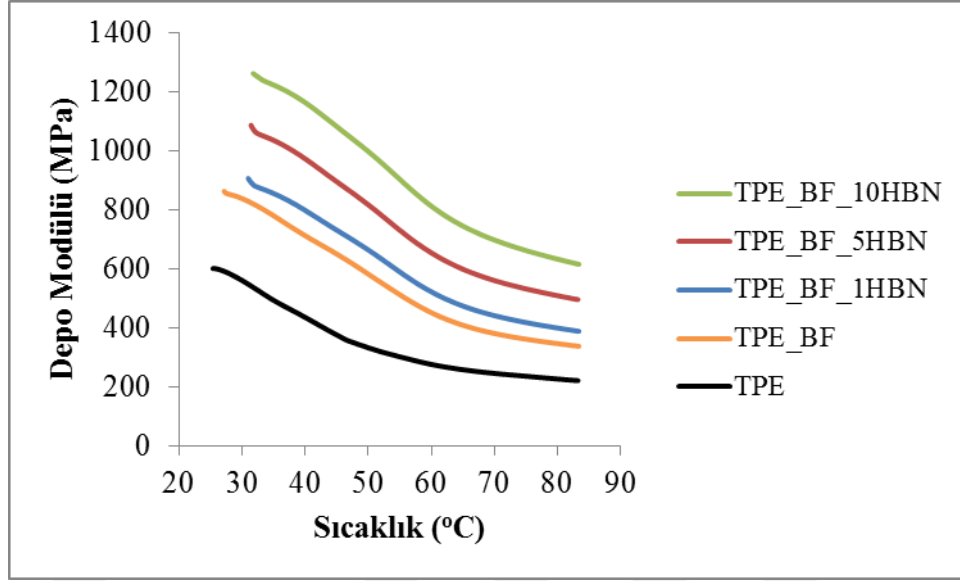


Şekil 4.145. Saf TPE'ye ve silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.146'da verilmiştir.

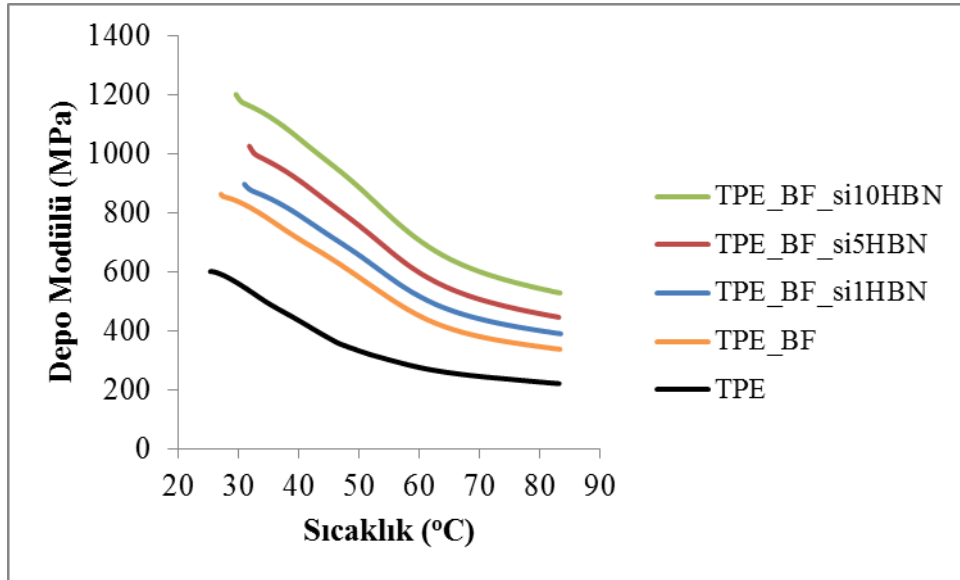
Şekil 4.146 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır. Artan takviye oranıyla birlikte depo modülü değerleri artış eğilimindedir.

En fazla artışın ise ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren numunede olduğu görülmektedir. Elyaf ve partikül takviyesinin eş zamanlı ilavesiyle ortaya çıkan sinerjik etki takviye elemanlarının yapı içerisinde homojen dağılımlarını iyileştirmiş ve ara yüzey yapışma kalitesini arttırarak malzemenin bükülmezliğini arttırmıştır.



Şekil 4.146. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

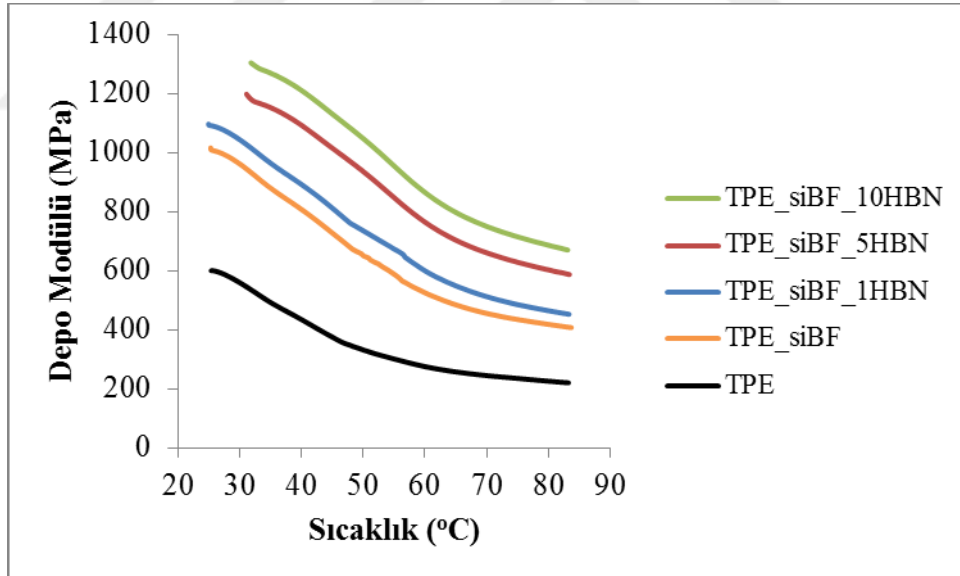
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.147'de verilmiştir.



Şekil 4.147. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.147 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır ve artan takviye oranıyla birlikte depo modülü değerleri artış eğilimindedir. En fazla artışın ise ağırlıkça %10 oranında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren numunede olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 4.146 ve Şekil 4.147 birlikte değerlendirildiğinde silanlamayla birlikte silanlanmamış numunelere göre depo modülü değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise silanlamayla birlikte oluşan plastikleştirici etkidir (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004).

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.148'de verilmiştir.

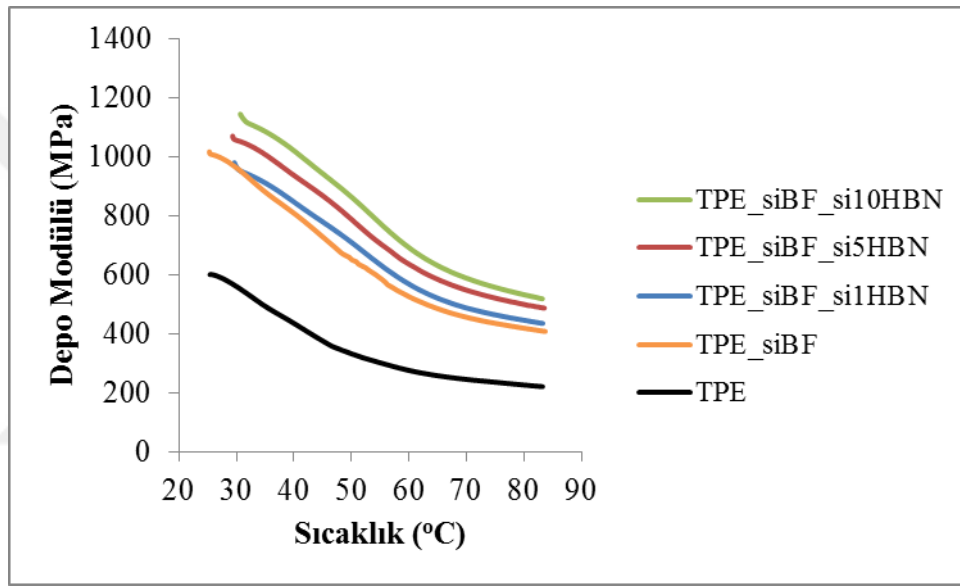


Şekil 4.148. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.148 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır ve artan takviye oranıyla birlikte depo modülü değerlerinde artış eğilimi olduğu anlaşılmaktadır. En

fazla artışın ise ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür ilavesiyle ortaya çıktığı görülmektedir. Hegzagonal bor nitrür ve silanlanmış bazalt elyafın eş zamanlı ilavesiyle birlikte hibrit etki oluşmuş ve malzemenin bükülmezliği artmıştır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.149'da verilmiştir.

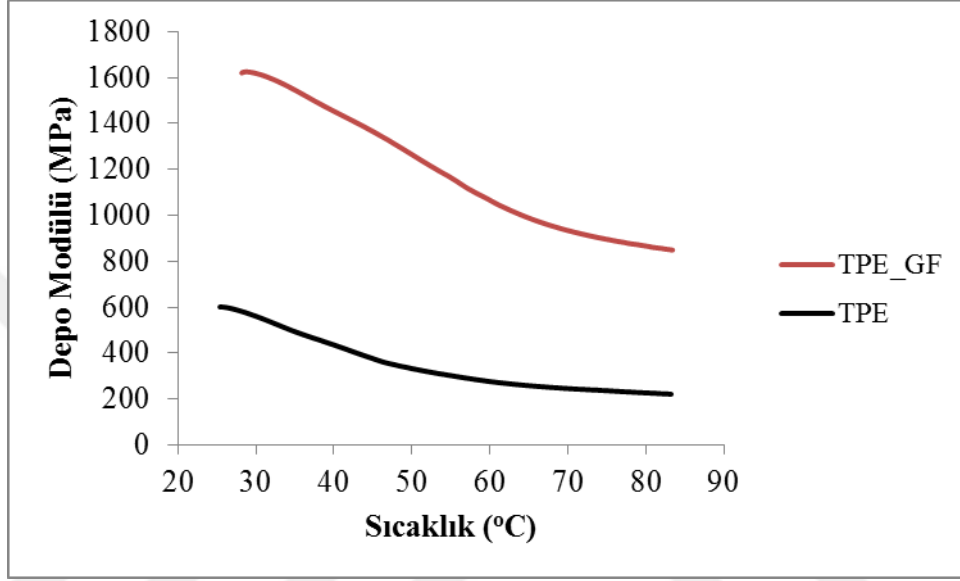


Şekil 4.149. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.149 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır ve bu artış artan takviye oranıyla birlikte artma eğilimindedir. Bunun sebebi takviye malzemelerinin eş zamanlı ilavesi ile birlikte polimerde oluşan sinerjik etki ve bu sayede ortaya çıkan iyi dağılım olarak gösterilebilir. Bununla birlikte, Şekil 4.148 ve Şekil 4.149 birlikte değerlendirildiğinde, silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesinin silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesine göre kompozit malzemenin depo modülü değerini düşürdüğü söylenebilir. Bunun sebebi de silanlamayla birlikte numunede oluşan plastikleştirici etkidir (Lee ve diğ., 2017, Arksornnukit ve diğ., 2004).

4.7.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf içeren TPE matrisli kompozitin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.150'de verilmiştir.



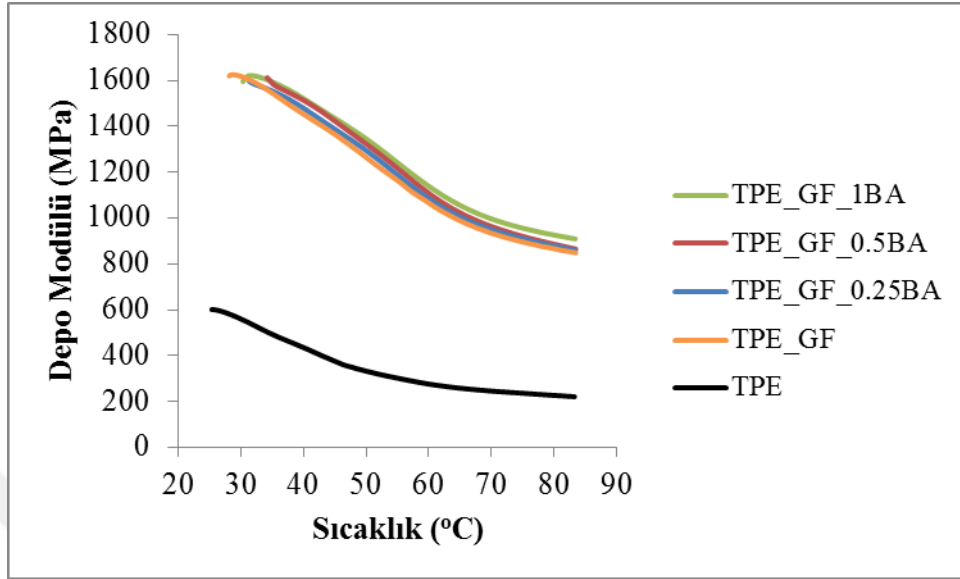
Şekil 4.150. Saf TPE'ye ve cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.150 incelendiğinde görülmektedir ki TPE'ye cam elyaf ilavesiyle depo modülü değeri artmıştır. Bu beklenen ve literatürden bilinen bir sonuçtur. Elyaf polimerlere göre çok yüksek rijitliğe ve bükülmezliğe sahiptirler. Bu nedenle polimerlerin zincir hareketliliğini sınırlandırarak depo modülü değerini arttırmaktadırlar.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.151'de verilmiştir.

Şekil 4.151 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle depo modülü değerlerinde çok az miktarda bir artış olmuştur. Bunun sebebi cam

elyafın borik asite göre çok daha yüksek rijitliğe sahip olması ve borik asit takviye oranının çok az miktarda olmasıdır.

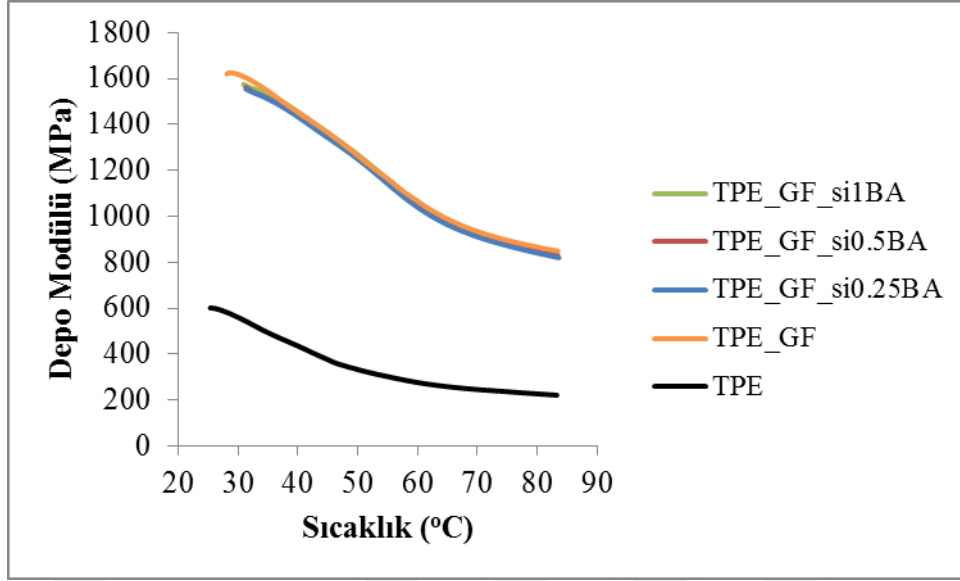


Şekil 4.151. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.152'de verilmiştir.

