

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMERİN
ÖZELLİKLERİNİN FARKLI ELYAF TÜRLERİ
VE POMZA İLAVESİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

YAHYA GÖKBERK KARTAL

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMERİN
ÖZELLİKLERİNİN FARKLI ELYAF TÜRLERİ
VE POMZA İLAVESİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YAHYA GÖKBERK KARTAL

Prof.Dr. Taner YILMAZ

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof.Dr. Ali DURMUŞ

Jüri Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi

.....

Doç.Dr. Rıdvan YAMANOĞLU

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.07.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son yıllardaki gelişmelerle kompozit malzemeler geleneksel malzemelere kıyasla günümüzde daha çok kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin özelliklerinin gelişmesi için çeşitli takviye elamanlarına ihtiyaç duyar. Bu tez termoplastik poliestere elastomere çeşitli takviye elemanları ile birlikte özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, bursiyer olarak yer aldığım 5160067 no.lu TÜBİTAK Üniversite Sanayi İş Birliği Programı-1505 kapsamında sağladığı destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu'na teşekkür ederim. Çalışma kapsamında sağladığı destek için Valeo Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimime başladığım günden itibaren kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile yol gösterici, disiplinli ve muntazam şekilde çalışmasıyla bana örnek olan danışman hocam Prof.Dr. Taner YILMAZ'a, proje kapsamında çalışma fırsatı veren, sahip olduğu bilgi birikimini aktaran, çalışma azmi ve liderliği ile örnek olan hocam Doç.Dr. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ'a sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Üniversitede geçirdiğim süre zarfında tecrübesini, bilgi birikimi ile yardımlarını eksik etmeyen açık sözlülüğü ile bana örnek olan, yüksek lisans eğitimi almam için beni teşvik eden hocam Doç.Dr. Tülin ŞAHİN sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Proje ve tezimde, yüksek lisans eğitimim boyunca arkadaş, çalışma arkadaşı, yeri geldiğinde danışman gibi bilgi ve tecrübelerini en güzel şekilde paylaşan, çalışma azimleri ve iş ahlaklarıyla bana örnek olan, akademik hayatında çok başarılı olacağına inandığım hocam Arş.Gör.Dr. Okan GÜL'e ve Mak.Yük.Müh. Uğur DİNÇER'e sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Emek, fedakârlık ve özen gösteren, her saniyesinde desteklerini ve sevgilerini hissettiğim en değerlim olan canım annem Sezer KARTAL'a ve canım babam Rüştü KARTAL'a teşekkür ederim. Öğrencilik hayatımın tamamında hep yanımda olan sevincimizi üzüntümüzü birlikte aştığımız hayatının en güzel yıllarını benimle birlikte üniversite okuyarak geçiren kardeşim Çevre Müh. Adayı Begüm KARTAL'a teşekkür ederim.

Nisan-2020

Yahya Gökberk KARTAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Kompozit Malzemeler	2
1.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması	2
1.3. Polimer Matrisli Kompozitler.....	4
1.4. Kompozit Malzemelerde Takviyenin Fonksiyonelleştirilmesi	5
1.5. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	6
1.5.1. Ekstrüder işlemi	6
1.5.2. Enjeksiyon kalıplama.....	8
1.6. Kompozitlerin Karakterizasyonu.....	8
1.6.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FTIR)	8
1.6.2. Çekme testi	9
1.6.3. Üç nokta eğme testi	10
1.6.4. Dinamik mekanik analiz	10
1.6.5. Aşınma testi	11
1.6.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC).....	12
1.6.7. Termogravimetrik analiz	12
1.6.8. Taramalı elektron mikroskobu.....	13
2. LİTERATÜR TARAMASI	14
3. MALZEME VE YÖNTEM	23
3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	23
3.1.1. Termoplastik poliestere elastomer.....	23
3.1.2. Pomza	24
3.1.3. Karbon elyaf	24
3.1.4. Cam elyaf.....	25
3.1.5. Bazalt elyaf	26
3.1.6. Tez çalışmasında kullanılan malzemelerin özellikleri.....	26
3.2. Pomza Yüzeyini Silanlama İşlemi.....	28
3.3. Kompozitlerin Üretilmesi	29
3.3.1. Kompozitlerin oranları.....	30
3.4. Kompozitlerin Karakterizasyonu.....	30
3.4.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	31
3.4.2. Çekme testi	31
3.4.3. Üç nokta eğme testi	31
3.4.4. Dinamik mekanik analiz (DMA)	32
3.4.5. Aşınma testi	33

3.4.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC).....	33
3.4.7. Termogravimetrik analiz (TGA).....	34
3.4.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. Pomza Silanlama Örneklerinin Çekme testi ve FTIR analizi.....	36
4.2. Çekme Testi Sonuçları	37
4.3. Üç Nokta Eğme Testi	46
4.4. Dinamik Mekanik Analiz	49
4.5. Aşınma Testi.....	51
4.6. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi	56
4.7. Termogravimetrik Analiz	58
4.8. Taramalı Elektron Mikroskop Analizi (SEM).....	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	68
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	73
ÖZGEÇMİŞ	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Ekstürder cihazının genel gösterimi	7
Şekil 1.2.	Çift vidalı ekstruderlerin sınıflandırılması	8
Şekil 1.3.	Enjeksiyonla kalıplama cihazı	8
Şekil 1.4.	FTIR çalışma prensibi şeması	9
Şekil 1.5.	Çekme cihazının şematik gösterimi	9
Şekil 1.6.	Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi	10
Şekil 1.7.	Dinamik mekanik analiz cihazı	11
Şekil 1.8.	Pin on disk aşınma test cihazı	11
Şekil 1.9.	DSC cihazının gösterimi	12
Şekil 1.10.	Termogravimetrik analiz şematik gösterimi	13
Şekil 1.11.	Taramalı elektron mikroskopun şematik gösterimi	13
Şekil 3.1.	Termoplastik poliester elastomerin yapısı	23
Şekil 3.2.	Laboratuvar tipi mikro karıştırıcı	29
Şekil 3.3.	Laboratuvar tipi enjeksiyonla kalıplama cihazı	29
Şekil 3.4.	“Shimadzu AG-X” marka çekme cihazı	31
Şekil 3.5.	Instron marka 4411 model cihaz	32
Şekil 3.6.	TA Instruments marka ve Q800 model DMA cihazı	32
Şekil 3.7.	Nanovea marka tribometre cihazı	33
Şekil 3.8.	TA Instruments-Q200 cihazı	34
Şekil 3.9.	TA Instruments marka Q500 model cihaz	34
Şekil 3.10.	JEOL JCM-6000 marka cihaz	35
Şekil 4.1.	Farklı silanlama parametrelerinin pomza takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi	36
Şekil 4.2.	Pomzanın FTIR analizi	37
Şekil 4.3.	TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanım değerleri	38
Şekil 4.4.	TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modül değerleri	38
Şekil 4.5.	TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri	39
Şekil 4.6.	TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanım değerleri	40
Şekil 4.7.	TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modülü değerleri	40
Şekil 4.8.	TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri	41
Şekil 4.9.	TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanımı değerleri	42
Şekil 4.10.	TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modülü değerleri	42
Şekil 4.11.	TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri	43

Şekil 4.12.	TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanımı değerleri.....	44
Şekil 4.13.	TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modülü değerleri.....	45
Şekil 4.14.	TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri	45
Şekil 4.15.	TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri	46
Şekil 4.16.	TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri.....	47
Şekil 4.17.	TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri.....	47
Şekil 4.18.	TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri.....	48
Şekil 4.19.	TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri	49
Şekil 4.20.	TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri	50
Şekil 4.21.	TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri	50
Şekil 4.22.	TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri	51
Şekil 4.23.	TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı.....	52
Şekil 4.24.	TPE'ye ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	52
Şekil 4.25.	TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı	53
Şekil 4.26.	TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	53
Şekil 4.27.	TPE'ye cam elyaf ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı	54
Şekil 4.28.	TPE'ye cam elyaf ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri	54
Şekil 4.29.	TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı	55
Şekil 4.30.	TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri.....	55
Şekil 4.31.	TPE'ye ait SEM görüntüleri	59
Şekil 4.32.	Silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri.....	60
Şekil 4.33.	Bazalt elyaf ile bazalt elyaf, pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri.....	61
Şekil 4.34.	Cam elyaf ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri	62
Şekil 4.35.	Karbon elyaf ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri.....	63

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1.	Karbon elyafların diğler elyaflarla karşılaştırılması	25
Tablo 3.2.	Cam elyaf türlerinin karşılaştırılması.	25
Tablo 3.3.	Tez çalışmasında kullanılan malzeme ve özellikleri	26
Tablo 3.3.	(Devam)Tez çalışmasında kullanılan malzeme ve özellikleri	27
Tablo 3.4.	Pomza silanlama işlemleri	28
Tablo 3.5.	Üretilen numuneler	30
Tablo 4.1.	TPE'ye karbon elyaf, cam elyaf, bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE matrisli kompozitlere ait diferansiyel taramalı kalorimetre analizi sonuçları.....	56
Tablo 4.2.	TPE'ye karbon elyaf, cam elyaf, bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait termogravimetrik analiz sonuçları	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΔH :	Entalpi değişimi, (J/g)
ΔH_0 :	Katkısız matris malzemesinin füzyon ısısı, (J/g)
ΔH_m :	Erime entalpisi, (J/g)
E :	Depo modülü, (MPa)
OH :	Hidroksi grubu
$T_{\%10}$:	%10 ağırlık kaybı yaşanan sıcaklık, (°C)
$T_{\%5}$:	%5 ağırlık kaybı yaşanan sıcaklık, (°C)
T_m :	Erime sıcaklığı, (°C)
X_c :	Kristalinite oranı, (%)

Kısaltmalar

AP:	3-aminopropil-trietoksisilan
ASTM :	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
DMA :	Dynamic Mechanical Analysis (Dinamik Mekanik Analiz)
DSC :	Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
FTIR :	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GP :	3-Glisidyloxipropil-trimetoksisilan
PLA :	Poli(Laktik Asit)
PP :	Polipropilen
SEM :	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TGA :	Thermogravimetric Analysis (Termogravimetrik Analiz)
TPE :	Termoplastik Poliester Elastomer

TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMERİN ÖZELLİKLERİNİN FARKLI ELYAF TÜRLERİ VE POMZA İLAVESİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Termoplastik polyester elastomerler, yüksek performanslı elastomerler ve esnek termoplastiklerin birleşimidir. Buna ek olarak TPE'ler partikül ve elyaf ile zenginleştirilebilir. Bazalt, karbon ve cam elyaf bu malzemelerin bazılarıdır. Bazalt elyaf, volkanik bazalt kayalarından üretilir. İyi yanma dayanımına, ısı yalıtımı gibi üstün özelliklere sahiptir. Karbon elyaflar, iyi mekanik, elektriksel özellikleri nedeniyle tercih edilir. Cam elyaflar, takviye elyaflarının en yaygın olanlarıdır. Başlıca avantajları düşük maliyet ve yüksek dayanımıdır. Partikül takviyelerinden olan pomza taşı ise, gözenekli yapısı ile bilinen doğal hafif bir agregadır. Pomza, ısı yalıtımı gibi birçok özelliğe sahiptir. Pomza ve elyafların takviye edici özelliklerini geliştirmek için birleştirme maddeleri kullanılabilir. Birleştirme maddelerinden yaygın olarak kullanılan silanlar, dolgu ve matris arasındaki arayüzey bağını iyileştirir ve mekanik özellikleri gibi çeşitli özelliklerin geliştirilmesine yardımcı olur. Bu çalışmada TPE'nin mekanik ve termal özelliklerini bazalt, karbon ve cam elyaf ve silanlanmış veya silanlanmamış pomza varlığında, geliştirmek hedeflenmiştir. Kompozitler çeşitli yükleme oranları belirlenerek üretilmiştir. Belirlenen dağılımlar ise; bazalt, karbon, cam elyaf yükleme seviyesi ağırlıkça %10'da sabit tutulurken, silanlanmış ve silanlanmamış pomza yükleme seviyesi ağırlıkça %1'de sabit tutulmuştur. Oluşturulan kompozitleri üretmek için malzemeler ekstrüderde harmanlanmıştır ve enjeksiyon makinesi ile kalıplanmıştır. Harmanlama işleminden önce silan işleminin etkinliği, FTIR tarafından pomza üzerinde değerlendirilmiştir. Çekme deneyi ve eğilme deneyi yapılmıştır. Uygulanan çekme testinden sonra kompozitlerin kırılma yüzeyinin morfolojileri incelenmiştir. Termal özellikleri belirlemek için diferansiyel tarama kalorimetrisi analizi ve termogravimetrik analiz testleri yapılmıştır. Tribolojik ve termomekanik özellikleri araştırmak için aşınma testi ve dinamik mekanik analizi uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bağlama Ajanı, Elyaf, Mekanik ve Termal Özellikler, Pomza, Termoplastik Poliester Elastomer.

ENHANCEMENT OF THE PROPERTIES OF THERMOPLASTIC POLYESTER ELASTOMER WITH DIFFERENT FIBER SPECIES AND PUMICE ADDITION

ABSTRACT

Thermoplastic polyester elastomers combine of high-performance elastomers and flexible thermoplastics. In addition, TPEs can be enriched with particles and fibers. Basalt, carbon and glass fiber are some of these materials. Basalt fiber is produced from volcanic rocks. It has properties such as fire resistance. Carbon fibers are preferred because of their good mechanical properties. Glass fibers are the common of reinforcing fibers which are low cost. Pumice stone is a natural lightweight aggregate known for its porous structure. Pumice has many features such as thermal insulation. Coupling agents can be used to improve the reinforcing properties of pumice and fibers. Silanes, which are commonly used as coupling agents, improve the interfacial bond between filler and matrix and help to improve properties. In this study, aimed to improve the mechanical and thermal properties of TPE in the presence of basalt, carbon and glass fiber and silanized or non-silanated pumice. Composites are produced by determining various loading rates. The distributions determined are; basalt, carbon, glass fiber was kept constant at 10% by weight, while the loading level of silanized and non-silanized pumice was kept constant at 1% by weight. The materials are blended in the extruder and molded with an injection machine to produce composites. The efficiency of the silane treatment was evaluated on pumice by FTIR. Tensile and bending test were performed. After the fracture surface of the composites was examined. DSC and TGA were conducted to determine the thermal properties. Wear test and DMA were applied to investigate the tribological and thermomechanical properties.

Keywords: Coupling Agent, Fiber, Mechanical and Thermal Properties, Pumice, Thermoplastic Polyester Elastomer.

GİRİŞ

Günümüzde polimer kullanımı azımsanmayacak şekilde artmaktadır. Tasarımcıların ve mühendislerin bu plastiklerin kullanımıyla ilgili karar almaları önemli ve zordur. Polimer kullanımı için bazı ekonomik ve teknik bilgiler gereklidir. Bunlara örnek verecek olursak tasarlanacak cihazın işlevleri, işleme olanakları, çevresel kısıtlamalar, rakip malzemelerin özellikleri, maliyet, dayanım gibi bilgileri işleyip en doğru kararı almaları gerekmektedir. Polimerler tek başına bu özelliklerin bir kısmının gerekliliklerini sağladığı gibi bir kısmını sağlayamamaktadır. Polimer malzemeleri çeşitli elyaf ve partikül takviyeleriyle hedeflenen değerlere çıkarmak için kompozit yapılar oluşturulmuştur. Bu kompozit yapılar ile hedeflenen özelliklere ulaşmak istenmektedir.

Çalışmanın 1. bölümünde, kompozitler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte bu bölümde, kullanılan matris malzemeleri ve elyaf çeşitleri, üretim yöntemleri, kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi için analizler gösterilmiştir. Çalışmanın 2. bölümünde, literatür taraması yapılmıştır. Çalışmanın 3. bölümü, yapılan araştırmada kullanılan malzemeler, üretim koşulları, uygulanan testler yer almaktadır. Çalışmanın 4. bölümünde, üretilen kompozitlerin test bulgularına yer verilmiştir. Bu bölüm, termoplastik poliestere elastomerin (TPE) matrisli kompozite yapılan analizlere göre ayrılmıştır. Çalışmanın 5. bölümünde ise tez çalışmasına ait sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozitlerin tarihsel örnekleri literatürde bol miktarda bulunmaktadır. Önemli örnekler arasında bambu sürgünleri, Mısırlılar tarafından yapıştırılmış lamine ahşap (1500 M.Ö.) ve dövme kılıçlarda lamine metaller (A.D. 1800) bulunan evlerde takviye edici çamur duvarlarının kullanılması olarak gösterilebilir. 20. yüzyılda, cam elyaflarının reçineleri takviye ettiği 1930'larda modern kompozitler kullanılmıştır. Tekneler ve uçaklar, genellikle cam kompozitlerden yapılmıştır. 1970'lerden bu yana, karbon, bor ve aramidler gibi yeni liflerin ve metal ve seramikten yapılmış matrislere sahip yeni kompozit sistemlerin geliştirilmesi nedeniyle kompozitlerin uygulaması büyük ölçüde artmıştır(Autar, 2016).

Kompozit, makroskopik seviyede birleştirilen ve birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla kombine bileşenden oluşan yapısal bir malzemedir. Kompozitler genel olarak 3 bileşenden oluşur, bunlar; takviye fazı, içine gömülü olan bileşen matris ve matris ve takviye fazının arasında kalan arayüzey fazı olarak adlandırılır. Takviye fazı malzemesi, elyaflar, partiküller ya da whisker biçiminde olabilir. Matris faz malzemeleri genellikle sürekli dir. Arayüzey ise matris ile takviye fazının bağ yapmasını sağlar. Kompozit sistemlere örnek olarak çelikle güçlendirilmiş beton ve grafit fiberlerle güçlendirilmiş epoksi vb. gibi örnekler verilebilir(Autar, 2016).

1.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozitlerin sınıflandırması takviye fazına ve matris fazına göre olmak üzere 2 farklı şekilde sınıflandırılabilirler.

Takviye fazına göre;

1. Elyaf takviyeli kompozitler

1.1. Tek katmanlı kompozitler

1.1.1 Sürekli elyaf takviyeli kompozitler

- a. Tek yönlü takviyeli kompozitler
- b. Örülmüş takviyeli kompozitler
- 1.1.2 Süreksiz-kısa elyaf takviyeli kompozitler
 - a. Rastgele dağılımlı kompozitler
 - b. Yönlenmiş kompozitler
- 1.2. Çok katmanlı kompozitler
 - a. Tabakalı kompozitler
 - b. Tabakalı hibrit kompozitler
- 2. Partikül takviyeli kompozitler
 - a. Rastgele dağılımlı kompozitler
 - b. Yönlenmiş partikül dağılımlı kompozitler
- 3. Hibrit kompozitler

Matris fazına göre;

- 1. Metal matrisli kompozitler
- 2. Karbon-Karbon matrisli kompozitler
- 3. Seramik matrisli kompozitler
- 4. Polimer matrisli kompozitler(Matthews ve Rawlings, 1999)

Metal veya seramik elyaflarla takviyelendirilmiş metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklık dayanımı sağlar. Bakır bazlı alaşımlar, gemiler için yüksek mukavemetli pervaneler üreten SiC ile dayanım kazandırılmıştır. Alüminyum, metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Al_2O_3 elyafları bazı dizel motorların pistonlarını güçlendirir; SiC, takviye ve füze kanatçıkları dahil olmak üzere havacılık uygulamalarında kullanılır. Polimer elyaflar, düşük erime veya bozunma sıcaklıklarından ötürü, normal olarak metalik bir matris içinde kullanılmamaktadır. Bununla birlikte, polimerler, sıcak ekstrüzyon alüminyum tozu ve yüksek erime sıcaklığına sahip sıvı-kristal polimerler ile üretilmektedir(Askeland ve diğ., 2010).

Karbon-karbon kompozitler havacılık ve uzay uygulamalarında olağanüstü sıcaklık dayanımı için kullanılır. Karbon-karbon kompozitler 3000 °C'ye kadar sıcaklıklarda çalışabilir ve aslında yüksek sıcaklıklarda düşük sıcaklıklardan daha yüksek dayanıma sahiptir. Karbon-karbon kompozitler, uzay mekiği ve yarış arabaları ve

ticari jet uçaklarında fren diskleri ve yüksek performanslı havacılık araçlarında kullanılır(Askeland ve diğ., 2010).