Şekil 4.152 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış borik asit ilavesiyle depo modülü değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

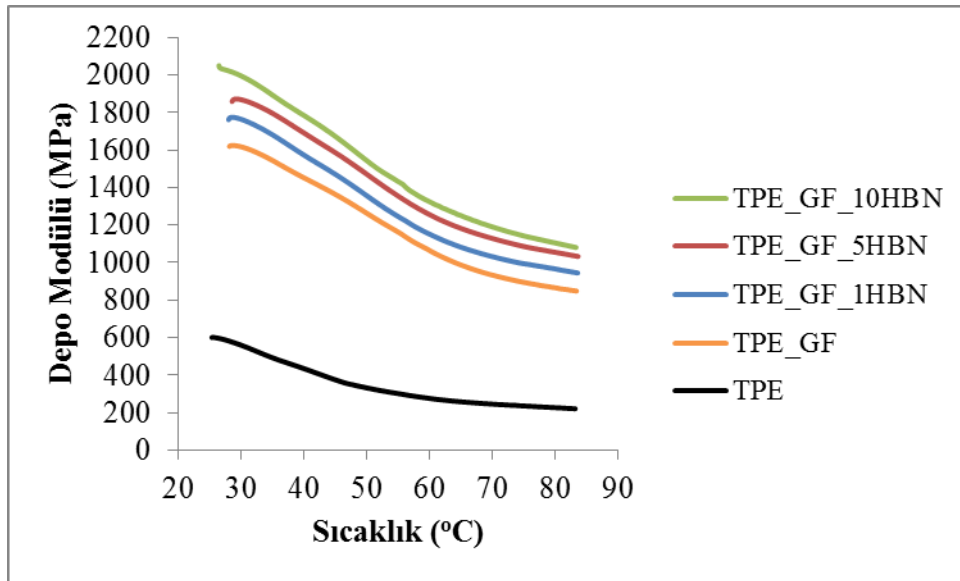
Bununla birlikte Şekil 4.151 ve Şekil 4.152 birlikte değerlendirildiğinde, borik asitin silanlanarak ilave edilmesinin silanlanmamış borik asit ilavesine göre depo modülünü düşürdüğü görülmektedir. Bunun sebebi borik asiti silanlamanın polimer matris üzerinde ortaya çıkardığı plastikleştirici etkidir (Lee ve diğ., 2017, Arksornnukit ve diğ., 2004).



Şekil 4.152. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

4.7.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

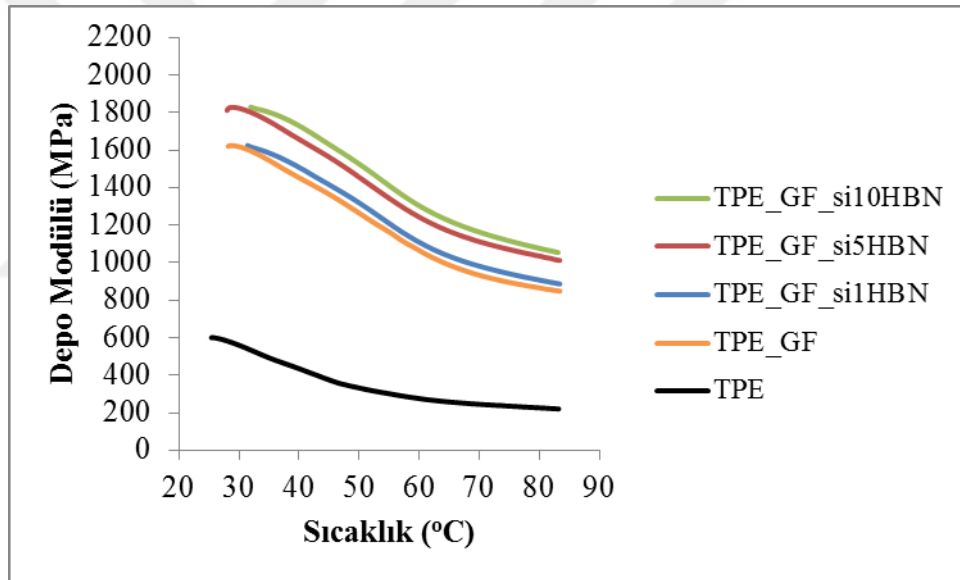
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.153'te verilmiştir.



Şekil 4.153. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.153 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerlerinde artış olmuştur ve artan takviye oranıyla birlikte depo modülü değeri artış eğilimindedir. Hegzagonal bor nitrür cam elyaf ile birlikte takviye edildiğinde yapı içerisinde daha homojen bir dağılım sergiler ve bu da malzemenin depo modülü değerini artırır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.154'te verilmiştir.



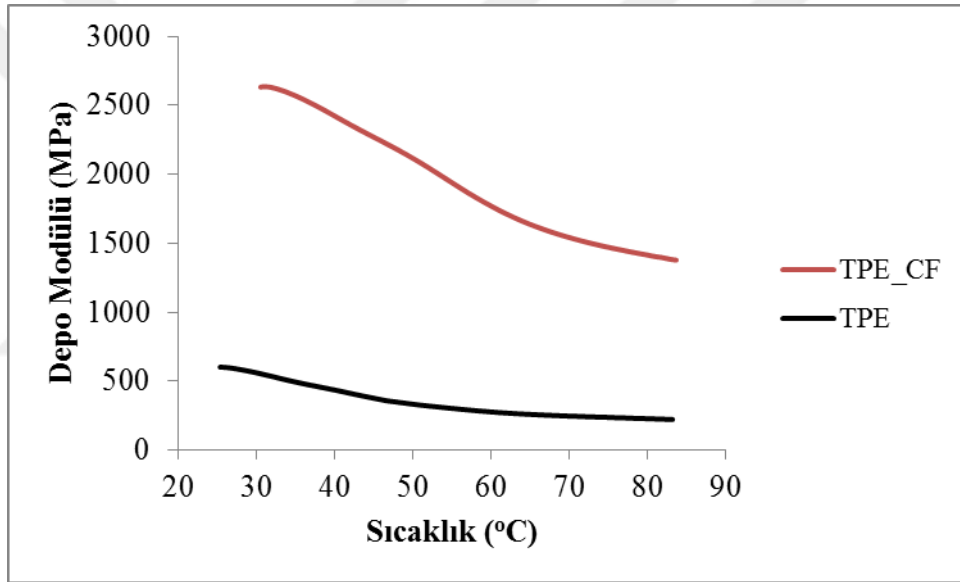
Şekil 4.154. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.154 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır. Bunun sebebi hibrit kompozitlerde ortaya çıkması beklenen hibrit etkidir. Bu etkiyle takviye elemanları yapı içerisinde daha homojen bir dağılım sergilerler. Bununla birlikte Şekil 4.153 ve Şekil 4.154 birlikte incelendiğinde hegzagonal bor nitrürün yüzeyinin silanlanmasıyla, silanlanmamış hegzagonal bor nitrüre göre depo modülü değerlerinde bir miktar azalma olmuştur.

Bu azalmanın sebebi, silanlamayla birlikte ortaya çıkan plastikleştirici etkidir (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004). Ancak bu değer, depo modülü değerlerinde meydana gelen azalmaya rağmen sadece cam elyaf takviyeli kompozitin depo modülü değerinin altına düşmemiştir.

4.7.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

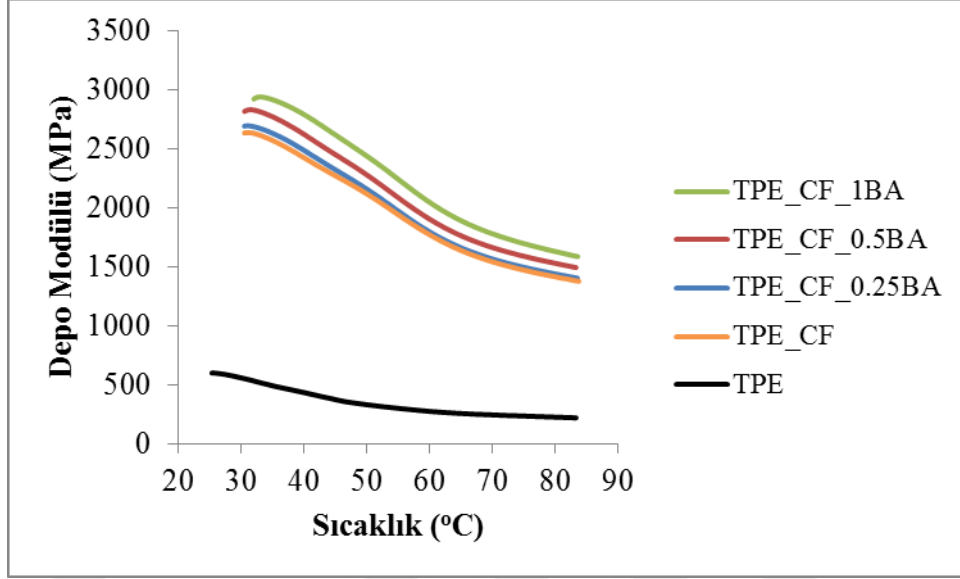
Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf içeren TPE matrisli kompozitin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.155'te verilmiştir.



Şekil 4.155. Saf TPE'ye ve karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.155 incelendiğinde görülmektedir ki TPE'ye karbon elyaf ilavesiyle depo modülü değerini arttırmıştır. Bu beklenen ve literatürden bilinen bir sonuçtur. Öyle ki elyaflar polimerlere göre çok yüksek rijitliğe ve bükülmezliğe sahiptirler. Bu nedenle TPE'nin zincir hareketlerini sınırlandırarak depo modülü değerini arttırmaktadırlar.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.156'da verilmiştir.



Şekil 4.156. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

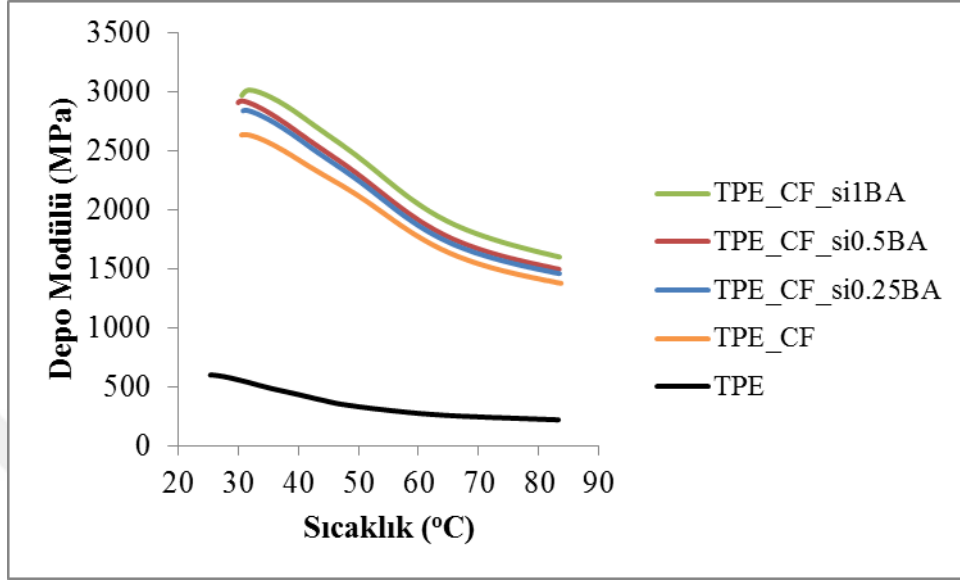
Şekil 4.156 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle depo modülü değerinde bir miktar artış olmuştur ve depo modülü artan takviye malzemesi oranıyla artma eğilimindedir.

Dolayısıyla, hibrit kompozitlerde ortaya çıkan sinerjik etkiyle birlikte takviye elemanları yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmış ve depo modülü değerini daha da arttırmıştır denebilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.157'de verilmiştir.

Şekil 4.157 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış borik asit ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır. Bunun sebebi hibrit takviyesi ile birlikte takviye elemanlarının yapı içerisinde daha homojen dağılım sergilemeleridir.

Bununla birlikte Şekil 4.156 ve Şekil 4.157 birlikte incelendiğinde borik asit silanlayarak ilave etmek, karbon elyaf takviyeli kompozitlerin depo modülü değerlerinde önemli bir değişiklik oluşturmamıştır denebilir.



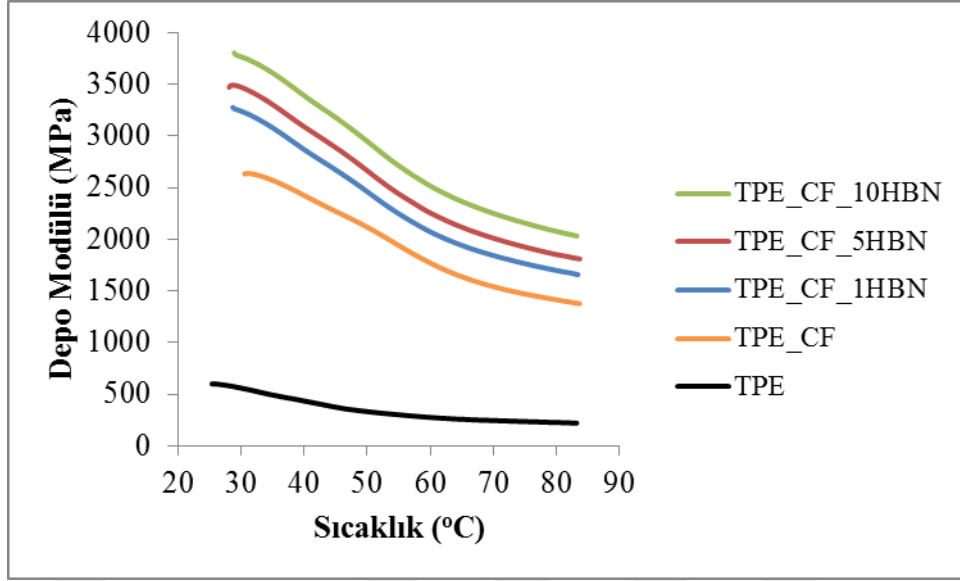
Şekil 4.157. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

4.7.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.158'de verilmiştir.

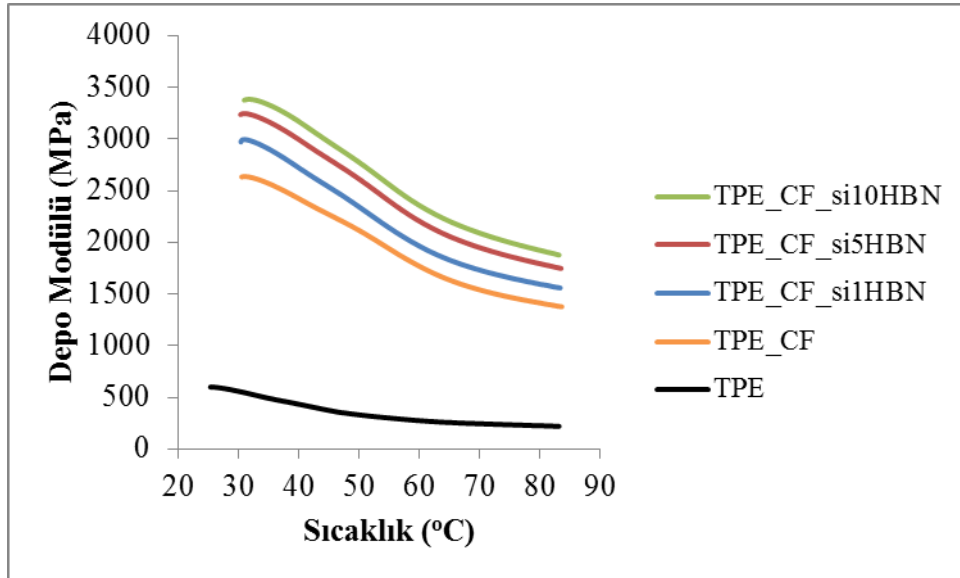
Şekil 4.158 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır ve hegzagonal bor nitrürün artan takviye oranıyla birlikte depo modülü de artma eğilimindedir.

Bu artışın sebebi, elyaf ve partikül takviyesini eş zamanlı içeren kompozit malzemelerde, yapı içerisinde daha homojen bir dağılım olması ve arayüzey etkileşiminin daha iyi olmasıdır.



Şekil 4.158. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin termomekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla dinamik mekanik analiz uygulanmış ve bu analiz sonucunda elde edilen depo modülü (E') değerlerindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.159'da verilmiştir.

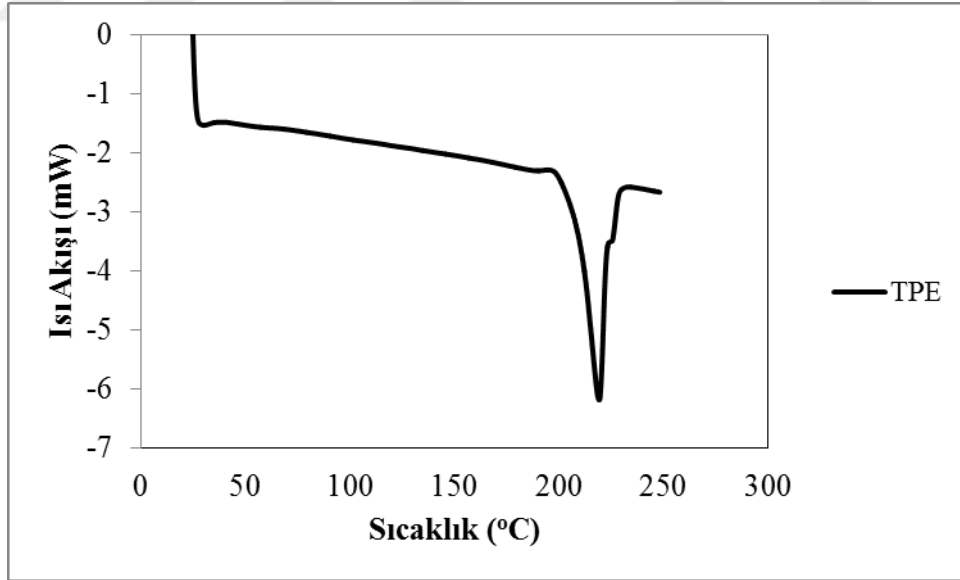


Şekil 4.159. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait depo modülü-sıcaklık eğrileri

Şekil 4.159 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle depo modülü değerleri artmıştır . En fazla artış ise ağırlıkça %10 oranında hegzagonal bor nitrür içeren kompozit malzemededir. Bununla birlikte Şekil 4.158 ve Şekil 4.159 birlikte değerlendirildiğinde, silanlanmış hegzagonal bor nitrür ilavesi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesine göre depo modülü değerini azaltmıştır denebilir. Bunun sebebi silanlamanın plastikleştirici etkisinin baskın bir şekilde ortaya çıkmasıdır (Lee ve diğ., 2017; Arksornnukit ve diğ., 2004). Ancak bu düşüşe rağmen silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren kompozitlerin depo modülü değerleri sadece karbon elyaf içeren numunelerin altına düşmemiştir.

4.8. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi sonuçları

Bu başlık altında kompozitlerin DSC sonuçlarına yer verilmiştir. DSC analizi sonucu elde edilen saf TPE'ye ait eğri Şekil 4.160'ta görülmektedir. Kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesi bu eğriler kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.160. Saf TPE'ye ait DSC eğrisi

4.8.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif %

kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Saf TPE’ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE’ye ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_0.25BA	219,25	45,24	102,68
TPE_0.5BA	219,52	46,44	105,67
TPE_1BA	219,78	50,07	114,50
TPE_si0.25BA	218,92	43,04	97,69
TPE_si0.5BA	219,27	45,52	103,57
TPE_si1BA	219,42	49,80	113,89

Tablo 4.1 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE’ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle erime sıcaklığı değerlerinde kayda değer bir değişme olmamıştır. Bununla birlikte artan borik asit oranıyla birlikte kompozit malzemelerin erime entalpisi ve kristalizasyon dereceleri artmıştır. Buradan borik asitin polimer içerisinde bir çekirdeklenme ajanı gibi davranarak ve heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturarak polimerin kristallenme derecesini arttırdığı yorumu yapılabilir (Ayrılmış ve diğ., 2014; Cheewawuttipong ve diğ., 2013).

Tablo 4.1’den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda silanlanmamış numunelere göre kristalizasyon derecelerinin bir miktar azalmış olmasıdır. Bunun sebebinin silanlama işleminin borik asitin çekirdeklenme bölgeleri oluşturmasını kısıtlaması olduğu söylenebilir.

Saf TPE’nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Saf TPE’ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE’ye ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_BF	218,36	38,85	97,73
TPE_siBF	218,31	39,13	98,43

Tablo 4.2 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle erime sıcaklığında kayda değer bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte kompozitin erime entalpisi ve kristalizasyon derecesi azalmıştır. Düşük oranlarda elyaf takviyesi genellikle polimerin çekirdeklenme bölgesinin sayısını ve kristal büyümesi oranını arttırır. Ancak, kompozit içerisindeki elyafın oranı arttıkça kritik bir seviyeye ulaşır ve elyaflar polimer matris zincirlerinin hareketliliğini kısıtlamaya başlar. Bu davranış matristeki kristal büyümesini engeller (Karsli ve Aytac, 2013). Bu bilgiye göre, bazalt elyaf takviye oranının kompozit içerisinde bu kritik sınıra ulaştığı söylenebilir. Bu nedenle bazalt elyaf polimerdeki zincirlerin hareketliliğini kısıtlamaya başlamış ve matrisin kristallenmesini engellemiştir yorumu yapılabilir.

Tablo 4.2'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecesinde bir miktar artış olmasıdır. Silanlama işleminin bazalt elyaf takviyesinin kompozitte oluşturduğu kristal büyümesini engelleme davranışını bir miktar azalttığı söylenebilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_BF	218,36	38,85	97,73
TPE_BF_0.25BA	218,76	40,51	102,19
TPE_BF_0.5BA	219,14	42,45	107,38
TPE_BF_1BA	219,27	44,87	114,14
TPE_BF_si0.25BA	218,71	39,63	99,97
TPE_BF_si0.5BA	219,41	41,23	104,29
TPE_BF_si1BA	219,42	44,79	113,94

Tablo 4.3 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış

borik asit ilavesiyle erime sıcaklığında bir değişiklik olmazken kristalizasyon derecesi artmıştır. Borik asit ilavesi yapı içerisinde çekirdeklenme ajanı gibi davranarak heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturmuştur ve bu bölgeler polimerin kristalizasyon derecesini arttırmıştır denebilir.

Tablo 4.3'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecesinin bir miktar düşmesidir. Bunun sebebi silanlama işleminin polimer matriste oluşturduğu çekirdeklenmeyi kısıtlama etkisidir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_siBF	218,31	39,13	98,43
TPE_siBF_0.25BA	218,54	39,96	100,80
TPE_siBF_0.5BA	219,33	43,42	109,83
TPE_siBF_1BA	219,55	46,13	117,35
TPE_siBF_si0.25BA	218,78	39,24	98,98
TPE_siBF_si0.5BA	219,01	39,64	100,27
TPE_siBF_si1BA	219,31	44,34	112,79

Tablo 4.4 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle kristalizasyon derecesi artarken erime sıcaklığında bir değişiklik olmamıştır. Bunun sebebi borik asitin çekirdeklenme ajanı gibi davranarak matris içerisinde heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturmasıdır.

Tablo 4.4'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda erime sıcaklığı değişmezken kristalizasyon derecesinin

azalmasıdır. Bunun sebebi borik asitin silanlamayla birlikte matris içerisinde daha az oranda çekirdeklenme bölgeleri oluşturmasıdır.

4.8.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_1HBN	219,43	39,61	90,58
TPE_5HBN	219,46	35,61	84,86
TPE_10HBN	220,08	34,94	87,89
TPE_si1HBN	218,42	39,49	90,31
TPE_si5HBN	219,04	34,33	81,81
TPE_si10HBN	218,68	34,03	85,60

Tablo 4.5 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kristalizasyon derecesi azalmıştır. Buradan iki şekilde yorum yapılabilir. İlki hegzagonal bor nitrür ilavesinin polimer matrisin kristalinite oranını azalttığı ve kristallenmesini engellediğidir. Çünkü bilindiği gibi takviye elemanı matris içerisinde fiziksel bir engelleyici gibi davranabilir ve polimerin zincirlerinin kristalizasyonunu geciktirebilir (Sun ve diğ., 2007). Öte yandan yapılabilecek bir diğer yorum da partiküllerin matris içerisinde iyi bir dağılım sergilediklerinde kristal büyümesini engelleyebildikleridir (Szakacs ve Meszaros, 2018). Sonuç olarak her iki durumla da uyumlu olacak şekilde literatürde hegzagonal bor nitrürün kristalizasyon derecesini düşürdüğünü gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Jung ve diğ., 2010).

Tablo 4.5'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecesinin azalmasıdır. Bu azalma ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında hegzagonal bor nitrür içeren numunelerde

daha fazla olmuştur. Bu nedenle silanlama işlemi kristalizasyon derecesini azaltmıştır yorumu yapılabilir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_BF	218,36	38,85	97,73
TPE_BF_1HBN	218,71	34,88	88,73
TPE_BF_5HBN	218,65	32,87	87,55
TPE_BF_10HBN	218,96	29,28	82,86
TPE_BF_si1HBN	218,46	35,75	90,94
TPE_BF_si5HBN	218,78	33,51	89,25
TPE_BF_si10HBN	218,81	30,81	87,19

Tablo 4.6 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kristalizasyon derecesi azalmıştır. Buradan matrisin kristallenmesinin hegzagonal bor nitrür tarafından engellendiği ve böylece kristalizasyon derecesinin düştüğü yorumları yapılabilir.

Tablo 4.6'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecelerinin bir miktar artmasıdır.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_siBF	218,31	39,13	98,43
TPE_siBF_1HBN	218,72	35,40	90,05
TPE_siBF_5HBN	219,05	34,40	91,62
TPE_siBF_10HBN	218,68	31,96	90,45
TPE_siBF_si1HBN	219,06	35,03	89,11
TPE_siBF_si5HBN	219,12	33,29	88,67
TPE_siBF_si10HBN	218,83	31,17	88,21

Tablo 4.7 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kristalizasyon derecelerinde azalma olmuştur. Bunun sebebi hegzagonal bor nitrürün polimer matris içerisinde fiziksel bir engelleyici gibi davranması ve kristalizasyon derecesini düşürmesidir.

Tablo 4.7'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecelerinde azalma olmasıdır.

4.8.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle kristalizasyon dereceleri artmıştır ve erime sıcaklığı değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Sadece elyaf ilavesinde ise erime sıcaklığında kayda değer bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte kompozitin erime entalpisi ve kristalizasyon

derecesi azalmıştır. Düşük oranlarda elyaf takviyesi genellikle polimerin çekirdeklenme bölgesinin sayısını ve kristal büyümesi oranını artırır. Ancak, kompozit içerisindeki elyafın oranı arttıkça, elyaflar polimer matris zincirlerinin hareketliliğini kısıtlamaya başlar. Bu davranış matristeki kristal büyümesini engeller (Karsli ve Aytac, 2013). Bu nedenle cam elyaf matrisin kristallenmesini kısıtlamıştır yorumu yapılabilir. Ağırlıkça %0,5 ve %1 oranlarında borik asit ilavesiyle birlikte kristalizasyon derecelerinde meydana gelen artışın sebebi ise borik asit partiküllerinin yapı içerisinde çekirdeklenme ajanı gibi davranarak heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturmalarıdır.

Tablo 4.8. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_GF	218,88	39,48	99,31
TPE_GF_0.25BA	219,17	38,56	97,27
TPE_GF_0.5BA	219,64	39,51	99,94
TPE_GF_1BA	219,61	43,47	110,58
TPE_GF_si0.25BA	219,09	41,24	104,03
TPE_GF_si0.5BA	219,36	41,31	104,50
TPE_GF_si1BA	219,29	43,52	110,71

Tablo 4.8'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecelerinde artış olmasıdır.

4.8.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kristalizasyon derecelerinde azalma olmuştur. Bunun sebebi hegzagonal

bor nitrür partiküllerinin polimer içerisinde fiziksel bir engelleyici gibi davranması ve kristaliniteyi düşürmesidir.

Tablo 4.9. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_GF	218,88	39,48	99,31
TPE_GF_1HBN	219,45	35,85	91,20
TPE_GF_5HBN	219,15	33,64	89,60
TPE_GF_10HBN	219,52	31,57	89,34
TPE_GF_si1HBN	218,53	36,45	92,72
TPE_GF_si5HBN	218,49	33,82	90,08
TPE_GF_si10HBN	218,60	32,52	92,03

Tablo 4.9'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecelerinde artış olmasıdır.

4.8.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_CF	218,42	37,71	94,86
TPE_CF_0.25BA	218,48	41,06	103,58
TPE_CF_0.5BA	218,85	41,09	103,94
TPE_CF_1BA	218,79	42,98	109,33
TPE_CF_si0.25BA	218,19	40,32	101,71
TPE_CF_si0.5BA	218,34	40,77	103,13
TPE_CF_si1BA	219,03	42,49	108,09

Tablo 4.10 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle

kristalizasyon dereceleri artmıştır ve erime sıcaklığı değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Sadece elyaf ilavesinde ise erime sıcaklığında kayda değer bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte kompozitin erime entalpisi ve kristalizasyon derecesi azalmıştır. Düşük oranlarda elyaf takviyesi genellikle polimerin çekirdeklenme bölgesinin sayısını ve kristal büyümesi oranını artırır. Ancak, kompozit içerisindeki elyafın oranı arttıkça, elyaflar polimer matris zincirlerinin hareketliliğini kısıtlamaya başlar. Bu davranış matristeki kristal büyümesini engeller (Karsli ve Aytac, 2013). Bu nedenle karbon elyaf matrisin kristallenmesini kısıtlamıştır yorumu yapılabilir. Borik asit ilavesiyle meydana gelen artışın sebebi ise karbon elyaf ile eş zamanlı ilave edilen borik asit partiküllerinin yapı içerisinde bir çekirdeklenme ajanı gibi davranmaları ve polimer içerisinde heterojen çekirdeklenme bölgeleri yaratarak kompozitin kristalizasyon derecesini arttırmalarıdır.

Tablo 4.10'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise borik asit yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecelerinin bir miktar azalmış olmasıdır.