Seramik kompozitler, geleneksel seramiklere kıyasla daha iyi mukavemet ve kırılma tokluğu sağlar. Elyaf takviyeleri, seramik matrisin tokluğunu çeşitli şekillerde geliştirir. İlk olarak, matriste hareket eden bir çatlak bir elyaf ile karşılaşır; eğer matris ve elyaf arasındaki bağ zayıfsa, çatlak kırılma işlemine devam etmek için elyafın etrafında yayılmaya zorlanır. Ek olarak, zayıf bağlanma elyaf matristen çekilmeye başlamasını sağlar, böylece kırılma tokluğunu artırır. Polimer ve metal matrisli kompozitlerin aksine, iyi yapışma yerine zayıf yapışma gereklidir(Askeland ve diğ., 2010).

1.3. Polimer Matrisli Kompozitler

Termoplastikler, kimyasal olarak bağımsız makromoleküllerle en basit moleküler yapıya sahiptir. Birden fazla ısıtma ve soğutma döngüsü, hasar vermeden tekrarlanabilir ve yeniden işleme ve geri dönüşüme izin verir. Genellikle termal veya kimyasal kararlılık, ultraviyole direnci vb. gibi özellikleri geliştirmek için termoplastiklere bazı katkı maddeleri veya dolgu maddeleri eklenir(Biron, 2013).

Kompozitler kısa, uzun veya sürekli elyaf kullanılarak elde edilir. Termoplastik tüketim, toplam plastik tüketiminin kabaca %80'i veya daha fazlasıdır. Uyumlu termoplastik kompozitler, uygulamaların kusurlarını maskeleyerek birlikte her bir polimerin çekici özelliklerinden faydalanmasını sağlar. Bazı termoplastikler çapraz bağlanabilir ve endüstriyel olarak termoplastik ve termoset olmak üzere iki şekilde kullanılır. Avantajları; çapraz bağlantının kimyasal reaksiyonu olmadığından işlem döngüleri çok kısadır, sadece fiziksel bir dönüşüm olduğu için işlemin izlenmesi daha kolaydır, işlemden önce doğru şekilde kurutulursa gazları veya su buharını serbest bırakmazlar. Dezavantajları ise; sıcaklık yükseldiğinde, makromoleküller arasında kimyasal bağların bulunmaması nedeniyle sürünme ve gevşeme davranışları termosetler kadar iyi değildir(Biron, 2013).

Termoplastik elastomerler, termoplastikler ve kauçuğun kopolimerleri veya bileşikleridir. Yumuşak ve sert segmentlere sahip makromoleküllerin yapısından, ikincisi fiziksel bir kafesin düğümlerini oluşturmak için bir araya gelir veya

vulkanize edilmiş ya da edilmemiş yumuşak elastomerin dağılmış bir fazından, sert bir termoplastik maddenin sürekli fazında mikroskopik yapılar oluşturur. Bu yapı termoplastik tekniklere göre işlemeye izin verir. Kauçuk esneklik sağlar. Termoplastik elastomerler toplam plastik tüketiminin yaklaşık %1'ini oluşturur(Biron, 2013).

1.4. Kompozit Malzemelerde Takviyenin Fonksiyonelleştirilmesi

Kompozitler genellikle belirli özellikler sağlamak veya maliyetleri azaltmak için dolgu maddeleri veya takviyeler içerir. Bu dolguların veya takviyelerin çoğu polimer matrisi ile uyumsuzdur. Bu uyumsuzluk, işlemin yanı sıra performans sorunlarıyla da sonuçlanır. Dolgular/takviyeler daha yüksek seviyelerde kullanıldığında problemler daha da şiddetlenir. Dolgu maddelerinin/takviye malzemelerinin, uyumsuzluk sorununun üstesinden gelmek için yüzeyi modifiye edilmesi gerekmektedir. Yüzey modifikasyonu, kaliteli dolgu maddeleri/takviye malzemelerinin üretimi için önemli bir adımdır. Temel olarak normalde iki tip yüzey modifikasyonu kullanılır(URL-1).

İlk modifikasyon dolgu ve polimer arasında fiziksel bağ sağlar. Normalde bu tip fiziksel yağ asitlerinde kullanılır. Kalsiyum karbonat, özellikle polivinil klorür'de kullanılan en büyük mineral dolgu maddesidir, dolgu ürünüün üretiminde kullanılan en büyük termoplastiklerdir. Fiziksel yüzey modifikasyonu daha az maliyetlidir. Bununla birlikte, bu tip fiziksel yüzey modifikasyonu killer ve mika için uygun değildir(URL-1).

Kimyasal yüzey modifikasyonunu sağlayan bağlayıcı maddeler; silan içeren özel kimyasallar kullanılarak elde edilir. Dolgu maddeleri ile reaksiyona giren alkoksi grupları (X) içerir. Ayrıca kimyasal reaksiyon ile polimer matrise bağlanmaya izin veren bir fonksiyonel grup (Y) vardır. Y bileşeni, farklı polimer matrise bağlanma sağlamak için farklı fonksiyonel gruplar içerir. Silanlar çok uzun süredir kullanılmaktadır ve en büyük bağlayıcı ajanlardır polivinil klorür gibi polar polimerlerin yanı sıra termosetler ve elastomerler için çok iyi performans gösterdikleri bulunmuştur, dispersiyonu iyileştirmek için kullanılırlar(URL-1).

1.5. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit parçaları üretmek için çeşitli işleme yöntemleri mevcuttur. Ürünün kalitesine, özelliğine, miktarına ve maliyetine bağlı olarak uygun bir işleme yöntemi seçilebilir. Farklı işleme yöntemlerine kısa bir genel bakış aşağıdaki gibidir(Balasubramanian, 2014).

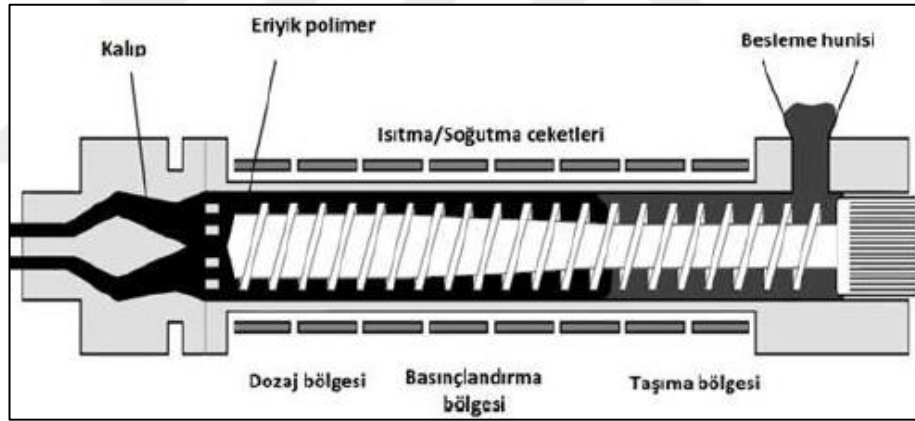
El yatırma (temaslı kalıplama) basit ve uygun maliyetli bir işlemdir. Bu işlem genellikle küçük miktarlarda büyük yapılar inşa etmek için kullanılır. Genellikle doğranmış tel mat ve dokuma fitiller şeklindeki takviyeler kullanılır. Püskürtme, el yerleşiminden daha uygun maliyetli bir işlemdir, ancak rastgele yönlendirilmiş doğranmış liflerin varlığı nedeniyle mekanik özellikler çok daha düşüktür. Bu işlemde, sürekli cam elyaf fitil, elyafları kısa uzunluklara kesen ve kalıp üzerine püskürtülen reçine ile karıştıran özel bir tabancaya beslenir. Reçine transfer kalıplama (RTM) yarı otomatik, kapalı kalıplama işlemidir. Gerekli miktarda elyaf takviyesi kalıp boşluğuna yerleştirilir ve kapalı kalıbı doldurmak için basınç altında düşük viskoziteli bir reçine enjekte edilir. Bu kapalı bir kalıp işlemi olduğundan, iyi boyut toleranslarına sahip parçalar üretmek mümkündür. Basınçla kalıplama, kalıplama bileşikleri kullanan uyumlu bir kalıp işlemidir. Kalıplama bileşikleri kısa elyaflar, reçine ve diğer bileşenlerin bir karışımıdır. İki kalıp yarısı arasına önceden belirlenmiş bir miktarda kalıplama bileşiği yerleştirilir ve daha sonra ısı ve basınç uygulanır. Ekstrüder ve enjeksiyon kalıplama alt başlıkta daha detaylı açıklanmıştır(Balasubramanian, 2014).

1.5.1. Ekstrüder işlemi

Ekstrüder işlemi Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Polimerik malzeme alınır, incelenir ve depolanır. Ekstrüder önce polimer, istenen ürün özellik profilini üretmek için katkı maddeleri (ısı stabilizatörleri, oksidatif stabilite, ultraviyole stabilitesi, vb.), renk pigmentleri veya konsantreleri, alev geciktiriciler, dolgu maddeleri, yağlayıcılar, takviyeler vb., reçine sistemleri, neme bağlı polimer bozulmasını ortadan kaldırmak için ekstrüderden önce kurutulmalıdır. Normalde kurutulması gerekmeyen diğer reçinelerin, soğuk bir depoda saklanmaları ve ılık bir ortama getirilmeleri durumunda kurutulmaları gerekebilir, bu da pelet, pul veya tozun yüzeyinde nem yoğunlaşmasına neden olur. Polimer veya harman uygun şekilde kurutulduktan ve

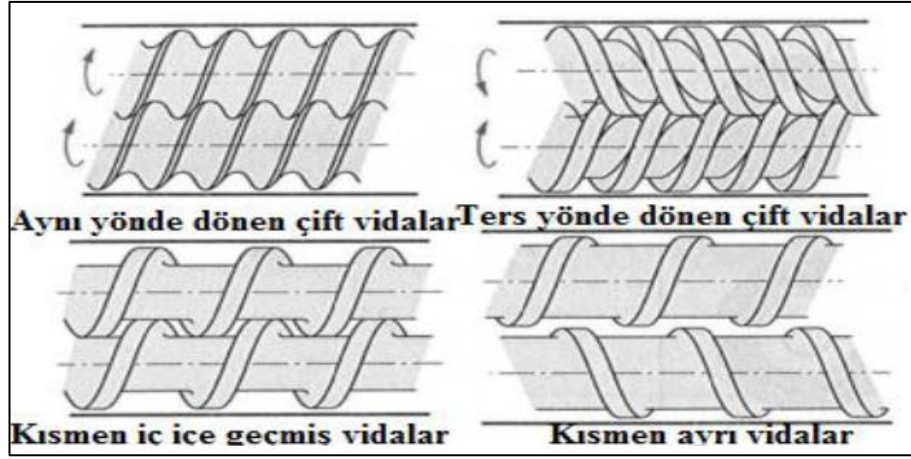
bileşenler karıştırıldıktan sonra, formülasyon ekstrüdere beslenir, burada eritilir, karıştırılır(Wagner ve diğ., 2014).