4.8.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve relatif % kristalizasyon ($X_c(\%)_{rel}$) derecesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan DSC analizi sonuçları Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait DSC analizi sonuçları

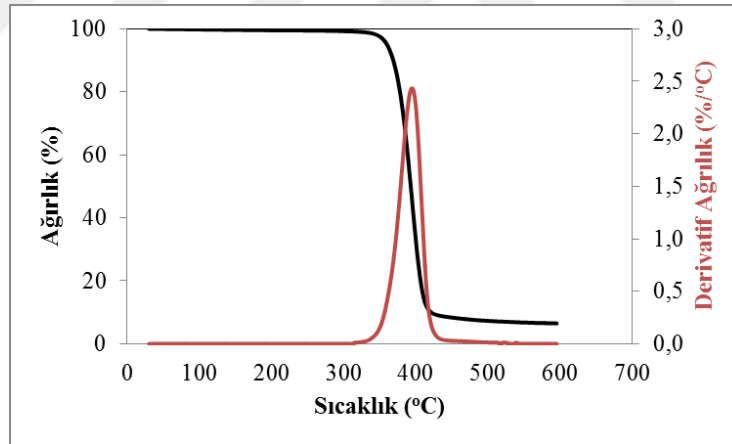
Numune kodu	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	$X_c(\%)_{rel}$
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_CF	218,42	37,71	94,86
TPE_CF_1HBN	219,11	37,74	96,00
TPE_CF_5HBN	218,73	34,36	91,52
TPE_CF_10HBN	219,02	32,41	91,72
TPE_CF_si1HBN	217,93	36,54	92,95
TPE_CF_si5HBN	218,56	32,62	86,88
TPE_CF_si10HBN	218,64	29,10	82,35

Tablo 4.11 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle kristalizasyon derecesinde azalma olmuştur. Bunun sebebi hegzagonal bor nitrür partiküllerinin yapı içerisinde fiziksel engelleyici gibi rol alması ve kompozitin kristalizasyon derecesini düşürmesidir.

Tablo 4.11'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise hegzagonal bor nitrür yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecelerinin daha da azalmış olmasıdır.

4.9. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

Bu başlık altında kompozitlerin TGA sonuçlarına yer verilmiştir. TGA analizi sonucu elde edilen saf TPE'ye ait eğri Şekil 4.161'de görülmektedir. Kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklık (T_{max}) bu eğriler kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.161. Saf TPE'ye ait TGA eğrisi

4.9.1. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE'nin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle ağırlıkça %0,25 ve %0,5 takviye

oranlarında önemli bir değişiklik olmazken ağırlıkça %1 borik asit takviyesiyle birlikte kompozitin $T_{%5}$ sıcaklığı yaklaşık 4 °C azalmıştır. Borik asitin erime sıcaklığı yaklaşık 171 °C'dir. Bu nedenle termal kararlılığı polimere göre daha düşük bir malzemedir. Borik asit numune üretiminde viskoziteyi düşürücü etki yapmış ve en fazla ağırlıkça %1 takviye oranında takviye edilebilmiştir. Ağırlıkça %1 borik asit takviyesi de polimerin ısı kararlılığını düşürücü etki yapmıştır. Literatürde yapılan bir çalışmada da TGA sonuçlarına göre borik asit ilavesiyle bozunma sıcaklığının düştüğü bulunmuştur. Öyle ki bu çalışmada borik asit erime sıcaklığı olan 171 °C'de bozunmaya başlar ve bu da kompozitin termal kararlılığını düşürür yorumu yapılabilir (Panda ve diğ., 2019). Dolayısıyla elde edilen sonuç literatür ile de uyumludur.

Tablo 4.12. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE'ye ait TGA sonuçları

Numune kodu	$T_{%5}$ (°C)	$T_{%10}$ (°C)	T_{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_0.25BA	361,80	371,70	400,49
TPE_0.5BA	359,87	370,74	400,81
TPE_1BA	356,45	368,34	399,62
TPE_si0.25BA	361,18	370,41	399,24
TPE_si0.5BA	361,41	371,16	400,15
TPE_si1BA	358,95	369,70	399,72

Tablo 4.12'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış borik asit içeren numunelerin $T_{%5}$, $T_{%10}$, T_{max} sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{%5}$, $T_{%10}$, T_{max} sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf içeren TPE matrisli kompozitlerin TPE'nin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf ilavesiyle $T_{%5}$, $T_{%10}$, T_{max} sıcaklıkları artmıştır. Bazalt elyaf yüksek termal kararlılığa sahip bir malzemedir (Kim, 2012). Bu nedenle kompozit malzeme içerisinde termal bariyer görevi görerek bozunma sıcaklığını arttırmıştır denebilir.

Tablo 4.13. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ait TGA sonuçları

Numune kodu	T _{%5} (°C)	T _{%10} (°C)	T _{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_BF	363,88	372,54	400,02
TPE_siBF	363,77	372,60	399,05

Tablo 4.13'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış bazalt elyaf içeren numunenin T_{%5}, T_{%10}, T_{%max} sıcaklıklarının silanlanmayan örneğin T_{%5}, T_{%10}, T_{%max} sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı (T_{%5}), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı (T_{%10}) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	T _{%5} (°C)	T _{%10} (°C)	T _{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_BF	363,88	372,54	400,02
TPE_BF_0.25BA	360,30	370,19	400,05
TPE_BF_0.5BA	361,58	371,59	400,44
TPE_BF_1BA	358,67	370,13	399,02
TPE_BF_si0.25BA	362,34	371,43	397,85
TPE_BF_si0.5BA	360,87	371,34	398,62
TPE_BF_si1BA	360,07	370,98	398,25

Tablo 4.14 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle T_{%5} ve T_{%10} sıcaklıkları düşmektedir. T_{%5} sıcaklığı için en fazla azalma yaklaşık 5 °C ile ağırlıkça %1 oranında borik asit içeren kompozitte görülmüştür. Buradan borik asitin düşük termal kararlılığa sahip bir malzeme olması sebebiyle kompozitin de termal kararlılığında azalmaya sebebiyet verdiği yorumu yapılabilir.

Tablo 4.14'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış borik asit içeren numunelerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	$T_{\%5}$ (°C)	$T_{\%10}$ (°C)	T_{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_siBF	363,77	372,60	399,05
TPE_siBF_0.25BA	364,05	373,72	399,98
TPE_siBF_0.5BA	361,24	371,76	400,27
TPE_siBF_1BA	359,07	370,89	399,17
TPE_siBF_si0.25BA	363,01	372,32	398,60
TPE_siBF_si0.5BA	362,16	372,27	399,21
TPE_siBF_si1BA	360,88	372,17	399,87

Tablo 4.15 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle $T_{\%5}$ ve $T_{\%10}$ sıcaklık değerleri azalmıştır. Bunun sebebi borik asitin düşük bir termal kararlılığa sahip olmasıdır.

Tablo 4.15'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış borik asit içeren numunelerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

4.9.2. TPE'ye ve BF/siBF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE'nin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16. Saf TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE'ye ait TGA sonuçları

Numune kodu	T _{%5} (°C)	T _{%10} (°C)	T _{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_1HBN	361,08	370,67	399,97
TPE_5HBN	361,33	370,52	399,14
TPE_10HBN	362,72	371,81	399,66
TPE_si1HBN	361,36	369,92	399,28
TPE_si5HBN	362,20	369,60	398,07
TPE_si10HBN	363,02	371,53	399,20

Tablo 4.16 incelendiğinde görülmektedir ki saf TPE'ye değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle T_{%5} ve T_{%10} sıcaklığında yaklaşık 2-3 °C'lik bir artış olmuştur. Bunun sebebi yüksek termal kararlılığa sahip olan hegzagonal bor nitrürün yapı içerisinde termal bariyer gibi bir rol almasıdır (Zhou ve diğ., 2014).

Tablo 4.16'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren numunelerin T_{%5}, T_{%10}, T_{%max} sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin T_{%5}, T_{%10}, T_{%max} sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmamış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı (T_{%5}), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı (T_{%10}) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17. Saf TPE'ye ve silanlanmamış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	T _{%5} (°C)	T _{%10} (°C)	T _{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_BF	363,88	372,54	400,02
TPE_BF_1HBN	365,02	374,37	401,21
TPE_BF_5HBN	365,58	374,93	400,83
TPE_BF_10HBN	365,15	374,89	401,30
TPE_BF_si1HBN	365,28	374,16	401,18
TPE_BF_si5HBN	366,35	374,63	398,89
TPE_BF_si10HBN	366,30	375,39	401,30

Tablo 4.17 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle $T_{\%5}$ ve $T_{\%10}$ sıcaklık değerlerinde yaklaşık 2 °C'lik bir artış olmuştur. Bunun sebebi hegzagonal bor nitrürün yapı içerisinde bir termal bariyer gibi davranıp polimerin termal kararlılığını arttırmış olmasıdır.

Tablo 4.17'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren numunelerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında silanlanmış bazalt elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18. Saf TPE'ye ve silanlanmış bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	$T_{\%5}$ (°C)	$T_{\%10}$ (°C)	T_{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_siBF	363,77	372,60	399,05
TPE_siBF_1HBN	363,91	372,50	399,26
TPE_siBF_5HBN	365,35	374,00	399,12
TPE_siBF_10HBN	365,97	375,64	401,64
TPE_siBF_si1HBN	366,06	374,92	400,37
TPE_siBF_si5HBN	366,03	374,70	400,11
TPE_siBF_si10HBN	365,64	374,48	400,91

Tablo 4.18 incelendiğinde görülmektedir ki yüzeyi silanlanmış bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle $T_{\%5}$ ve $T_{\%10}$ sıcaklık değerlerinde yaklaşık 2-3 °C'lik bir artış olmuştur. Bunun sebebi hegzagonal bor nitrürün yüksek termal kararlılığa sahip olmasıdır.

Tablo 4.18'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren numunelerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, $T_{\%max}$ sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

4.9.3. GF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{\max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19. Saf TPE'ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	$T_{\%5}$ (°C)	$T_{\%10}$ (°C)	T_{\max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_GF	364,88	373,93	399,62
TPE_GF_0.25BA	363,48	373,40	399,60
TPE_GF_0.5BA	360,35	370,85	398,38
TPE_GF_1BA	359,96	370,89	399,64
TPE_GF_si0.25BA	363,29	373,46	402,20
TPE_GF_si0.5BA	361,71	371,35	401,51
TPE_GF_si1BA	359,72	371,41	400,90

Tablo 4.19 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle $T_{\%5}$ ve $T_{\%10}$ sıcaklıklarında düşüş meydana gelmiştir ve bu düşüş artan borik asit miktarıyla yaklaşık 5 °C'yi bulmuştur. Bunun sebebi borik asitin düşük bir termal kararlılığa sahip olmasıdır (Panda ve diğ., 2019). Ayrıca sadece cam elyaf takviyesiyle birlikte $T_{\%5}$ ve $T_{\%10}$ sıcaklıkları saf polimere göre yaklaşık 4-5 °C artmıştır. Bunun sebebi cam elyafın yüksek termal kararlılığı sebebiyle matris içerisinde termal bariyer gibi davranmasıdır (Nayak ve diğ., 2009).

Tablo 4.19'dan gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış borik asit içeren numunelerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, T_{\max} sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{\%5}$, $T_{\%10}$, T_{\max} sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

4.9.4. GF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrid içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı

($T_{%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20. Saf TPE’ye ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	$T_{%5}$ (°C)	$T_{%10}$ (°C)	T_{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_GF	364,88	373,93	399,62
TPE_GF_1HBN	364,54	373,49	398,85
TPE_GF_5HBN	364,53	374,20	400,26
TPE_GF_10HBN	364,52	374,04	400,98
TPE_GF_si1HBN	364,51	373,50	398,75
TPE_GF_si5HBN	366,25	375,34	402,07
TPE_GF_si10HBN	366,30	375,28	399,56

Tablo 4.20 incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle $T_{%5}$, $T_{%10}$, $T_{%max}$ sıcaklıklarında önemli bir değişiklik olmamıştır.

Tablo 4.20’den gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren numunelerin $T_{%5}$, $T_{%10}$, $T_{%max}$ sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{%5}$, $T_{%10}$, $T_{%max}$ sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

4.9.5. CF takviyeli kompozite BA/siBA ilavesinin etkisi

Saf TPE’nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış borik asit içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış borik asit ilavesiyle $T_{%5}$ sıcaklık değerlerinde yaklaşık 6 °C’lik bir azalma olmuştur. Bunun sebebi borik asitin düşük bir termal kararlılığa sahip olmasıdır (Panda ve diğ., 2019). Bununla birlikte sadece karbon elyaf ilavesiyle birlikte polimerin $T_{%5}$ ve $T_{%10}$ sıcaklıkları yaklaşık 3-4 °C artmıştır. Bunun sebebi karbon elyafın sahip olduğu yüksek termal kararlılıktır (Yang ve diğ., 2015).

Tablo 4.21. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış borik asit takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	T _{%5} (°C)	T _{%10} (°C)	T _{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_CF	363,41	372,30	399,17
TPE_CF_0.25BA	362,17	372,42	399,87
TPE_CF_0.5BA	361,37	372,45	400,65
TPE_CF_1BA	357,67	369,85	400,94
TPE_CF_si0.25BA	364,43	374,51	401,38
TPE_CF_si0.5BA	362,46	373,08	400,60
TPE_CF_si1BA	358,34	370,30	401,06

Tablo 4.21'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış borik asit içeren numunelerin T_{%5}, T_{%10}, T_{%max} sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin T_{%5}, T_{%10}, T_{%max} sıcaklıkları ile benzerlik göstermesidir.

4.9.6. CF takviyeli kompozite HBN/siHBN ilavesinin etkisi

Saf TPE'nin ve ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ile ağırlıkça %1, %5 ve %10 oranlarında silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren TPE matrisli hibrit kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı (T_{%5}), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı (T_{%10}) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) belirlenmesi amacıyla uygulanan TGA sonuçları Tablo 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4.22. Saf TPE'ye ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış hegzagonal bor nitrür takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait TGA sonuçları

Numune kodu	T _{%5} (°C)	T _{%10} (°C)	T _{max} (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_CF	363,41	372,30	399,17
TPE_CF_1HBN	364,69	374,22	401,28
TPE_CF_5HBN	363,98	373,99	402,61
TPE_CF_10HBN	364,47	374,68	402,42
TPE_CF_si1HBN	366,23	375,72	402,94
TPE_CF_si5HBN	365,58	375,01	400,38
TPE_CF_si10HBN	365,47	375,30	400,42

Tablo 4.22 incelendiğinde görülmektedir ki karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite değişen ağırlık oranlarında yüzeyi silanlanmamış hegzagonal bor nitrür ilavesiyle T_{%5}, T_{%10}, T_{%max} sıcaklık değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Tablo 4.22'den gözlemlenen bir diğler sonuç ise silanlanmış hegzagonal bor nitrür içeren numunelerin $T_{%5}$ ve $T_{%10}$ sıcaklıklarının silanlanmayan örneklerin $T_{%5}$ ve $T_{%10}$ sıcaklıklarından yaklaşık 2 °C fazla olmasıdır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında termoplastik poliester elastomer matrisin aşınma ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla termoplastik poliester elastomere bazalt elyaf, cam elyaf ve karbon elyaf olmak üzere üç farklı elyaf türü ağırlıkça %10 oranında sabit olacak şekilde takviye edilmiştir. Partikül takviyesi olarak ise borik asit ve hegzagonal bor nitrür malzemeleri eklenmiştir. Borik asit takviye oranı ağırlıkça %0,25, %0,5 ve %1; hegzagonal bor nitrür takviye oranı ise ağırlıkça %1, %5 ve %10 olarak üç farklı oranda kompozite ilave edilmiştir. Sadece elyaf içeren ve sadece partikül içeren kompozitlerin yanı sıra elyaf ve partikül takviyesini eş zamanlı içeren hibrit kompozitlerin de üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte partikül takviye elemanlarının ve bazalt elyafın matrisle uyumluluklarını arttırmak ve kaliteli bir arayüzey yapışması elde etmek için borik asit, hegzagonal bor nitrür ve bazalt elyaf yüzeylerine silanlama işlemi uygulanmıştır. Üretilen kompozitlerin tribolojik, mekanik, termal ve termomekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca çekme testi sonucu kopan yüzeylere ve aşınma testi sonucu aşınan yüzeylere SEM analizi yapılmış ve yüzeyin morfolojik özellikleri incelenmiştir.

Kompozitlere uygulanan aşınma testi sonuçlarına göre, borik asit ve hegzagonal bor nitrürün yağlayıcı özellikleri sebebiyle kompozitlerin ortalama sürtünme katsayısı değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Sadece borik asit partikülü içeren kompozitlerde en fazla iyileşme %1 takviye oranında olurken, sadece hegzagonal bor nitrür içeren kompozitlerde en fazla iyileşmenin %10 takviye oranında olduğu tespit edilmiştir. Borik asit takviyeli kompozitlerde en iyi sonuç “TPE_1BA” kodlu numunede elde edilirken hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerde ise en iyi sonucun “TPE_si10HBN” kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir. Bazalt elyaf, cam elyaf ve karbon elyaf içeren kompozitlerde ise elyaf takviyesiyle birlikte sürtünme katsayısı azalmıştır. Özellikle bazalt elyafa uygulanan silanlama işlemi sonucunda kompozit malzemenin daha iyi aşınma performansı sergilediği

tespit edilmiştir. Hibrit kompozitlerin aşınma testi sonuçlarına bakıldığında ise partikül ve elyaf takviyesinin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesiyle oluşan sinerjik etkiyle birlikte tüm numuneler için sadece elyaf takviyesine göre daha düşük sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Silanlanmamış bazalt elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin sonuçları incelendiğinde en düşük ortalama sürtünme katsayısının “TPE_BF_si10HBN” kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir. Silanlanmış bazalt elyaf takviyeli kompozitlerde ise bazalt elyafa uygulanan silanlama işleminin aşınma performansı üzerindeki olumlu etkisi sebebiyle en düşük sürtünme katsayısı değeri “TPE_siBF_si10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir. Cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin en düşük sürtünme katsayısı sergileyen numunesi “TPE_GF_si10HBN” kodlu kompozit olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde karbon elyaf takviyeli kompozitlerin sonuçları değerlendirildiğinde ise en düşük sürtünme katsayısının “TPE_CF_si10HBN” kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışma kapsamında elde edilen bütün aşınma sonuçları değerlendirildiğinde, en düşük ortalama sürtünme katsayısının “TPE_CF_si10HBN” kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir.

Kompozitlere uygulanan çekme testi sonuçlarına göre, borik asit takviyeli kompozitlerde artan borik asit takviye oranıyla birlikte kompozitin çekme dayanımı, modül ve kopma uzaması değerleri artmıştır. Bununla birlikte borik asite uygulanan silanlama işlemiyle matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey yapışma kalitesi ve takviye elemanının matris içerisindeki dağılımı iyileşmiş, sonuç olarak daha iyi performans elde edilmiştir. Sadece borik asit içeren kompozitlerde en iyi sonucun “TPE_si1BA” kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir. Hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitler incelendiğinde, artan hegzagonal bor nitrür takviye oranıyla çekme dayanımı ve modül değerleri artarken, kopma uzaması değerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Silanlama işleminin, hegzagonal bor nitrür içeren kompozitlerin çekme dayanımı ve modül değerlerinde olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sadece hegzagonal bor nitrür içeren kompozitlerde en iyi sonucun “TPE_si10HBN” kodlu numunede olduğu belirlenmiştir. Partikül takviyeli tüm kompozitler değerlendirildiğinde çekme testi sonuçları için en iyi performansın “TPE_si10HBN” kodlu kompozitte olduğu tespit edilmiştir. Elyaf içeren kompozitlerin sonuçlarına göre çekme dayanımı ve modül değerleri artarken kopma

uzaması değerlerinde azalma olmuştur. Sadece elyaf takviyesi içeren kompozitlerde en fazla iyileşme “TPE_CF” kodlu numunede elde edilmiştir. Ancak karbon elyaf içeren bu numunede kopma uzaması değeri büyük oranda düşmüştür. Dolayısıyla bu durumda kompozitin rijitliğinin arttığı da söylenebilir. Fakat kopma uzamasındaki bu düşüş termoplastik poliester elastomerin sönümleyici yay malzemesi olarak kullanılması sebebiyle istenmeyen bir durumdur. Hibrit kompozitlerin çekme testi sonuçları değerlendirildiğinde ise borik asit ve elyaf takviyesini bir arada içeren numunelerde, borik asitin sahip olduğu düşük en-boy oranı sebebiyle çekme dayanımı değerlerinin, sadece elyaf takviyesi içeren numunelerin çekme dayanımı değerlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte borik asit içeren hibrit kompozitlerde, modül değerleri sadece cam elyaf ya da sadece bazalt elyaf takviyesi içeren kompozitlere göre artmıştır. Ancak karbon elyaf takviyeli kompozitlerdeki modül değeri borik asit eklenmesiyle sadece karbon elyaf takviyeli kompozite göre düşmüştür. Kopma uzaması değerleri ise artan borik asit oranıyla birlikte azalmıştır. Hegzagonal bor nitrür takviyeli hibrit kompozitlerde ise ortaya çıkan sinerjik etki sebebiyle çekme dayanımı ve modül değerlerinin artmış olduğu, kopma uzaması değerlerinin ise azalmış olduğu tespit edilmiştir. Hegzagonal bor nitrürü silanlayarak ilave etmenin kompozitlerin performansları üzerinde olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bazalt elyaf ve hegzagonal bor nitrürü eş zamanlı içeren kompozitlerde en iyi çekme dayanımı değeri “TPE_siBF_si10HBN” kodlu kompozitte elde edilmiştir. Cam elyaf ve hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerde en iyi çekme dayanımı değeri “TPE_GF_si10HBN” kodlu kompozitte tespit edilmiştir. Karbon elyaf ve hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerde ise en iyi çekme dayanımı değeri “TPE_CF_si10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir. Tüm kompozitlerin çekme testi sonuçları değerlendirildiğinde ise en iyi çekme dayanımı ve modül değerinin “TPE_CF_si10HBN” kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu numune en düşük kopma uzaması değerine sahip kompozit olarak belirlenmiştir.

SEM analizi sonuçlarına göre, çekme testi sonucu kopan yüzeyler incelendiğinde silanlama işlemiyle birlikte takviye edilen partiküllerin matris içerisinde daha homojen bir dağılım sergiledikleri görülmüştür. Bununla birlikte özellikle bazalt elyaf yüzeyine uygulanan silanlama işlemiyle birlikte arayüzey yapışma kalitesinin iyileştiği net bir şekilde anlaşılmıştır. Hibrit kompozitlerin SEM analizi sonuçları

incelendiğinde ise kompozitlerde oluşan sinerjik etkiyle birlikte takviye elemanlarının matris içerisinde daha homojen bir dağılım sergiledikleri görülmüştür. Aşınma testi sonucu aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise matris yüzeyinde ince aşınma çizgileri olduğu ve malzeme yüzeyinden herhangi bir aşınma döküntüsü olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte kompozite ilave edilen takviye elemanları ile birlikte kompozitin aşınma direnci iyileşmiş ve kompozit yüzeyinde herhangi bir aşınma izi oluşumuna rastlanmamıştır.

Üç nokta eğme testi sonuçlarına göre borik asit takviyesiyle kompozitin eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Sadece borik asit takviyeli kompozitlerde en fazla artış “TPE_1BA” kodlu numunede gerçekleşmiştir. Sadece hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerde ise en fazla artış “TPE_10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir. Elyaf takviyeli kompozitlerde ise en fazla artışın “TPE_CF” kodlu numunede olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hibrit kompozitlerin sonuçlarına bakıldığında ise borik asit takviyesiyle birlikte bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımları artarken, cam elyaf ile karbon elyaf takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. Hegzagonal bor nitrür takviyeli hibrit kompozitlerin sonuçlarına bakıldığında oluşan sinerjik etkiyle birlikte kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri artmıştır. En fazla artışın “TPE_CF_si10HBN” kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir.

Isıl iletkenlik katsayısı analizi sonuçları incelendiğinde, hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerde hegzagonal bor nitrürün yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olması sebebiyle ısı iletkenlik katsayılarında artış olduğu görülmüştür. Sadece hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerde en fazla artış “TPE_10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir. Borik asit takviyesiyle birlikte ise borik asitin düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olması sebebiyle düşüş olduğu görülmüştür. Elyaf takviyesiyle birlikte kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. En fazla artış “TP_CF” kodlu numunede elde edilmiştir. Takviye elemanlarına silanlama işlemi uygulamanın kompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde çok önemli bir etki sağlamadığı tespit edilmiştir. Bazalt elyaf takviyeli hibrit kompozitler incelendiğinde en yüksek ısı iletkenlik katsayısının “TPE_siBF_si10HBN” kodlu numunede olduğu belirlenmiştir. Cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerde en fazla artış “TPE_GF_si10HBN” kodlu numunede elde

edilirken, karbon elyaf takviyeli hibrit kompozitlerde en fazla artışın “TPE_CF_si10HBN” kodlu numunede olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

DMA sonuçlarına göre, partikül takviyesiyle birlikte kompozitin depo modülü değerlerinde artış olmuştur. Sadece borik asit takviyeli kompozitlerde en yüksek depo modülü değeri “TPE_1BA” kodlu numunede elde edilmiştir. Sadece hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerde ise en yüksek depo modülü değeri “TPE_10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir. Partikül takviyesinin yüzeyine uygulanan silanlama işlemiyle birlikte, silan prosesinin kompozitin depo modülü üzerindeki plastikleştirici etkisi sebebiyle depo modülü değerlerinde bir miktar düşüş olduğu gözlenmiştir. Elyaf takviyeli kompozitlerin tümünde depo modülünde net bir şekilde artış olduğu görülmüştür. En fazla artış “TPE_CF” kodlu numunede elde edilmiştir. Bazalt elyaf takviyeli kompozit incelendiğinde ise silanlama işlemiyle birlikte kompozitin depo modülü değerinin daha da arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Hibrit kompozitler incelendiğinde ise partikül takviyesinin ve elyaf takviyesinin eş zamanlı olarak yapılmasıyla depo modülü değerlerinin daha da arttığı tespit edilmiştir. Bazalt elyaf ve partikül takviyeli kompozitler incelendiğinde en yüksek depo modülü değeri “TPE_siBF_10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir. Cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerde en fazla artış “TPE_GF_10HBN” kodlu numunede elde edilirken, karbon elyaf takviyeli kompozitlerde ise “TPE_CF_10HBN” kodlu numunede elde edilmiştir.

DSC analizi sonuçları incelendiğinde, kompozitlerin erime sıcaklığı değerlerinde kayda değer bir değişikliğin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Borik asit partiküllerinin matris içerisinde çekirdeklenme ajanı gibi davranarak kompozitin kristalizasyon derecesini arttırdığı belirlenmiştir. Sadece borik asit takviyeli kompozitlerde en fazla artış “TPE_si1BA” kodlu numunede elde edilmiştir. Bununla birlikte hegzagonal bor nitrür ilavesiyle matriste zincir hareketliliğinin kısıtlanması sebebiyle kompozitin kristalizasyon derecesi azalmıştır. Hibrit kompozitler incelendiğinde ise borik asit içeren kompozitlerde kristalizasyon derecesinin artarken, hegzagonal bor nitrür içeren kompozitlerde ise azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

TGA sonuçları incelendiğinde, kompozitlerin bozunma sıcaklıklarında genel olarak çok büyük oranda değişiklikler olmamakla birlikte 2 °C ile 5 °C arasında sıcaklık

değişimleri olduğu gözlenmiştir. Borik asit içeren kompozitlerin bozunma sıcaklıkları azalırken, hegzagonal bor nitrür içeren kompozitlerin bozunma sıcaklıkları artmıştır. Elyaf takviyesiyle birlikte kompozitlerin bozunma sıcaklıklarında artış olduğu görülmektedir. Hibrit kompozitler incelendiğinde ise borik asit içeren kompozitlerin bozunma sıcaklıklarında birkaç derece düşüş olduğu görülmüştür. Hegzagonal bor nitrür takviyeli kompozitlerin ise bozunma sıcaklıklarında iyileşme olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

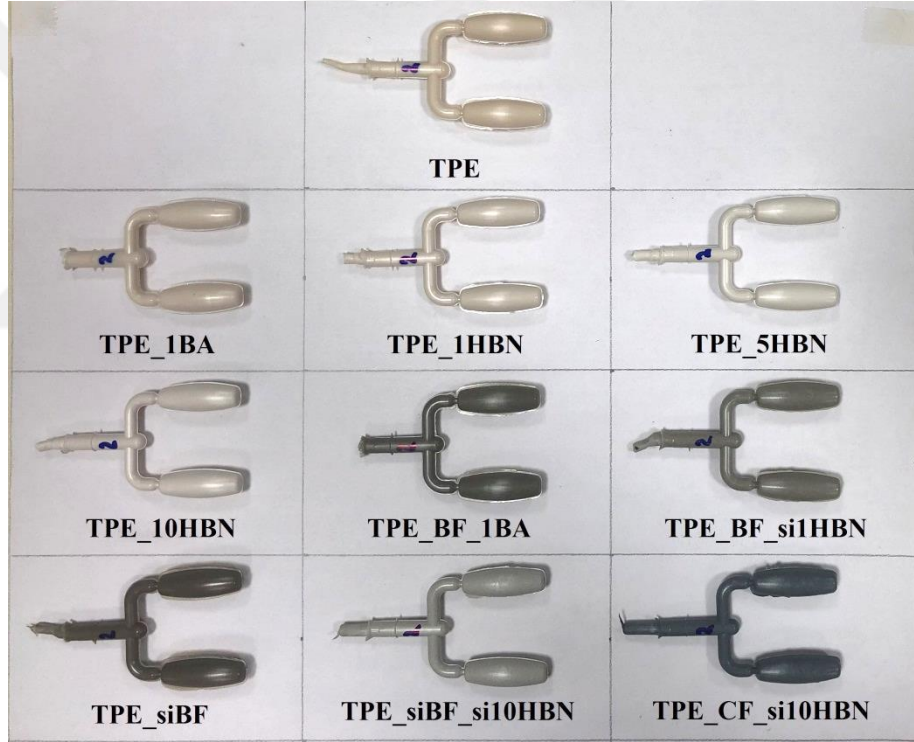
Sonuç olarak, tüm test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, termoplastik poliester elastomere borik asit, hegzagonal bor nitrür, bazalt elyaf, cam elyaf ve karbon elyaf ilave edilmesinin genel olarak daha üstün özellikler sergileyen kompozit malzemeler ortaya çıkardığı söylenebilir. Bununla birlikte çalışmada kullanılan takviye elemanlarından borik asit, hegzagonal bor nitrür ve bazalt elyaf yüzeylerini fonksiyonel hale getirmek için uygulanan silanlama işlemiyle kompozit malzemelerin özellikle mekanik ve tribolojik özelliklerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında, termoplastik poliester elastomerin aşınma ve mekanik performanslarını iyileştirme noktasında, özellikle aşınma testi ve çekme testi sonuçlarının göz önünde bulundurulması ön plana çıkmaktadır. Bu noktada yapılan değerlendirme neticesinde sadece borik asit ya da sadece hegzagonal bor nitrür içeren kompozitlerin özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla, “TPE_1BA”, “TPE_1HBN”, “TPE_5HBN” ve “TPE_10HBN” kodlu kompozitler, partikül takviyesi içeren numuneler arasında beklenen performansı karşılayabilecek malzeme oryantasyonları olarak belirlenebilirler. Bununla birlikte borik asit ve hegzagonal bor nitrürün yüzeylerinin silanlanarak kullanılmasıyla da iyi bir performans elde edildiği tespit edilmiştir. Ancak belirlenen numune oryantasyonlarının endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceği ve ticarileştirilebileceği göz önünde bulundurulduğunda, silanlama işleminin ekstra bir proses olması ve ekstra maliyetli olması sebebiyle, takviye elemanlarının silanlanmamış ya da silanlanmış olarak kullanılabileceği söylenebilir.