Ekstrüderdeki polimer davranışı 5 bölümde ele alınmaktadır: Besleme, Erime veya Plastikleştirme, Eriyik taşıma, Karıştırma, Gaz alma. Besleme bölgesinde, erimemiş polimer besleme hunisinden besleme boğazı ve besleme bölümünden ekstrüder taşıma bölgesine akar(Şekil 1.1.). Taşıma bölgesinde (genellikle besleme bölgesi olarak adlandırılır), formülasyon geçiş bölgesine iletilirken sıkıştırılır. Erime veya plastikleştirme, yarı kristal polimerler için polimeri bir katıdan bir eriyiğe dönüştürür veya amorf polimerler ile kabul edilebilir bir işleme viskozitesine yumuşatır. Plastikleştirmeden sonra eriyik, ölçüm bölümünden geçirilir ve kalıba pompalanır. İki aşamalı bir ekstrüderde, eriyik, nem, uçucu maddeler veya çözücülerin çıkarıldığı bir buharlaşma giderme veya sıkıştırma bölgesi içinden geçebilir(Wagner ve diğ., 2014).



Şekil 1.1. Ekstrüder cihazının genel gösterimi (Kızıl, 2019).

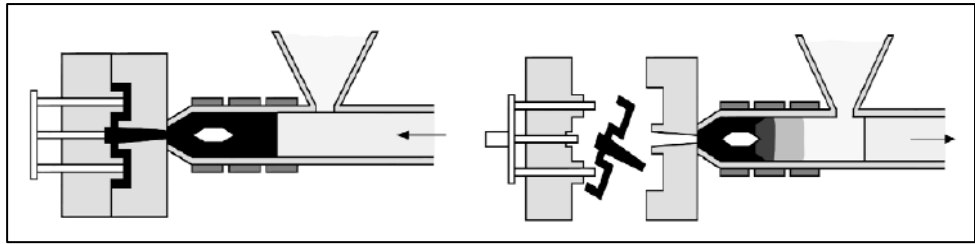
Tüm polimerleri işlemek için tasarlanmış genel amaçlı bir vida mevcut değildir. Belirli bir vida tasarımı, çoğu polimere sahip bir ürün üretebilir; bununla birlikte, işlem, sabit bir eriyik sıcaklığı ve yüksek verim oranlarında basınç ile maksimum verim oranı için optimize edilmemiştir. Ekstrüderde temel olarak tek vidalı ve çift vidalı olmak üzere 2 tip vida bulunur. Çift vidalı ekstrüderler(Şekil 1.2)'de görüldüğü gibi yönlerine göre sınıflandırılırlar. İç içe geçen ve kısmen ayrı olarak da çalışabilirler(Wagner ve diğ., 2014;Kızıl, 2019).



Şekil 1.2. Çift vidalı ekstrüderlerin sınıflandırılması (Kızıl, 2019).

1.5.2. Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyon kalıplama makinelerinin başlangıçtaki büyük maliyetine rağmen kalıp başına maliyet ölçekle artar. Enjeksiyon kalıplama prensibinde polimer malzeme eriyene kadar ısıtılır. Daha sonra üretilecek ürünün şeklini tanımlayan kapalı bir kalıba zorlanır. Burada malzeme bir katı haline dönene kadar soğutulur, daha sonra kalıp açılır ve çıkarılır. Enjeksiyon kalıplamanın(Şekil 1.3.) temel mekanizmaları ısı transferi ve basınç akışıdır. Temel ekipman, bazen bir pres olarak bilinen bir enjeksiyon kalıplama makinesi ve kalıptır(Drobny, 2014).



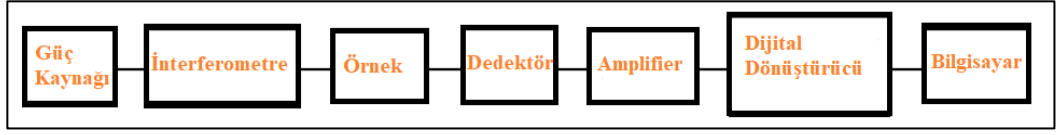
Şekil 1.3. Enjeksiyonla kalıplama cihazı(Kızıl, 2019).

1.6. Kompozitlerin Karakterizasyonu

1.6.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FTIR)

Kızılötesi spektroskopisi, organik veya inorganik bileşiklerin karakterize olmasını sağlayan bir cihazdır. Kızılötesi spektrumu, atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon piklerini oluşturmaktadır. FTIR'ın çalışma prensibini kısaca açıklanacak olursa;(Şekil 1.4.) güç kaynağından oluşturulan ışın interferometre ile örnek üzerine verilir. Dedektör ile gelen sinyaller

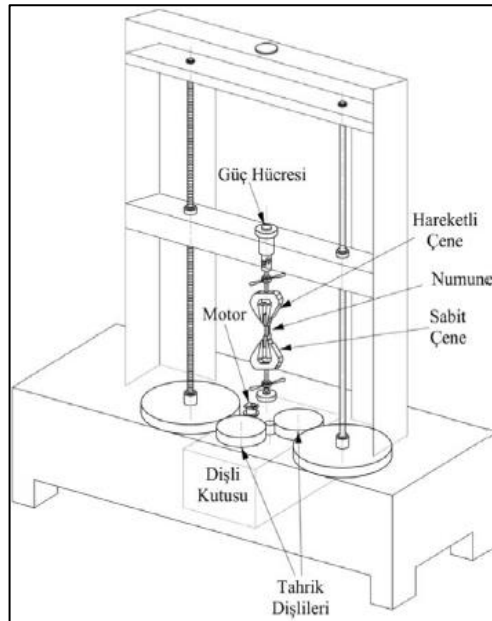
okunur ve bir amplifierde sinyaller çoğaltıldıktan sonra dijital dönüştürücüde bilgisayarın algılayacağı biçime getirilir(Kılıç ve diğ., 2010; Kodal, 2014).



Şekil 1.4. FTIR çalışma prensibi şeması (Kodal, 2014).

1.6.2. Çekme testi

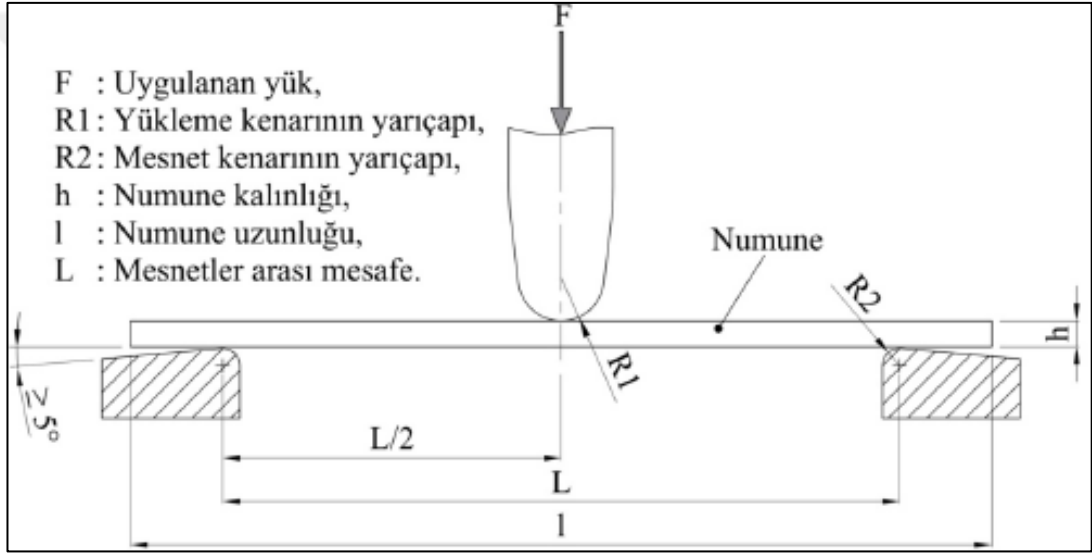
Mühendislik uygulamalarında malzeme seçerken firmalar ürün kalitesinin bir ölçütü olan çekme testinin sonuçları dikkate alınır. Mekanik özellikleri belirlemek için standart test örneği, cihaza bağlanarak tek eksen doğrultusunda hasara uğrattılır. Malzeme kopana dek uzama ve kuvvet değeri belirlenir. Bu veriler dönüştürülerek dayanım/mukavemet değerleri hesaplanır. Ayrıca tokluk değeri malzemenin kalitesi açısından önemlidir. Buna ek olarak çekme testinden malzemenin elastiklik modülü ve Poisson oranı da hesaplanabilir. Çekme test cihazının önemli kısımları Şekil 1.5.'te verilmiştir. Çekme testi, numunenin bağlandığı biri sabit diğeri sabit olana göre hareket eden çeneler ve bu çeneleri güç sağlayan mekanizmalardan oluşur. Çekme deneyi sabit deformasyon hızında ve sabit kuvvette yapılabilir(Yılmaz, 2015).



Şekil 1.5. Çekme cihazının şematik gösterimi(Yılmaz, 2015).

1.6.3. Üç nokta eğme testi

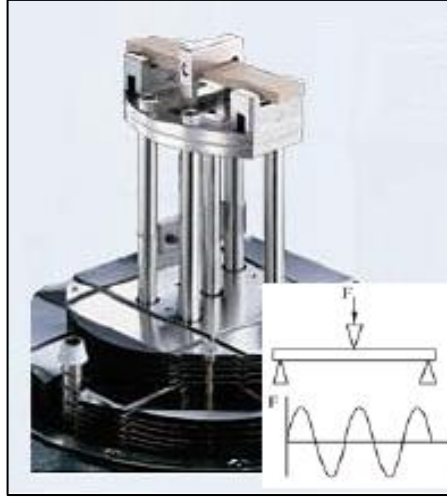
Çekme ve basma testlerinden kesitte oluşan gerilme dağılımı uniformdur ancak eğme testinde gerilmenin dağılımı kesiti boyunca uniform değildir. Numune kesitinde oluşan gerilmenin kaynağı eğilme momenti olduğundan gerilmeyi hesaplamak için eğilme momenti ve kesit mukavemet momentlerinden yararlanılır. Eğme testi, iki mesnete serbest olarak yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli numunenin ortasından uygulanan kuvvetin sonucunda oluşan yer değiştirmesidir(Şekil 1.6.). Kullanıldığı malzemelere, termoplastik, kaplanmış plastikler örnek verilebilir (Yılmaz, 2015).



Şekil 1.6. Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi(Yılmaz, 2015).

1.6.4. Dinamik mekanik analiz

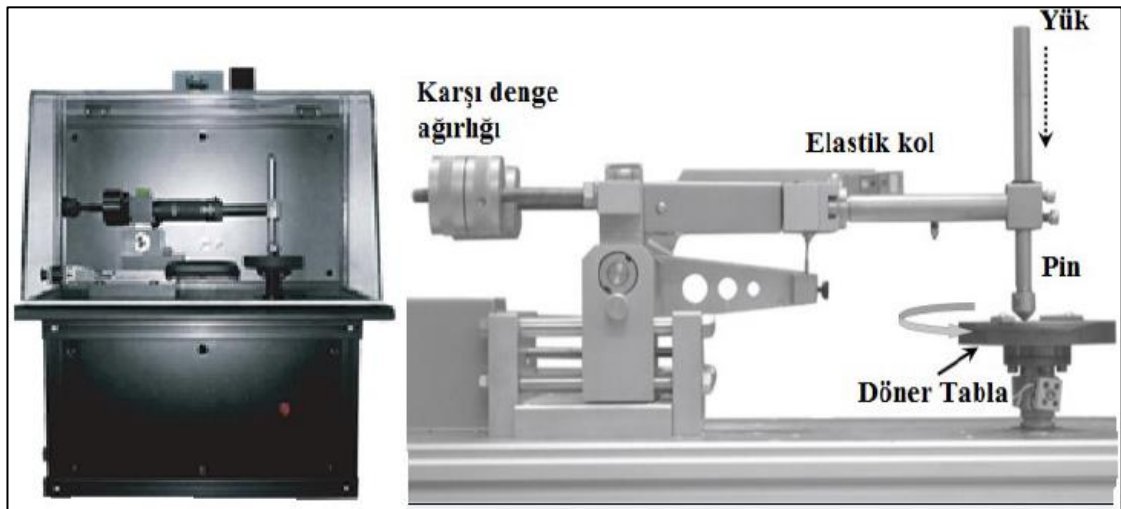
Malzemenin viskoelastikliğini belirlemekte kullanılan analiz çeşitidir. Sinüzoidal kuvvetin uygulanması ve alınan yanıtın ölçülmesi prensibi ile çalışır. Yük ile şekil değişimi arasındaki oluşan faz farkı viskoelastikliği ölçer. Tamamen elastik malzeme arasında faz farkı oluşmaz. Faz farkından malzemenin kayıp modülü ve depo modülü hesaplanabilir. Bu özellikler çoğunlukla malzemenin ısı şeklinde enerji kaybetmesini ve deformasyon sonucu eski halini alma yeteneği şeklinde tanımlanır. Şekil 1.7.'de dinamik mekanik analizinin resmi verilmiştir(Yılmaz, 2015;Yılmaz, 2006).



Şekil 1.7. Dinamik mekanik analiz cihazı(Yılmaz, 2006).

1.6.5. Aşınma testi

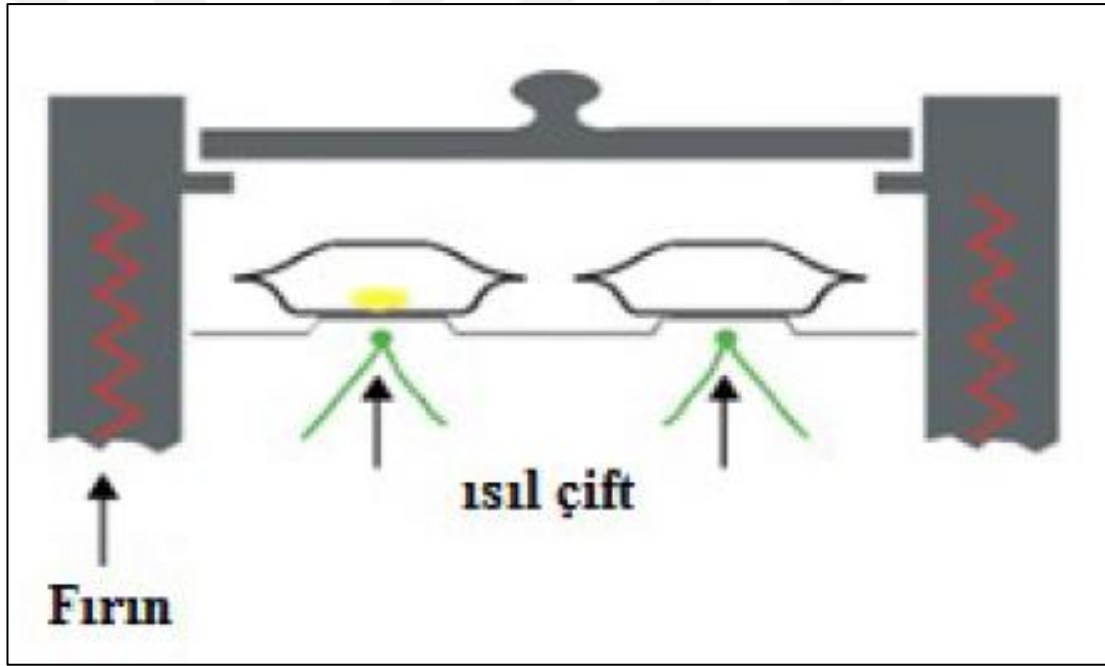
Kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri Şekil 1.8.'de gösterilen “Pin on Disc” tipi aşınma test cihazıyla hesaplanmaktadır. Cihazda bağlanan numuneye 90 derece gelen kuvvet kolu bulunur. Kuvvet kolunun numune ile temas edeceği bölgeye seramik bir top yerleştirilmiştir. Numunenin yerleştirileceği bir tabla ve tablaya güç sağlayan bir motor bulunmaktadır. Kuvvet koluna belirlenen yüklerde yük konularak ve tablanın dönmesiyle aşındırıcı top numuneyi aşındırır. Kuvvet kolunda bulunan yük hücresi yardımıyla malzemede oluşan sürtünme kuvveti hesaplanır. Pin-on-disk adhezif aşınma mekanizması görülür. Testte kayma hızı, kayma mesafesi, sürtünme yarıçapı ve yüklenecek kuvvet önceden belirlenebilir(Kızıl, 2019; Karataş, 2019).



Şekil 1.8. Pin on disk aşınma test cihazı (Karataş, 2019).

1.6.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

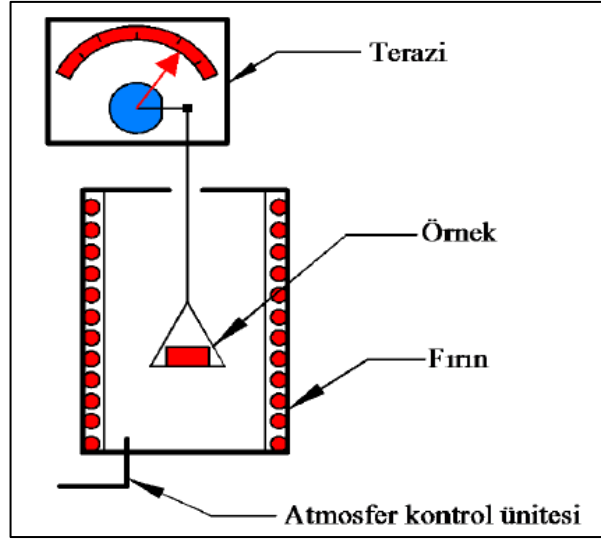
Analiz için iki adet hazneler, sonuçları kayıt alacak cihaz, fırın ve gaz denetleyicisi gereklidir. Haznelerden biri referans olarak kullanılır. Diğer hazne ise numunenin koyulduğu haznedir. Fırın belli bir sıcaklığa çıkarılana kadar ısı verilir. Daha sonrasında bir sıcaklık programı başlar. Şekil 1.9.'da gösterilen cihaz ısıtma esnasında oluşan sıcaklık farkını denge halini almaya çalışır ve birim zamanda ne kadar enerji harcandığını hesaplar. Ölçümler ekzotermik veya endotermik süreçleri gösteren fiziksel ve kimyasal değişiklikler hakkında bilgi sağlar. Camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, kristallenme sıcaklığı, yüzde kristallenme miktarı gibi özellikler elde edilir(Kızııl, 2019; Karataş, 2019).



Şekil 1.9. DSC cihazının gösterimi (Karataş, 2019).