Öte yandan, bazalt elyaf ile hegzagonal bor nitrür ve borik asit içeren “TPE_siBF”, “TPE_BF_1BA”, “TPE_BF_si1HBN”, “TPE_siBF_si10HBN” kodlu numune

oryantasyonları da iyileşen performansları sebebiyle belirlenebilecek numune türleridir. Numune oryantasyonu belirlenmesinde göz önünde bulundurulan önemli bir nokta da termoplastik poliester elastomerin sönümleyici yay malzemesi olarak kullanılması sebebiyle sergilemesi beklenen elastikiyet özellikleridir. Dolayısıyla özellikle cam elyaf ve karbon elyaf ilavesiyle kompozitin gevrek bir hal aldığı tespit edilmiş ve yay malzemesi olarak kullanılmasının uygun olmayacağı düşünülmüştür.

Çalışma kapsamında yapılan test sonuçlarına göre beklenen performansı karşılayabilecek çeşitli numune oryantasyonları belirlenerek, bu numunelerin prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen prototiplere ait görsel Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Üretimi gerçekleştirilen prototip numuneler

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bilgi ve kazanılan tecrübeyle birlikte araştırmacılara bazı öneriler yapılabilir:

- Çalışma kapsamında hegzagonal bor nitür ve borik asit partikülleri kullanılmıştır. Bu takviye elemanları farklı partikül boyutlarında matrise eklenerek partikül boyutunun kompozitin özelliklerine etkisi incelenebilir.

- Çalışma kapsamında kullanılan bazalt elyaf, cam elyaf ve karbon elyaf uzunlukları değiştirilerek fiber boyunun kompozitin özelliklerine etkisi incelenebilir.
- Takviye elemanlarına yüzey silanlama işlemi uygulanmıştır. Farklı yüzey modifikasyon işlemleri uygulanarak kompozitteki arayüzeyin kalitesine yaptığı katkı araştırılabilir.
- Partikül takviye elemanlarına uygulanan silanlama işleminde manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Silanlama işleminin özellikle partikül takviyeli kompozitlerde daha etkili olabilmesi için ultrasonik karıştırıcı kullanılabilir.
- Tez çalışması kapsamında kullanılan termoplastik poliester elastomere farklı polimerler katılarak harman oluşturulabilir. Bunun neticesinde farklı polimer türlerinin termoplastik poliester elastomerin özelliklerine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Arksornnukit M., Takahashi H., Nishiyama N., Effects of Silane Coupling Agent Amount on Mechanical Properties and Hydrolytic Durability of Composite Resin After Hot Water Storage, *Dental Materials Journal*, 2004, **23**(1), 31-36.

Arrakhiz F. Z., Benmoussa K., Bouhfid R., Qaiss A., Pine Cone Fiber/Clay Hybrid Composite: Mechanical and Thermal properties, *Materials and Design*, 2013, **50**, 376-381.

Arslan C., Dogan M., The Effects of Silane Coupling Agents on the Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Poly(Butylene Terephthalate) Composites, *Composites Part B*, 2018, **146**, 145-154.

Arun P. V. R., Rajadurai A., Thermo-Mechanical Characterization of Siliconized E-Glass Fiber/Hematite Particles Reinforced Epoxy Resin Hybrid Composite, *Applied Surface Science*, 2016, **384**, 99-106.

Ayrimis N., Dundar T., Kaymakci A., Ozdemir F., Kwon J. H., Mechanical and Thermal Properties of Wood-Plastic Composites Reinforced with Hexagonal Boron Nitride, *Polymer Composites*, 2014, **35**(1), 194-200.

Bae J., Lee S., Kim B. C., Cho H. H., Chae D. W., Polyester-Based Thermoplastic Elastomer/MWNT Composites: Rheological, Thermal, and Electrical Properties, *Fibers and Polymers*, 2013, **14**(5), 729-735.

Bai Y., Lv S., Liu F., Run M. T., Preparation, Morphology and Properties of Poly(Trimethylene Terephthalate)/Thermoplastic Polyester Elastomer Blends, *Journal of Macromolecular Science Part B: Physics*, 2014, **53**, 1553-1573.

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

Bernard S., Miele P., Polymer-Derived Boron Nitride: A Review on the Chemistry, Shaping and Ceramic Conversion of Borazine Derivatives, *Materials*, 2014, **7**, 7436-7459.

Boudenne A., Ibos L., Candau Y., Thomas S., *Handbook of Multiphase Polymer Systems*, 1st ed., John Wiley and Sons Inc., New York, 2011.

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

- Brown R., *Handbook of polymer testing: physical methods*, 1st ed., CRC Press, New York, 1999.
- Buragohain M. K., *Composite Structures: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing and Testing*, 1st ed., CRC Press, Boca Raton, 2017.
- Burger N., Laachachi A., Ferriol M., Lutz M., Toniazzo V., Ruch D., Review of Thermal Conductivity in Composites: Mechanisms, Parameters and Theory, *Progress in Polymer Science*, 2016, **61**, 1-28.
- Burroughs B. R., Kim J. H., Blanchet T. A., Boric Acid Self-Lubrication of B₂O₃-Filled Polymer Composites, *Tribology Transactions*, 1999, **42**(3), 592-600.
- Campbell F. C., *Manufacturing process for advanced composites*, 1st ed., Elsevier, Oxford, 2004.
- Carmisciano S., Rosa I. M. D., Sarasini F., Tamburrano A., Valente M., Basalt Woven Fiber Reinforced Vinylester Composites: Flexural and Electrical Properties, *Materials and Design*, 2011, **32**, 337-342.
- Cavdar A. D., Mengeloğlu F., Karakus K., Effect of Boric Acid and Borax on Mechanical, Fire and Thermal Properties of Wood Flour Filled High Density Polyethylene Composites, *Measurement*, 2015, **60**, 6-12.
- Chand S., Review Carbon Fibers for Composites, *Journal of Materials Science*, 2000, **35**, 1303-1313.
- Chawla K. K., *Composite Materials: Science and Engineering*, 3rd ed., Springer-Verlag, New York, 2012.
- Cheewawuttipong W., Fuoka D., Tanoue S., Uematsu H., Iemoto Y., Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene/Boron Nitride Composites, *Energy Procedia*, 2013, **34**, 808-817.
- Chen J., Lv Q., Wu W., Yao X., Wang J., Li Z., Nucleation of a Thermoplastic Polyester Elastomer Controlled by Silica Nanoparticles, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2016, **55**, 5279-5286.
- Chen J., Zhao D., Jin X., Wang C., Wang D., Ge H., Modifying Glass Fibers with Graphene Oxide: Towards High-Performance Polymer Composites, *Composites Science and Technology*, 2014, **97**, 41-45.
- Chen P., Lu C., Yu Q., Gao Y., Li J., Li X., Influence of Fiber Wettability on the Interfacial Adhesion of Continuous Fiber-Reinforced PPESK Composite, *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, **102**, 2544-2551.
- Cho M. S., Bahadur S., Study of the Tribological Synergistic Effects in Nano CuO-Filled and Fiber-Reinforced Polyphenylene Sulfide Composites, *Wear*, 2005, **258**, 835-845.

Czigány T., Deák T., Tamás P., Discontinuous Basalt and Glass Fiber Reinforced PP Composites From Textile Prefabricates: Effects of Interfacial Modification on the Mechanical Performance, *Composites Interfaces*, 2008, **15**(7-9), 697-707.

Çengel Y. A., Turner R. H., *Fundamentals of Thermal-fluid Science*, 1st edition, McGraw-Hill College, New York, 2001.

Davis J. R., *Tensile Testing*, 2nd ed., ASM International, Ohio, 2004.

Deák T., Czigány T., Tamás P., Németh C., Enhancement of Interfacial Properties of Basalt Fiber Reinforced Nylon 6 Matrix Composites with Silane Coupling Agents, *eXPRESS Polymer Letters*, 2010, **4**, 590-598.

Demirel M., Pamuk V., Dilsiz N., Investigation of Flame Retardancy and Physical–Mechanical Properties of Zinc Borate/Boric Acid Polyester Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, **115**, 2550-2555.

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

Dhand V., Mittal G., Rhee K. Y., Park S. J., Hui D., A Short Review on Basalt Fiber Reinforced Polymer Composites, *Composites: Part B*, 2015, **73**, 166-180.

Dong C., Duong J., Davies I. J., Flexural Properties of S-2 Glass and TR30S Carbon Fiber-Reinforced Epoxy Hybrid Composites, *Polymer Composites*, 2012, **33**(5), 773-781.

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

Drobny J. G., *Handbook of Thermoplastic Elastomers*, 2. Edition, Elsevier, United States of America, 2014.

Duygu D. Y., Baykal T., Açıkgöz İ., Yıldız K., Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy for Biological Studies, *G.U. Journal of Science*, 2009, **22**(3), 117-121.

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

Espana J. M., Samper M. D., Fages E., Sanchez-Nacher L., Balart R., Investigation of the Effect of Different Silane Coupling Agents on Mechanical Performance of Basalt Fiber Composite Laminates with Biobased Epoxy Matrices, *Polymer Composites*, 2013, **34**, 376-381.

Fang H., Bai S. L., Wong C. P., “White Graphene”–Hexagonal Boron Nitride Based Polymeric Composites and Their Application in Thermal Management, *Composites Communications*, 2016, **2**, 19-24.

- Fiore V., Scalici T., Bella G. D., Valenza A., A Review on Basalt Fibre and Its Composites, *Composites Part B*, 2015, **74**, 74-94.
- Fu S. Y., Feng X. Q., Lauke B., Mai Y. W., Effects of Particle Size, Particle/Matrix Interface Adhesion and Particle Loading on Mechanical Properties of Particulate–Polymer Composites, *Composites: Part B*, 2008, **39**, 933-961.
- Fu S. Y., Lauke B., Effects of Fiber Length and Fiber Orientation Distributions on the Tensile Strength of Short-Fiber-Reinforced Polymers, *Composites Science and Technology*, 1996, **56**, 1179-1190.
- Fu S. Y., Lauke B., Mader E., Yue C. Y., Hu X., Tensile Properties of Short Glass Fiber and Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Compos. Part A Appl. S.*, 2000, **31**, 1117-1125.
- Gaikwad P., Gaval V., Impact Modification of Polytrimethylene Terephthalate (PTT) by Thermoplastic Polyester Elastomer (TPE), *International Research Journal of Emerging Trends in Multidisciplinary*, 2015, **1**(5).
- George M., Chae M., Bressler D. C., Composite Materials with Bast Fibres: Structural, Technical, and Environmental Properties, *Progress in Materials Science*, 2016, **83**, 1–23.
- Goffreda F., Griff A., Livinghouse T., Walsh T., Scuralli J., *Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Plastic part manufacturing*, 5th ed., Society of Manufacturing Engineers, New York, 1998.
- Gu J., Zhanga Q., Dang J., Xie C., Thermal Conductivity Epoxy Resin Composites Filled with Boron Nitride, *Polymer Advanced Technologies*, 2012, **23**, 1025-1028.
- Guo J., Mu S., Yu C., Hu C., Guan F., Zhang H., Gong Y., Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene/Modified Basalt Fabric Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, DOI: 10.1002/APP.42504.
- Guo Q. B., Rong M. Z., Jia G. L., Lau K. T., Zhang M. Q., Sliding Wear Performance of Nano-SiO₂/Short Carbon Fiber/Epoxy Hybrid Composites, *Wear*, 2009, **266**, 658-665.
- Gururaja M. N., Rao A. N. H., A Review on Recent Applications and Future Prospectus of Hybrid Composites, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 2012, **1**, 2231-2307.
- Gwon J. G., Lee S. Y., Doh G. H., Kim J. H., Characterization of Chemically Modified Wood Fibers Using FTIR Spectroscopy for Biocomposites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, **116**(6), 3212–3219.
- Hao T., Zhang C., Hu G. H., Jiang T., Zhang Q., Effects of Co-Hard Segments on the Microstructure and Properties Thermoplastic Poly(Ether Ester) Elastomers, *Journal of Applied Polymer Science*, 2016, DOI: 10.1002/app.43337.

Harper C. A., *Modern Plastics Handbook: Modern Plastics and Charles A. Harper*, 1st ed., McGraw-Hill Professional, New York, 1999.

Hashemi S. M., Parvin N., Valefi Z., Effect of Microstructure and Mechanical Properties on Wear Behavior of Plasma-Sprayed Cr₂O₃-YSZ-Sic Coatings, *Ceramics International*, 2019, **45**, 5284-5296.

Hassan A., Rahman N. A., Yahya R., Extrusion and Injection-Molding of Glass Fiber/MAPP/Polypropylene: Effect of Coupling Agent on DSC, DMA, and Mechanical Properties, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2011, **30**(14), 1223–1232.

Hemanth R., Sekar M., Suresha B., Effects of Fibers and Fillers on Mechanical Properties of Thermoplastic Composites, *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 2014, **2**, 28-35.

Hemanth R., Suresha B., Sekar M., Physico-Mechanical Behaviour of Thermoplastic Co-Polyester Elastomer/Polytetrafluoroethylene Composite With Short Fibers and Microfillers, *Journal of Composite Materials*, 2015, **49**(18), 2217-2229.

Hongois S., Kuznik F., Stevens P., Roux J. J., Development and Characterisation of a New MgSO₄-Zeolite Composite for Long-Term Thermal Energy Storage, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2011, **95**, 1831-1837.

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

Hou P., Zhao H., Ma Z., Zhang S., Li J., Dong X., Sun Y., Zhu Z., Influence of Punch Radius on Elastic Modulus of Three-Point Bending Tests, *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, **8**(5), 1-8.

Höhne G. W. H., Hemminger W. F., Flammersheim H. J., *Differential Scanning Calorimetry*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, 2003.

Huang J., Qiu Y., Wu D., Wang J., New Way To Tailor Thermal Stability and Mechanical Properties of Thermoplastic Polyester Elastomer: Relations between Interfacial Structure and Surface Treatment of Spodumene Slag, *Industrial&Engineering Chemistry Research*, 2017, **56**, 6239-6246.