1.6.7. Termogravimetrik analiz

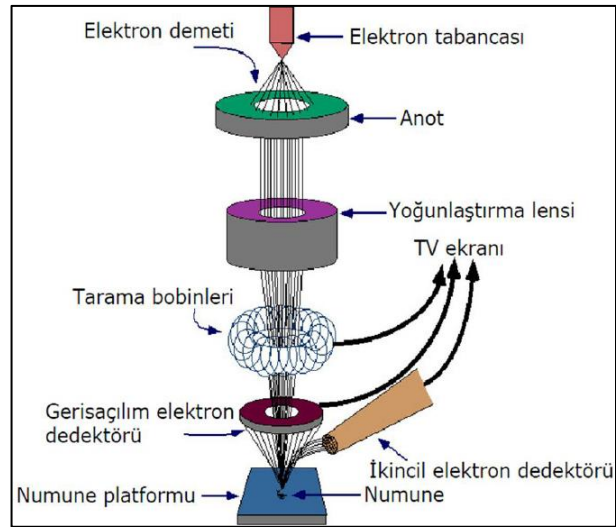
Seçilen atmosfer şartlarında, numuneye artan ısı ile kütlesinde meydana gelen değişiminin sıcaklık ve zaman bağıntılarıyla analiz edildiği yöntemidir. Analiz sonucunda ısıl bozunma eğrisi elde edilir. Numunedeki, bozunma, buharlaşma, süblimleşme gibi fiziksel değişimleri gösterir. Cihaz hassas terazi, fırın, atmosfer kontrol ünitesi ve bilgisayar sisteminden oluşur(Karlı,2015).



Şekil 1.10. Termogravimetrik analiz şematik gösterimi (Karşlı,2015).

1.6.8. Taramalı elektron mikroskobu

Numunelerin yapısını üç boyutlu olarak incelenmesini sağlayan bir mikroskoptur. Yüksek voltaj elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektronlar numuneden geri saçılarak algılayıcılarda toplanır. Sinyal aktarma cihazları ile bilgisayarda görüntü elde edilir. Taramalı elektron mikroskobunda numuneler iletken ve yalıtkan olabilir. Yalıtkan numunelerden görüntü elde etmek için yüzeyinin iletken bir malzeme ile kaplanması gerekir. Taramalı elektron mikroskobun şematik gösterimi Şekil 1.11’de verilmiştir(Karşlı,2015).



Şekil 1.11. Taramalı elektron mikroskobun şematik gösterimi (Karşlı,2015).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tez konusunda incelenen malzemelerin literatürdeki yeri ve önemini içeren araştırmalar bu bölümde gösterilmiştir.

Jing Huang ve diğerleri, TPEE matrisine spodumen cüruf takviyesi eklenerek termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. TPEE matrisine %5 cüruf, %5 yüzeyi işlevselleştirilmiş(PEG) cüruf, %20 ve %30 cüruf oranlarında takviyelendirilmiştir. %5 takviyeli yüzeyi işlevselleştirilmiş spodumen cüruf, %5 takviyeli cürufa göre termal kararlılığının daha iyi olduğunu belirtmiştir. Çekme testi sonucunda cüruf miktarı arttıkça modül ve akma dayanımı artmıştır. Yüzeyi işlevselleştirilmiş %5 katkı cüruf, %20 katkı cürufle aynı modül ve akma dayanımı göstermiştir. Ayrıca uzama oranlarına bakılacak olursa yüzey işlevselleştirilmiş cüruf katkı TPEE, saf TPEE'ye yaklaşmıştır. Ayrıca kristallenme sıcaklıkları saf TPEE'ye göre daha fazla olduğunu belirtmiştir. Spodumen cüruf, TPEE üzerinde heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturmuştur ve TPEE'nin sert fazı ile uyumluluğunu artmıştır bilya görevi görmüştür. Yumuşak faz ise destekleyici yani rulman görevinde bulunarak zincir bobinlerin deformasyonunu desteklemiştir. Yüzey fonksiyonelleştirilmesinde spodümen cüruf yumuşak faz ile uyumluluk oluşturarak TPEE'nin zincir hareketlerini kısıtlamıştır. Bu duruma seyreltici etki olarak ifade etmişlerdir ve kristallenme derecesini azaltmıştır(Jing ve diğ., 2017).

Bismarck ve diğerleri polikarbonat, düşük yoğunluklu polietilen, polistiren, polipropilen ve Hytrel'i değişen süre boyunca atmosferik basınçlı oksijen plazma işlemine tabi tutulmuştur. Oluşturulan numulere temas açısı ölçümü, aşınma direnci ve çizilme direnç testleri uygulanmıştır. O₂ plazma işleminin, işlenmemiş örneklerle kıyasla temas açısını düşürdüğü görülmüştür. Oksijenin modifikasyonu çeşitli polimer yüzeylerinde hidrofilik gruplar oluşturmuştur. Sürtünme katsayısı en fazla polikarbonatta görülmüştür. Hytrel'de belli bir değişim gözlenmemiştir. LDPE'nin daha yüksek serbest hacmi sebebiyle zincir hareketliliğini etkiler ve

böylece yüzeyi bombalayan plazma parçacıklarının nüfuz derinliğini etkileyebildiğini belirtmişlerdir(Bismarck ve diğ., 2008).

Manas ve diğerleri TPE'nin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirebilmek için TPE'yi kademeli olarak beta ışımasına tabii tutmuştur. Çapraz bağlanmayı arttırmak için ise çapraz bağlanma ajanı kullanılmıştır. Çapraz bağlanma ajanı kullanılarak daha düşük beta ışımalarında jel içeriğinin arttığını gözlemlemiştir. Çekme testinde çapraz bağlanma ajanının bir etkisinin olmadığını belirtmiştir. Beta ışımasıyla malzemenin bozulduğunu ve maksimum çekme gerilmesinin ve kopmada uzamanın düştüğünü belirtmiştir. Darbe testinde beta ışıması arttıkça sertliğin arttığını ortaya koymuştur. Bu da jel içeriğinin artışıyla ilişkili olduğunu belirtmiştir(Manas ve diğ., 2018).

Sreekanth ve diğerleri TPE'ye mika ve volkanik kül katkısıyla ekstürizyon işlemiyle kompozit üretmiştir. Bu kompozitlerin çekme, eğilme, darbe, dielektrik ve termal özelliklerini incelemiştir. Volkanik kül takviyesi oranı arttıkça TPE'nin çekme dayanımında ve uzamasında düşüş meydana gelmiştir. Mika takviyesiyle de benzer durum gözlemiştir. Eğilme dayanımında mika oranı ve volkanik kül takviyesi oranı arttıkça dayanım iyileşmiştir. Takviye yoğunluğu arttıkça kompozitin tokluğu azaldığı için darbe dayanımında düşüş görülmüştür. Partiküllerin yüzey alanı büyüklüğü sebebiyle dielektrik dayanımın oranı arttıkça belli bir noktaya kadar iyileştiği belirtilmiştir. Takviye oranı artarak homojen kristalin bölgeleri oluşturması termal özelliğini artırmıştır(Sreekanth ve diğ., 2011).

Chen ve diğerleri TPEE'nin tek yönlü cam elyaf takviyeli kompozitlerin eğilmesindeki davranışını araştırmıştır. 3 farklı ticari TPEE'ye 4 nokta eğme testi uygulamıştır. Kompozitteki hasar mekanizmalarının yüzey delemantasyonu, lif kırılması ve fiberlerin eğilmesinden oluştuğunu belirtmiştir(Chen ve diğ., 1994).

Pandey ve diğerleri grafen oksit takviyeli hytrel matrisli kompozitinin mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Grafen oksit oranı arttıkça çekme gerilmesi arttığını belirtmiştir. Bununla birlikte kompozitin takviye oranı artarak termal bozunma sıcaklığı yüzde 4 artış gözlemiştir. Nano takviyeler kompoziti daha kararlı bir yapıya getirmiştir. Takviye oranındaki artış ile birlikte kompozitte heterojen çekirdeklenme bölge oluşturarak kristalinizasyon derecesini arttırmıştır(Pandey ve diğ., 2019).

Nagai ve diğ erleri, TPE'nin hidroliz, termal ve foton şartlandırma durumlarındaki bozunmaları incelemiştir. Foton bozunmasında ve termal yaş landırmada ilk olarak yumuş ak fazın bozunduğ unu belirlemiştir. Hidrolizde ise asidik ve bazik ç özeltilerin bozunmaya ana etken olarak etki etmediğ ini ortaya koymuştur(Nagai ve diğ ., 1999).

Yaxin ve diğ erleri, TPE matrisine 2D GNP ve 3D cüruf partikülleri takviyesi uygulamıştır. Bu takviyeleri ayrı olarak, bağ lama ajanı kullanarak ve basitçe karıştırılarak kompoziti oluşturmıştır. Bağ lanma ajanı ile kullanılan GNP ve cüruf katkılı kompozitte saf TPE'ye göre %40 akma dayanımında artış gözlenmiştir. Ancak tokluk davranış ında GNP katkılı kompozit daha ön plana çı kmıştır(Yaxin ve diğ ., 2018)

Yaxin Qiu ve diğ erleri, TPEE'ye yüzeyi fonksiyonelleştirilmiş ve yalın grafen nano tabaka takviyesi uygulamıştır. Oluşturulan kompozit yapının morfolojisini incelemiştir. Ç ekme testi ve sürünme testi uygulamıştır. Fonksiyonlleştirilmiş grafen takviyesi ile TPE'nin akma, ç ekme ve birim uzama kabiliyetinin arttığ ını bulmuştur. Bu davranış ın sebebini TPE'nin sert faz ile grafen nanotabakanın rulman yapısında bir afinitiye sahip oluğ unu belirtmiştir(Yaxin ve diğ ., 2016).

Arslan ve Doğ an, poli(bütilentereftalat) matrisli bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin arayüzeyine (3-aminopropil) trietoksisilan, (3-Glisidiloksipropil) trimetoksisilan ve (3-trimetoksisilil) propil metakrilat silan bağ lama ajanlarının etkilerini incelemiştir. Kompozitlerin gerilme, eğ ilme, darbe, termomekanik ve morfolojik özellikleri incelemiştir. FTIR analizinde 3 farklı silan ile bazalt elyafın Si-O bağ larının oluşt uğ u vurgusunu yapmıştır. Ç ekme testinde (3-aminopropil) trietoksisilanlı kompozitin safa ve diğ er silanlı kompozitlere göre dayanım ve modülünde daha fazla iyileş me oluğ unu gözlemiştir. (3-Glisidiloksipropil) trimetoksisilanlı kompozitin eğ ilme dayanımı ve modülü daha yüksek olduğ u belirtilmiştir(Arslan ve Doğ an, 2018).

Kurniawan ve diğ erleri; Polilaktik aside silan bağ lama ajanı ile muamele edilmiş bazalt elyaf takviyesi edildiğ inde etkileri analiz etmiştir. Silan bağ lama ajanını su ve metanol ç özücüleri içerisinde 15 ve 60'ar dakikalık karıştırma sürelerine göre arayüzey iyileşt irmesi yapmıştır. Oluşturulan kompozitlere ç ekme testi uyguland ığında 60 dakikalık su-silan ç özeltisi ç ekme dayanımında ve modülünde kayda değ er bir artış elde etmiştir. Kopma uzamasındaki artış metanol-silan

çözeltilisinde olduğunu gözlemiştir. FTIR testinde C-O ve Si-O bağları su-silan çözeltilisinde bulunduğunu belirtmiştir. DSC testinde su-silane 15 dakikada karıştırılan silane çözeltisi ile üretilen kompozit saf göre erime sıcaklığı ve kristalinite derecesinde düşüş olduğu ifade etmiştir(Kurniawan ve diğ., 2013).

Li ve diğerleri poli bütlen süksinat-bazalt fiber kompozitleri, eriyik karıştırma yöntemi ile çift vidalı ekstrüder ve ardından enjeksiyonla kalıplama yoluyla hazırlamıştır. Çekme testi sonucunda %20 bazalt elyafı kompozitin maksimum çekme dayanımı ve Young modülü saf matrise göre daha fazla olduğu bulgusuna ulaşmıştır. Kopma uzamasında bazalt elyaf oranı artarak düşüş gözlemiştir. Darbe deneyinde bazalt elyafın artışı ile birlikte darbe dayanımı iyileştiğini gözlemiştir. Termal bozunma deneyinde bazalt elyaf ile daha kararlı bir yapı oluşturmuştur(Li ve diğ., 2015).

Prajapati ve diğerleri, bazalt elyafın poliamid-6 ile kompozitleri hazırlanmış mekanik ve morfolojik özellikleri değerlendirmiştir. Bazalt elyaf içeriğinin ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 yükünün değiştirilmesi ile hazırlanan ve poliamid-6 ve bazalt fiber içeriğini sabit bağlayıcı ajanın oran olarak artmasıyla oluşturulan kompozitleri incelemiştir. Çekme testinde artan bazalt fiber oranı ile çekme dayanımında bir iyileşme olmadığını, bağlayıcı ajanın oranı artması ile çekme dayanımında bir iyileşmenin olduğunu belirtmiştir. Eğme dayanımı ve eğme modülünü incelediklerinde; bazalt elyaf oranı arttıkça dayanımda artış bağlayıcı oranın artışı ile de iyileşme olduğunu vurgulamıştır. Darbe testinde %10 bazalt elyaf içeren kompozite kadar bir artış daha sonra düşüş gözlemiştir. Sertlik testinde bazalt elyaf takviyesiyle Rockwell değerleri arttığı görülmüştür(Prajapati ve diğ., 2017).

Sang ve diğerleri polipropilen, bazalt elyaf, polipropilen-greft-maleik anhidrit ve üç tür elastomerin (etilen-propilen-dien monomeri) (EPDM), polietilen-okten (POE) ve etilen-vinil-asetatın(EVA) takviyesiyle kristalizasyon ve mekanik etkilerini araştırmıştır. Bazalt elyaf oranı arttıkça yalın polipropilende çekme dayanımında ve Young modülünde artış gözlemiştir. Kopma uzamasında ise oranın artmasıyla azalış olduğunu belirtmiştir. Darbe testine saf polipropilene bazalt elyaf takviyesiyle kırılma enerjinin arttığı sonucuna varmıştır(Sang ve diğ., 2018).

Kaynak ve diğerleri sıvı elastomer kullanarak kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin esnekliğini araştırmıştır. Cam elyaf ve epoksinin arayüzeyinin iyileşmesi için silan kaplama ajanını kullanmıştır. Ayrıca kürlleme ajanı ilavesiyle kompozit çeşitlerini oluşturmuştur. Bu kompozitlere 3 nokta eğme testi uygulamıştır. Saf epoksiye cam elyaf ilave edildikçe eğme dayanımında düşüş gözlemiştir. Cam elyafın silanlaması ile birlikte %20 cam elyaflı kompozitte artış olduğunu belirtmişlerdir. %10 silanlanmış cam elyaflı kürlleme ajanı ile oluşturulan kompozitin eğme dayanımının diğer kompozitlere göre yüksek olduğunu belirlemiştir. Esneklik oranları karşılaştırıldığında %30 silanlanmış cam elyaflı kürlleme ajanı ile oluşturulan kompozitin yüksek olduğunu belirtmiştir(Kaynak ve diğ., 2003).

Varsavas ve Kaynak polilaktik aside değişen oranda E-cam elyaf ile takviye edilerek ve en iyi çıkan kompozitlere termoplastik poliüretan elastomer ile harmanlanarak mekanik özelliklerini incelemiştir. Çekme, eğme testlerinde dayanım ve çekmede kopma uzamasında en yüksek %15 cam fiber takviyeli kompozitte bulunduğunu belirtmiştir. Çekme ve eğme modülünde %20 cam elyaf takviyeli kompozite bulmuştur. Polilaktik asit termoplastik poliüretan elastomer ile harmanlandığında çekme dayanımı düşmüş, kopma uzaması artmıştır. Cam elyaf takviyesiyle dayanımda artış olduğunu vurgulamıştır(Varsavas ve Kaynak, 2018).

Amico ve diğerleri polyester matrisine cam elyaf, mineral dolgu maddelerinden kalsiyum karbonat, kalıntılar kullanarak kompozit oluşturmuştur. Oluşturulan bu kompozitlere değişen yükler uygulanarak aşınma testi yapmıştır. 1 N yükte %25 cam elyaf %25 kalsiyum karbonatlı kompozitin, 10 N yükte %35 cam elyaf %15 kalsiyum karbonatlı kompozitin ortalama sürtünme katsayısında iyileşme olduğunu vurgulamıştır. Cam elyaflı kalıntılı kompozitlerde ise 1 N yükte %35 cam elyaf %15 kalıntılı kompozitin, sürtünme katsayısında düşüş görmüştür. Aşınma miktarları kıyaslandığında 1 N yükte en fazla %35 cam elyaf %15 kalsiyum karbonatlı kompozit, 10 N yükte ise %25 cam elyaf %25 kalsiyum karbonatlı kompozitin aşındığını belirtmiştir(Amico ve diğ., 2012)

Cerrada ve diğerleri metalosen katalizörü ile sentezlenen etilen-1-okten kopolimerinin ağırlıkça %60'a kadar değişen kısa cam elyaf takviyesiyle çeşitli kompozitler hazırlanmıştır. DSC testinde erime pikinin cam elyaf oranı arttıkça

düşüğünü belirtmiştir. Çekme testinde cam elyaf takviyesiyle birlikte kopma uzamasında düşüş, dayanımda artış gözlemiştir. Young modülünde de artma olduğunu belirtmiştir. Kompozitlerin mikro sertliğine bakıldığında cam elyaf ile birlikte sertlikte iyileşme olduğunu gözlemiştir. DMA testinde elyaf oranı ile depo modülünün iyileştiğini belirtmiştir(Cerrada ve diğ., 2001)

Zainal ve Ismail, polipropilen ve atık lastik tozuna değişen oranlarda cam elyaf takviyesi ve bu kompozitlere arayüzeyi iyileştirme için silan, vulkanizasyonu geliştirmek için dinamik vulkanizasyon kullanarak mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Kompozitlerde cam elyaf takviyesi arttıkça çekme dayanımında düşüş gözlemiştir. Silan ve vulkanizasyon ile katkısız kompozite göre bir miktar artış gözlenirse de cam elyaf oranıyla düşüş olduğunu belirtmiştir. Young modülünde cam elyaf oranı ve katkıyla birlikte modülde artış olduğu bulgusunu ortaya koymuştur. Kopma uzamasında cam elyaf oranı artışıyla azalış meydana gelmiştir, silan ve vulkanizasyon ile bu azalma daha fazla olduğunu belirtmiştir. SEM fotoğraflarıyla bu bulguları kanıtlamıştır. TGA testinde %20 cam fiber ve silan ile vulkanizasyon katkılarıyla daha kararlı bir yapıda olduğunu belirtmiştir (Zainal ve Ismail,2011).

Rezaei ve diğerleri eriyik harmanlama ve sıcak presleme teknikleri ile değişen boylarda karbon elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerini hazırlanmıştır. Bu kompozitlerin termomekanik özelliklerini incelemiştir. TGA testinde karbon elyaf boyunun artmasıyla termal kararlılığın arttığını gözlemiştir. DMA testinde 10 mm uzunluğundaki karbon elyaf takviyeli kompozitin depo modülü diğer kompozitlere göre daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. Düşük boylardaki karbon elyafli kompozitlerde DMA testinde belirgin bir farkın olmadığını gözlemiştir(Rezaei ve diğ., 2009).

Theravalappil ve diğerleri etilen-okten kopolimer (EOC) matrisi ve takviye olarak karbon elyaflar (CF'ler) ve çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWCNT'ler) ile çalışmıştır. Kompozitlerin karbon elyaf oranı artarak DC ve AC iletkenliğinde iyileşme olduğunu gözlemiştir. Çekme testinde çekme dayanımı ve modülünde artış görülmüştür. Kopma uzamasında ise oran arttıkça düşme meydana gelmiştir.

Shore-A sertlik deneyi uygulanmış ve sonucunda karbon elyaf oranı arttıkça değerde artış görülmüştür. TGA deneyinde ise oran arttıkça kompozit yapının daha kararlı bir hal alarak geç bozunmasını sağlamıştır(Theravalappil ve diğ., 2014).

Guo ve diğ.leri TPI matrisli karbon elyaf ve alüminyum oksit partikül takviyeli hibrid kompozitleri araştırmıştır. Karbon fiber (ağırlıkça %7) sabit oranda ve alüminyum oksit partikülleri ağırlıkça %0-2'ye değişen oranlarda kullanılmıştır. Hibrid kompozitlere uygulanan statik çekme, çevrimli çekme ve değişken sıcaklıklarda yapılan çevrimli çekme testinde en iyi %1 alüminyum oksit takviyeli kompozitte görülmüştür. Şekil değiştirme bellek özelliği partikül oranı arttıkça düşmüştür. Bunun sebebi ise çapraz bağ oranı arttıkça daha fazla enerjinin gerekmesi olarak belirtmiştir(Guo ve diğ., 2016).