Huang J., Wang J., Qiu Y., Wu D., Mechanical Properties of Thermoplastic Polyester Elastomer Controlled by Blending with Poly(Butylene Terephthalate), *PolymerTesting*, 2016, **55**, 152-159.

Hussain M., Ko Y. H., Choa Y. H., Significant Enhancement of Mechanical and Thermal Properties of Thermoplastic Polyester Elastomer by Polymer Blending and Nanoinclusion, *Journal of Nanomaterials*, 2016, DOI: 10.1155/2016/8515103.

Jang I., Shin K. H., Yang I., Kim H., Kim J., Kim W. H., Jeon S. W., Kim J. P., Enhancement of Thermal Conductivity of BN/Epoxy Composite Through Surface Modification with Silane Coupling Agents, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2017, **518**, 64–72.

Jawaid M., Khalil H. P. S. A., Cellulosic/Synthetic Fibre Reinforced Polymer Hybrid Composites: A Review, *Carbohydrate Polymers*, 2011, **86**, 1-18.

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

Jiang H., Kamdem D. P., Bezubic B., Ruede P., Mechanical Properties of Poly(vinyl chloride)/Wood Flour/Glass Fiber Hybrid Composites, *Journal of Vinyl&Technology*, 2003, **9**(3), 138-145.

Jiang X. F., Weng Q., Wang X. B., Li X., Zhang J., Golberg D., Bando Y., Recent Progress on Fabrications and Applications of Boron Nitride Nanomaterials: A Review, *Journal of Materials Science & Technology*, 2015, **31**, 589-598.

Jin W., Zhang W., Gao Y., Liang G., Gu A., Yuan L., Surface Functionalization of Hexagonal Boron Nitride and Its Effect on the Structure and Performance of Composites, *Applied Surface Science*, 2013, **270**, 561-571.

John J. V., Kim K. R., Baek S. T., Yoon J. H., Suh H., Kim I., Effect of Chain-Extender Modification on the Structure and Properties of Thermoplastic Poly(Ether Ester) Elastomers, *Journal of Applied Polymer Science*, 2016, DOI: 10.1002/app.42888.

John M. J., Francis B., Varughese K. T., Thomas S., Effect of Chemical Modification on Properties of Hybrid Fiber Biocomposites, *Composites: Part A*, 2008, **39**, 352–363.

Jung J., Kim J., Uhm Y. R., Jeon J. K., Lee S., Preparations and Thermal Properties of Micro- and Nano-BN Dispersed HDPE Composites, *Thermochimica Acta*, 2010, **499**, 8-14.

Junji M., Atsushi N., Keiko M., Hideki T., Hiroshi T., Michihiro I., Material Design and Manufacture of a New Thermoplastic Polyester Elastomer, *Polymer Journal*, 2008, **40**(1), 1–9.

Kadam P., Kute R., Mhaske S., Effect of Nano-Alumina Concentration on the Properties of Poly(Vinyl Chloride)/Thermoplastic Polyester Elastomer Blend System, *Iran Polymer Journal*, 2013, **22**, 549-560.

Kadiyala A. K., Bijwe J., Surface Lubrication of Graphite Fabric Reinforced Epoxy Composites with Nano- and Micro-Sized Hexagonal Boron Nitride, *Wear*, 2013, **301**, 802-809.

Kaifang X., Huawu L., Weiwei H., Han S., Shuwei Y., Surface Treatment of Chopped Basalt Fibers and Mechanical Properties of Wood-Based Composite, *Advanced Materials Research*, 2013, **627**, 796-799.

Kang H., Hu X., Li M., Zhang L., Wu Y., Ning N., Tian M., Novel Biobased Thermoplastic Elastomer Consisting of Synthetic Polyester Elastomer and Polylactide by in Situ Dynamical Crosslinking Method, *Royal Society of Chemistry Advances*, 2015, **5**, 23498-23507.

Karatas E., Gul O., Karsli N. G., Yılmaz T., Synergetic Effect of Graphene Nanoplatelet, Carbon Fiber and Coupling Agent Addition on the Tribological, Mechanical and Thermal Properties of Polyamide 6,6 Composites, *Composites Part B-Engineering*, 2019, **163**, 730-739.

Karsli N. G., Aytac A., Tensile and Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites, *Composites: Part B*, 2013, **51**, 270-275.

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

Karsli N. G., Enhancing the Fracture Toughness of Glass Fiber Reinforced Polyamide 6,6 Composites with the Addition of Chain Extender, *Polymer Composites*, 2017, **38**(10), 2228-2236.

Karsli N. G., Yılmaz T., Gul O., Effects of Coupling Agent Addition on the Adhesive Wear, Frictional and Thermal Properties of Glass Fiber Reinforced Polyamide 6,6 Composites, *Polymer Bulletin*, 2018, **75**, 4429-4444.

Kim H., Thermal Characteristics of Basalt Fiber Reinforced Epoxy-Benzoxazine Composites, *Fibers and Polymers*, 2012, **13**(6), 762-768.

Kim M. T., Rhee K. Y., Park S. J., Hui D., Effects of Silane-Modified Carbon Nanotubes on Flexural and Fracture Behaviors of Carbon Nanotube-Modified Epoxy/Basalt Composites, *Composites: Part B*, 2012, **43**, 2298-2302.

Kizilkaya C., Mulazim Y., Kahraman M. V., Apohan N. K., Güngör A., Synthesis and Characterization of Polyimide/Hexagonal Boron Nitride Composite, *Journal of Applied Polymer Science*, 2012, **124**, 706-712.

Ku H., Wang H., Pattarachaiyakoop N., Trada M., A Review on the Tensile Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites, *Composites: Part B*, 2011, **42**, 856-873.

Kurniawan D., Kim B. S., Lee H. Y., Lim J. Y., Effect of Silane Treatment on Mechanical Properties of Basalt Fiber/Polylactic Acid Ecofriendly Composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2013, **52**, 97-100.

Kurniawan D., Kim B. S., Lee H. Y., Lim J. Y., Towards Improving Mechanical Properties of Basalt Fiber/Poly(lactic Acid) Composites by Fiber Surface Treatments, *Composite Interface*, 2015, **22**(7), 553-562.

Lee J. J., Nam I., Kim H., Thermal Stability and Physical Properties of Epoxy Composite Reinforced with Silane Treated Basalt Fiber, *Fibers and Polymers*, 2017, **18**(1), 140-147.

Lee J. M., Choi B. H., Moon J. S., Lee E. S., Determination of the Tear Properties of Thermoplastic Polyester Elastomers (TPEEs) Using Essential Work Of Fracture (EWF) Test Method, *Polymer Testing*, 2009, **28**, 854-865.

Lee M., Kim Y., Ryu H., Baek S. H., Shim S. E., Effects of Silane Coupling Agent on the Mechanical and Thermal Properties of Silica/Polypropylene Composites, *Polymer(Korea)*, 2017, **41**(4), 599-609.

Lee T. Y., Lee C. H., Cho S., Lee D. H., Yoon K. B., Enhancement of Physical Properties of Thermoplastic Polyether-Ester Elastomer By Reactive Extrusion with Chain Extender, *Polymer Bulletin*, 2011, **66**, 979-990.

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

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

Lin G. M., Xie G. Y., Sui G. X., Yang R., Hybrid Effect of Nanoparticles with Carbon Fibers on the Mechanical and Wear Properties of Polymer Composites, *Composites: Part B*, 2012, **43**, 44-49.

Lin Z., Mcnamara A., Liu Y., Moon K. S., Wong C. P., Exfoliated Hexagonal Boron Nitride-Based Polymer Nanocomposite with Enhanced Thermal Conductivity for Electronic Encapsulation, *Composites Science and Technology*, 2014, **90**, 123-128.

Ma L., Yu B., Qion X., Yang W., Pan H., Shi Y., Song L., Hu Y., Functionalized Graphene/Thermoplastic Polyester Elastomer Nanocomposites by Reactive Extrusion-Based Masterbatch: Preparation and Properties Reinforcement, *Polymer Advanced Technologies*, 2014, **25**, 605-612.

Madhusudhan T., Swaroop K. G., A Review On Mechanical Properties Of Natural Fiber Reinforced Hybrid Composites, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2016, **3**, 2247-2251.

Mahuya D., Debabrata C., Influence of Alkali Treatment on the Fine Structure and Morphology of Bamboo Fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, **102**(5), 5050-5056.

Mallick P. K., *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, 2007.

- Margem J. I., Gomes V. A., Margem F., M., Flexural Behavior of Epoxy Matrix Composites Reinforced with Malva Fiber, *Materials Research*, 2015, **18**(2), 114-120.
- Menard K. P., *Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction*, 1st ed., CRC Press, Boca Raton, 1999.
- Mittal G., Rhee K. Y., Park S. J., Processing and Characterization of PMMA/PI Composites Reinforced with Surface Functionalized Hexagonal Boron Nitride, *Applied Surface Science*, 2017, **415**, 49-54.
- Mohammed L., Ansari M. N. M., Pua G., Jawaid M., Islam M. S., A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications, *International Journal of Polymer Science*, 2015, DOI: 10.1155/2015/243947.
- Muratov D. S., Kuznetsov D. V., Il'inykh I. A., Burmistrov I. N., Mazov I. N., Thermal Conductivity of Polypropylene Composites Filled with Silane-Modified Hexagonal BN, *Composites Science and Technology*, 2015, **111**, 40-43.
- Murphy J., *Additives For Plastics Handbook*, 2nd ed., Elsevier, Oxford, 2001.
- Mutlu I., Oner C., Findik F., Boric acid effect in phenolic composites on tribological properties in brake linings, *Materials and Design*, 2007, **28**, 480-487.
- Myshkin N. K., Petrokovets M. I., Kovalev A. V., Tribology of Polymers: Adhesion, Friction, Wear, and Mass-Transfer, *Tribology International*, 2005, **38**, 910-921.
- Nayak S. K., Mohanty S., Samal S. K., Influence of Short Bamboo/Glass Fiber on the Thermal, Dynamic Mechanical and Rheological Properties of Polypropylene Hybrid Composites, *Materials Science and Engineering A*, 2009, **523**, 32-38.
- Nielsen L. E., Landel R. F., *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, 2nd ed., Marcel Dekker Publishing, New York, 1994.
- Nourbakhsh A., Karegarfard A., Ashori A., Nourbakhsh A., Effects of Particle Size and Coupling Agent Concentration on Mechanical Properties of Particulate-filled Polymer Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2010, **23**, 169-174.
- Nunna S., Chandra P. R., Shrivastava S., Jalan A. K., A Review on Mechanical Behavior of Natural Fiber Based Hybrid Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2012, **0**, 1-11.
- Özdemir T., Akbay İ. K., Uzun H., Reyhancan İ. A., Neutron Shielding of EPDM Rubber with Boric Acid: Mechanical, Thermal Properties and Neutron Absorption Tests, *Progress in Nuclear Energy*, 2016, **89**, 102-109.
- Pan C., Kou K., Jia Q., Zhang Y., Wu G., Ji T., Improved Thermal Conductivity and Dielectric Properties of hBN/PTFE Composites via Surface Treatment by Silane Coupling Agent, 2017, *Composites Part B*, **111**, 83-90.

- Pan C., Kou K., Zhang Y., Li Z., Wu G., Enhanced Through-Plane Thermal Conductivity of PTFE Composites with Hybrid Fillers of Hexagonal Boron Nitride Platelets and Aluminum Nitride Particles, *Composites Part B*, 2018, **153**, 1-8.
- Panda J. N., Bijwe J., Pandey R. K., On the Investigations of Nano and Micro-Sized Particles of Boric Acid as a Solid Lubricant in PAEK Composites, *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2019, DOI: 10.1088/2051-672X/ab30a5.
- Patnaik A., Abdulla M., Satapathy A., Biswas S., Satapathy B. K., A Study on a Possible Correlation Between Thermal Conductivity and Wear Resistance of Particulate Filled Polymer Composites, *Materials and Design*, 2010, **31**, 837-849.
- Patton R. D., Pittman C. U., Wang L., Hill J. R., Day A., Ablation, Mechanical and Thermal Conductivity Properties of Vapor Grown Carbon Fiber/Phenolic Matrix Composites, *Composites Part: Applied Science and Manufacturing*, 2002, **33**(2), 243-251.
- Pedrazzoli D., Pegoretti A., Kalaitzidou K., Synergistic Effect of Exfoliated Graphite Nanoplatelets and Short Glass Fiber on the Mechanical and Interfacial Properties of Epoxy Composites, *Composites Science and Technology*, 2014, **98**, 15-21.
- Pesetskii S. S., Shevchenko V. V., Koval V. N., Effect of Isocyanate Chain Extender on the Structure and Properties of the Blends of Poly(Butylene Terephthalate) and Thermoplastic Polyester Elastomer, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2017, **30**(12), 1581-1602.
- Polat O., Kaynak C., Use of Boron Oxide and Boric Acid to Improve Flame Retardancy of an Organophosphorus Compound in Neat and Fiber Reinforced Polyamide-6, *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 2016, **22**(3), 300-310.
- Qi T., Li Y., Cheng Y., Xiao F., Surface Treatments of Hexagonal Boron Nitride for Thermal Conductive Epoxy Composites, *15th International Conference on Electronic Packaging Technology*, 2014, 405-408, DOI: 10.1109/ICEPT.2014.6922683.
- Qin W., Vautard F., Drzal L. T., Yu J., Mechanical and Electrical Properties of Carbon Fiber Composites With Incorporation of Graphene Nanoplatelets at the Fiber-Matrix Interphase, *Composites: Part B*, 2015, **69**, 335-341.
- Qiu Y., Wang J., Wu D., Wang Z., Zhang M., Yao Y., Wei N., Thermoplastic Polyester Elastomer Nanocomposites Filled with graphene: Mechanical and Viscoelastic Properties, *Composites Science and Technology*, 2016, **132**, 108-115.
- Qiu Y., Wu D., Xie W., Wang Z., Peng S., Thermoplastic Polyester Elastomer Composites Containing Two Types of Filler Particles with Different Dimensions: Structure Design and Mechanical Property Control, *Composites Structures*, 2018, **197**, 21-27.
- Ramesh M., Palanikumar K., Reddy K. H., Mechanical Property Evaluation of Sisal-Jute-Glass Fiber Reinforced Polyester Composites, *Composites: Part B*, 2013, **48**, 1-9.

Rauwendaal C., *Polymer Extrusion*, 4th ed., Hanser Gardner Publications, Munchen, 2011.

Reimer L., *Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, 1998.

Rezaei F., Yunus R., Ibrahim N. A., Effect of Fiber Length on Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Materials and Design*, 2009, **30**, 260-263.

Rothon R. N., *Particulate-Filled Polymer Composites*, 2nd ed., Rapra Technology Limited, United Kingdom, 2003.

Rout A. K., Satapathy A., Study on Mechanical and Tribo-Performance of Rice-Husk Filled Glass-Epoxy Hybrid Composites, *Materials and Design*, 2012, **41**, 131-141.

Samper M. D., Petrucci R., Sanchez-Nacher L., R. Balart R., Kenny J. M., Effect of Silane Coupling Agents on Basalt Fiber-Epoxidized Vegetable Oil Matrix Composite Materials Analyzed by the Single Fiber Fragmentation Technique, *Polymer Composites*, 2014, DOI: 10.1002/pc.23023.

Sang L., Zhao M., Liang Q., Wei Z., Silane-Treated Basalt Fiber-Reinforced Poly(butylene succinate) Biocomposites: Interfacial Crystallization and Tensile Properties, *Polymers*, 2017, **9**, 351.

Sathishkumar T. P., Naveen J., Satheshkumar S., Hybrid Fiber Reinforced Polymer Composites – A Review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2014, **33**, 454-471.

Sato K., Horibe H., Shirai T., Hotta Y., Nakano H., Nagai H., Mitsuishi K., Watari K., Thermally Conductive Composite Films of Hexagonal Boron Nitride and Polyimide with Affinity-Enhanced Interfaces, *Journal of Materials Chemistry*, 2010, **20**, 2749-2752.

Scharf T. W., Prasad S. V., Solid lubricants: a review, *Journal of Material Science*, 2013, **48**, 511–531.

Shookoohi S., Arefazar A., Khosrokhavar R., Silane Coupling Agents in Polymer-Based Reinforced Composites: A Review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2008, **27**(5), 473-485.

Singha A. S., Rana A. K., Jarial R. K., Mechanical, Dielectric and Thermal Properties of Grewia Optiva Fibers Reinforced Unsaturated Polyester Matrix Based Composites, *Materials and Design*, 2013, **51**, 924–934.

Singha K., A Short Review on Basalt Fiber, *International Journal of Textile Science*, 2012, **1**(4), 19-28.

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

Sreekanth M. S., Bambole V. A., Mhaske S. T., Mahanwar P. A., Effect of Concentration of Mica on Properties of Polyester Thermoplastic Elastomer Composites, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 2009, **8**(4), 271-282.

Stokes D. J., *Principles and Practice of Variable Pressure: Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM)*, 1st ed., Wiley, Cornwall, 2008.

Stuart B., *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*, 1st ed., John Wiley and Sons Inc., New York, 2004.

Sun L., Yang J. T., Lin G. Y., Zhong M. Q., Crystallization and Thermal Properties of Polyamide 6 Composites Filled with Different Nanofillers, *Materials Letters*, 2007, **61**(18), 3963-3966.

Szakacs J., Meszaros L., Synergistic Effects of Carbon Nanotubes on the Mechanical Properties of Basalt and Carbon Fiber-Reinforced Polyamide 6 Hybrid Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2018, **31**(4), 553-571.

Tsekmes I. A., Kochetov R., Morshuis P. H. F., Smit J. J., Thermal Conductivity of Polymeric Composites: A Review, *IEEE International Conference on Solid Dielectrics*, Bologna, Italy, 30 Haziran-4 Temmuz 2013.

URL-1: www.boren.gov.tr, (Ziyaret Tarihi: 05 Haziran 2016).

URL-2: www.shinetsusiliconeglobal.com/catalog/pdf/SilaneCouplingAgents_e.pdf, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2019).

URL-3: <http://ptfe-machinery.com/polymer-screw-extrusion/>, (Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2017).

URL-4: <https://www.sinotech.com/resources/tutorials/injection-molded-parts/>, (Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2017).

URL-5: ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/how_the_tci_works/mtps/, (Ziyaret tarihi: 01 Ekim 2019).

URL-6: www.ul TTC.com/en/solutions/testmethods/thermalanalysis/thermogravimetric-analysis-tga.html, (Ziyaret tarihi: 18 Mayıs 2017).

URL-7: <http://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/1-borik-asit1.pdf>, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2019).

Wang Q., Zhang X., Pei X., Study on the Synergistic Effect of Carbon Fiber and Graphite and Nanoparticle on the Friction and Wear Behavior of Polyimide Composites, *Materials and Design*, 2010, **31**, 3761-3768.

Wang S., Pang S., Xu N., Pan L., Lin Q., In Situ Compatibilization of Polylactide/Thermoplastic Polyester Elastomer Blends Using a Multifunctional Epoxide Compound as a Processing Agent, *Journal of Applied Polymer Science*, 2016, DOI: 10.1002/app.43424.

Wang S., Li Q., Zhang S., Pan L., Tribological Behavior of Poly (Phenyl P-Hydroxybenzoate)/Polytetrafluoroethylene Composites Filled with Hexagonal Boron Nitride Under Dry Sliding Condition, *Materials and Design*, 2013, **43**, 507–512.

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

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

Xin S., Liang X., Liu H., Zhong Z., Wear Properties of Basalt Fibers Reinforced Composites, *Key Engineering Materials*, 2008, **368-372**, 1010-1012.

Yang H., Gong J., Wen X., Xue J., Chen Q., Jiang Z., Tian N., Tang T., Effect of Carbon Black on Improving Thermal Stability, Flame Retardancy and Electrical Conductivity of Polypropylene/Carbon Fiber Composites, *Composites Science and Technology*, 2015, **113**, 31-37.

Yang W., Jiang Z., Yang J., Yang B., Lu H., Preparation of Thermoplastic Polyester Elastomer/Cerium Carbonate Hydroxide Composites Containing Aluminum Phosphinate with Improved Flame-Retardant and Mechanical Properties, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2015, **54**, 11048-11055.

Yang W., Ma L., Song L., Hu Y., Fabrication of Thermoplastic Polyester Elastomer/Layered Zinc Hydroxide Nitrate Nanocomposites with Enhanced Thermal, Mechanical and Combustion Properties, *Materials Chemistry and Physics*, 2013, **141**, 582-588.

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

Yılmaz S., Poliamit Kompozitlerin Kırılma Tokluğu ve Kırılma Davranışının Esas Kırılma İş ve J-İntegral Metotları ile Analizi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2015, 390434.

Yu J., Zhao W., Wu Y., Wang D., Feng R., Tribological Properties of Epoxy Composite Coatings Reinforced with Functionalized C-BN and H-BN Nanofillers, *Applied Surface Science*, 2018, **434**, 1311-1320.

Yu S., Oh K. H., Hwang J. Y., Hong S. H., The Effect of Amino-Silane Coupling Agents Having Different Molecular Structures on the Mechanical Properties of Basalt Fiber-Reinforced Polyamide 6,6 Composites, *Composites Part B: Engineering*, 2019, **163**, 511-521.

Zaman H. U., Song J. C., Park L. S., Kang I. K., Park S. Y., Kwak G., Park B. S., Yoon K. B., Poly(Lactic Acid) Blends with Desired End-Use Properties by Addition of Thermoplastic Polyester Elastomer and MDI, *Polymer Bulletin*, 2011, **67**, 187–198.

Zegaoui A., Derradji M., Ma R., Cai W. A., Liu W. B., Wang J., Abdul Dayo A. Q., Song S., Zhang L. L., High-Performance Polymeric Materials with Greatly Improved Mechanical and Thermal Properties From Cyanate Ester/Benzoxazine Resin Reinforced by Silane-Treated Basalt Fibers, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2018, DOI: 10.1002/APP.46283.

Zeng R., Tanner R. I., Fan X. J., *Injection Molding-Interaction Theory and Modelling Methods*, 1st ed., Springer-Verlag, Berlin, 2011.

Zhou R. J., Burkhart T., Thermal and Mechanical Properties of Poly(Ether Ester)-Based Thermoplastic Elastomer Composites Filled With TiO₂ Nanoparticles, *Journal of Material Science*, 2011, **46**, 2281–2287.

Zhou W., Zuo J., Zhang X., Zhou A., Thermal, Electrical, and Mechanical Properties of Hexagonal Boron Nitride–Reinforced Epoxy Composites, *Journal of Composite Materials*, 2014, **48**(20), 2517-2526.

Zotti A., Zuppolini S., Tabi T., Grasso M., Ren G., Borriello A., Zarrelli M., Effects of 1D and 2D Nanofillers in Basalt/Poly(Lactic Acid) Composites for Additive Manufacturing, *Composites Part B*, 2018, **153**, 364-375.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Karatas E., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Synergetic Effect of Graphene Nanoplatelet, Carbon Fiber and Coupling Agent Addition on the Tribological, Mechanical and Thermal Properties of Polyamide 6,6 Composites, *Composites Part B: Engineering*, 2019, **163**, 730-739.

Karsli N. G., Yilmaz T., **Gul O.**, Effects of Coupling Agent Addition on the Adhesive Wear, Frictional and Thermal Properties of Glass Fiber-Reinforced Polyamide 6,6 Composites, *Polymer Bulletin*, 2018, **75**(10), 4429-4444.

Yilmaz S., **Gul O.**, Yilmaz T., Effect of Chain Extender and Terpolymers on Tensile and Fracture Properties of Polyamide 6, *Polymer*, 2015, **65**, 63-71.

Gul O., Yilmaz S., Yilmaz T., Effect of CBC and G-POSS on Tribological Behaviour of Polyamide 6 and Short Glass Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites, *Acta Physica Polonica A*, 2015, **127**(4), 1121-1123.

Gul O., Sari N. Y., Sinmazcelik T., The Effect of Low Temperature Plasma Nitriding on Wear Resistance of Ti6Al4V Alloy, *Acta Physica Polonica A*, 2014, **125**(2), 491-493.

Gul O., Kizil A., Dincer U., Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the Tribological and Thermomechanical Properties of Wood-Flour and Basalt Fiber Reinforced Poly(Lactic Acid) Matrix Hybrid Composites, *4th International Symposium on Composite Materials (KOMPEGE 2018)*, İzmir, Türkiye, 6-8 Eylül 2018.

Dincer U., Kizil A., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Effect of Zeolite Addition on the Mechanical and Thermal Properties of Basalt Fiber Reinforced PPS Matrix Composites, *4th International Symposium on Composite Materials (KOMPEGE 2018)*, İzmir, Türkiye, 6-8 Eylül 2018.

Kizil A., Dincer U., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Tribological and Thermomechanical Properties of Bentonite and Carbon Fiber Reinforced PPS Matrix Composites, *4th International Symposium on Composite Materials (KOMPEGE 2018)*, İzmir, Türkiye, 6-8 Eylül 2018.

Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the Mechanical and Thermal Properties of TPE in the Presence of Basalt Fiber and Boron Oxide Hybrid Addition, *V. International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE 2018)*, Barselona, İspanya, 24-26 Temmuz 2018.

Dincer U., Kizil A., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Zeolite Addition to Basalt Fiber Reinforced PPS Matrix Composites: Investigation the Tribological and Thermomechanical Properties, *V. International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE 2018)*, Barselona, İspanya, 24-26 Temmuz 2018.

Kizil A., Dincer U., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Effect of Bentonite Addition on the Mechanical and Thermal Properties of Carbon Fiber Reinforced PPS Matrix Composites, *V. International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE 2018)*, Barselona, İspanya, 24-26 Temmuz 2018.

Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T., Effects of Basalt Fiber and Boron Oxide Hybrid Addition on Adhesive Wear and Thermomechanical Properties of TPE Matrix Composites, *2nd International Conference On Tribology (TURKEYTRIB'18)*, İstanbul, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.

Kizil A., Dincer U., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the Tribological and Thermomechanical Properties of Bentonite and Basalt Fiber Reinforced PPS Matrix Composites, *2nd International Conference On Tribology (TURKEYTRIB'18)*, İstanbul, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.

Dincer U., Kizil A., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Zeolite and Carbon Fiber Reinforced PPS Matrix Hybrid Composites: Tribological and Thermomechanical Properties, *2nd International Conference On Tribology (TURKEYTRIB'18)*, İstanbul, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.

Gul O., Karatas E., Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the Adhesive Wear, Mechanical and Thermal Properties of Polyamide 6,6 in the Presence of PBO, CBC and POSS Chain Extender, *International Academic Research Congress (INES 2017)*, Antalya, Türkiye, 18-21 Ekim 2017.

Karatas E., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Carbon Fiber and Graphene Nanoplatelet Reinforced Polyamide 6,6 Hybride Composites: Effect of Chain Extender Addition, *International Academic Research Congress (INES 2017)*, Antalya, Türkiye, 18-21 Ekim 2017.

Gul O., Karatas E., Karsli N. G., Yilmaz T., Effects of Coupling Agent Addition on the Fracture Toughness, Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Glass Fiber Reinforced Polyamide 6,6 Matrix Composites, *4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2017)*, Antalya, Türkiye, 4-8 Ekim 2017.

Gul O., Karatas E., Karsli N. G., Yilmaz T., Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Graphene Nanoplatelet and Carbon Fiber Reinforced Poly(Phenylene Sulphide) Composites In The Presence Of Glycidyl Methacrylate Terpolymer as Matrix Modifier, *4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2017)*, Antalya, Türkiye, 4-8 Ekim 2017.

Gul O., Karatas E., Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the Effect of Chain Extender Addition on the Adhesive Wear, Thermal and Thermomechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polyamide 6,6 Composites, *9th International Conference on Tribology (BALKANTRIB'17)*, Nevşehir, Türkiye, 13-15 Eylül 2017.

Karatas E., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation Adhesive Wear and Thermomechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Poly(Phenylene Sulphide) Composites in the Presence of Graphene Nanoplatelet and Glycidyl Metachrylate Terpolymer, *9th International Conference on Tribology (BALKANTRIB'17)*, Nevşehir, Türkiye, 13-15 Eylül 2017.

Karatas E., **Gul O.**, Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation Effect of Graphene Nanoplatelet and 1,4-phenylene-bis-oxazoline Chain Extender Addition on Adhesive Wear and Thermomechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced PA6,6 Composites, *9th International Conference on Tribology (BALKANTRIB'17)*, Nevşehir, Türkiye, 13-15 Eylül 2017.

Yilmaz S., Sahin A. E., **Gul O.**, Sınmazcelik T., Yilmaz T., Investigation of Thermal, Mechanical Properties and Abrasive Wear Behaviour of Pumice Particle, Short Carbon Fibre and POSS Reinforced PPS, *2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS2016)*, Saraybosna, Bosna Hersek, 24-28 Mayıs 2016.

Gul O., Karsli N. G., Yilmaz S., Yilmaz T., Geri Dönüştürülmüş Pet ve Polikarbonat Harmanlarının Özelliklerinin Zincir Uzatıcı Kullanılarak İyileştirilmesi, *1. Ulusal Plastik Teknolojileri Sempozyumu (UPTS2015)*, YTÜ, İstanbul, Türkiye, 15-16 Ekim 2015.

Gul O., Yilmaz S., Karsli N. G., Yilmaz T., Investigation the Properties of Recycled-PET/PC Blends In the Presence of Epoxy Based Chain Extender, *5. The International Advances In Applied Physics And Materials Science Congress&Exhibition (APMAS 2015)*, Muğla, Türkiye, 16-19 Nisan 2015.

Gul O., Yilmaz S., Yilmaz T., Essential Work of Fracture Toughness and Mechanical Properties of Recycled PA 6, *22nd Annual International Conference on Composites or Nano Engineering (ICCE-22)*, Malta, 13-19 Temmuz 2014.

Gul O., Yilmaz S., Yilmaz T., Investigation of Tribological Performance of Polyamide 6 (PA6), Short Fiber Reinforced PA6 Composites, *4. The International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress&Exhibition (APMAS 2014)*, Muğla, Türkiye, 24-27 Nisan 2014.

Gul O., Sari N. Y., Sınmazcelik T., The Effect of Low Temperature Plasma Nitriding on Wear Resistance of Ti6Al4V Alloy, *3rd International Advances In Applied Physics&Materials Science Congress (APMAS 2013)*, Antalya, Türkiye, 24-28 Nisan 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Okan Gül, 1988 yılında İstanbul/Üsküdar'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul Beykoz Deri Kundura İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Kocaeli Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. 2011 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.