Anuar ve diğ.leri termoplastik doğal kauçuğun karbon elyaf ve kenaf elyaf bazlı hibridizasyonun, mekanik ve termal özelliklerini araştırmıştır. Oluşturulan kompozit yapılar %100 karbon elyafı ağırlıkça %15 elyaf miktarına gelinceye kadar bir kompozitte eğme dayanımında ve modülünde artış, ağırlıkça %20 karbon elyafı kompozitte eğme dayanımında ve modülünde düşüş gözlemiştir. Darbe testinde %100 karbon elyafı ağırlıkça %30 içeren kompozitin darbe dayanımı saf matrise göre daha fazla olduğunu vurgulamıştır. Yüzey işlemli %100 karbon elyafı kompozitlerde darbe dayanımı yarı yarıya düştüğünü vurgulamıştır. DMA testinde %100 karbon elyafı kompozitin oluşturulan diğ. hibrit kompozitlere göre depo modülünün daha yüksek olduğunu belirlemiştir(Anuar ve diğ., 2008).

Hemanth ve diğ.leri termoplastik kopolyester elastomer (TCE) ve polioksimetilen matrisli kompozitlere %15 sabit oranda polytetrafluroetilen dolgusu ile beraber cam elyaf ve cam elyaf-karbon elyaf ile silisyum karbür ve alüminyum oksit partikülleri takviye edilerek hibrid kompozit oluşturmuştur. Dolgulu TCE'nin cam fiber ile takviyeli kompoziti sertlik, çekme dayanımı, Young modülü, eğme dayanımı, darbe dayanımı dolgulu TCE'ye göre artmıştır. Hibrid kompozitlerin düşüşü arayüzeyde birden çok takviye malzenin kötü etkileşiminden kaynaklandığını belirtmiştir(Hemanth ve diğ., 2014).

Tayfun ve Kanbur, asidik pomza ve bazik pomza, polipropilene (PP) eklenmeden önce silan bağlayıcı kullanılarak kompozit oluşturmuştur. Maleik anhidrit aşılınmış

polipropilen ile kompozitler hazırlamıştır. Su emme testinde asidik, bazik pomzaların ve bu kompozitlerin silanlı çeşitleri su emmesi kapasitesinin safa göre kötüleştiğini bildirmiştir. Su emme testine tabi tutulmuş numulere çekme testi uygulandığında dayanımda düşüş gözlemiştir. Kopma uzmasında safa göre bir artış olduğunu vurgulamıştır. DMA testinde en yüksek depo modül değerini asidik pomzalı kompozitte olduğu belirtmişlerdir. SEM görüntüleriyle bu bulguları desteklemiştir (Tayfun ve Kanbur, 2018).

Sever ve diğerleri, pomzanın polipropilenin özellikleri üzerindeki mekanik, termal, morfolojik, termomekanik davranışları incelenmiştir. FTIR testinde yaklaşık 1000 cm^{-1} 'deki kuvvetli pik pomzanın Si-O titreşiminden kaynaklandığını ve pomza oranı arttıkça bu pikin şiddetinin arttığını bildirmiştir. TGA testinde kompozite pomza ilavesiyle termal kararlılığın arttığını vurgulamıştır. DSC'de pomzanın camsı geçiş sıcaklığının artmasına sebep olan etkisini belirlemiştir. DMA testinde depo modülünde %40 pomza içeren kompozit saf polipropilene göre modülü arttırmış olduğunu gözlemiştir. Çekme ve eğme testlerinde en yüksek dayanım %10 pomza içeren kompozitlerde olduğunu belirtmişlerdir ve bu sonuçları SEM görüntüleriyle desteklemiştir (Sever ve diğ., 2018).

Sahin ve diğerleri pomza ve kalsiyum karbonat dolgulu polifenilen sülfürün özelliklerini incelemiştir. Çekme testinde pomza %1 oranı dayanımında iyileşme olduğunu, %5 ve %10'da ise polimere göre artmasına rağmen %1'in altında kaldığını belirtmiştir. Kopma uzamasında ise pomza oranı artarak uzamada düşüş gözlemiştir. DSC testinin sonuçlarına göre; erime sıcaklığında bir değişiklik olmadığı, %1 pomza oranında camsı geçiş sıcaklığında safa göre az bir artış ve %5 ve %10 pomza oranlarında bir değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır. DMA testinde %1 pomza oranında iyi bir yapışma olduğu belirtmiştir. Sertlik testinde %10 pomza dolgulu matriste gözlenmiştir (Sahin ve diğ., 2016)

Şahin ve diğerleri pomza tozunu değişken (%1-3-5-10) oranlarda dolgulandırılmış polifenilen sülfür kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çekme dayanımı pomza oranı %3'te en yüksek dayanımı göstermiştir. Oran arttıkça çekme dayanımında değişim gözlemiştir. Barcol sertlik testinde ise pomza oranı arttıkça iyileşme belirtilmiştir.

Termal bozunmasında belli bir değişiklik gözlenmemiştir. DSC testinde pomzanın erime sıcaklığına bir etki olmadığı belirtilmiştir(Şahin ve diğ., 2013).

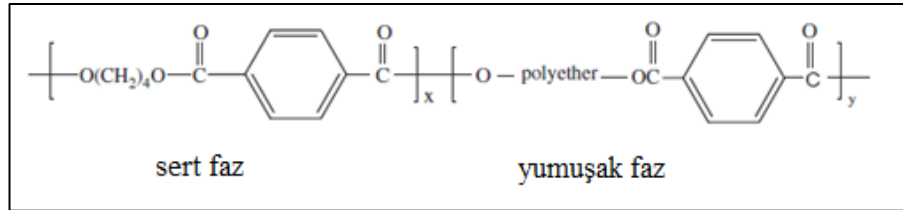


3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1. Termoplastik poliester elastomer

Termoplastik poliester elastomerler kopolesterler olarak da bilinirler, genelleştirilmiş (-A-B-)n ile temsil edilir. Bunlar esas olarak, ester bağlantılarıyla bağlı uzun zincirli veya kısa zincirli kopolieter esterlerdir. Kristalleşme yeteneğine sahip tekrarlayan yüksek erimeli blokları (sert faz) ve nispeten düşük bir cam geçiş sıcaklığına (yumuşak faz) sahip amorf blokları içerirler(Şekil 3.1.). Termoplastik poliester elastomerler 1970'lerin başında DuPont tarafından Hytrel ticari ismi ve Toyobo tarafından Pelprene ticari ismi altında ticarileştirilmiştir. Takip eden on yıl boyunca, diğer birçok ABD üreticisi GAF Corporation (Gaflex), Eastman Chemical Products (Ecdel) ve General Electric Company (Lomod) dahil olmak üzere versiyonlar geliştirilmiştir(Drobny, 2014).



Şekil 3.1. Termoplastik poliester elastomerin yapısı(Drobny, 2014).

Termoplastik poliesterin elastomerin başlıca özellikleri şunlardır:

1. Yüksek birim şekil değiştirme kabiliyetlerine sahiptir. %300 ile %500'e kadar uzayabilir.
2. Sürünmeye karşı dirençlidir, gerilmelerde gevşeme olmadan uzun süre yüksek yüklere dayanırlar.
3. Önemli bir mekanik mukavemet kaybı olmadan tekrarlanan çekme ve basma çevrimlerine maruz kalabilirler.

4. Olağanüstü bir darbe direnci sergiler ancak çok düşük sıcaklıklarda kırılğan darbe hatası gösterebilir.
5. Yüksek sıcaklıklarda, çoğu termoplastikte olduğu gibi bir miktar yumuşama ve özellik kaybı sergiler. 180°C yüksek sıcaklıklara kadar optimum mekanik özelliklerini korur.
6. İyonlaştırıcı radyasyona (elektron ışını veya gama ışınları) karşı dirençlidir(Drobny, 2014).

3.1.2. Pomza

Pomza, erimiş lavın hızlı soğuması ve katılaştırılması sonucunda şekillendirilmiş hafif süngerimsi bir agregadır. Pomza gözenekli yapısındaki hava boşlukları birbirine paralel veya rastgele doğrultuda olabilir. Pomza rengi yoğunlukla gri veya beyazdır ve beyazdan-kahverengiye-siyaha kadar değişen taşlarda bulunur. Pomza, düşük yoğunluklu, iyi ısı yalıtımı, iyi yanma dayanımı, yüksek basma dayanımı ve düşük geçirgenliğe sahip gözenekli yapı gibi birçok özelliğe sahiptir. Pomza yoğunlukları iri agreganın 0,82 ila 2,17, ince agreganın, 18 ila 2,52 ve tozun 2,04 ila 2,85 arasında değişir. pH değeri 7'dir. Sertliği (Mohs Skalası) 5,5 ila 6 arasındadır. Füzyon noktası yaklaşık 2450°F'dir. Parçacık boşluk oranı %85'e ulaşabilir. Pomza sünek duvarlarda, oyuk bloklarda, fayanslarda, panellerde, kullanılabilir. Ses yalıtımı gerektiren kiliselerde, camiilerde, sinagoglarda, tiyatrolarda, stüdyolarda ve diğer binalarda uygulanabilecek akustik ve koruma amaçlı kullanılabilir(Rashad, 2019).

3.1.3. Karbon elyaf

Karbon elyaflar, bileşimde en az %92 oranında karbon olan lifleri ifade eder. Kısa veya sürekli olabilirler; yapıları kristal, amorf veya kısmen kristal olabilir. Bir karbon elyafın yüksek modülü, mutlaka düz olmasa da karbon tabakalarının elyaf eksenine paralel olma eğiliminden kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, elektriksel ve termal iletkenlikler, elyaf eksen boyunca daha yüksektir ve termal genleşme katsayısı, elyaf eksen boyunca daha düşüktür(Chung, 1994).

Tablo 3.1'de karbon fiberlerin mekanik özelliklerini, yoğunluğunu diğer elyaf tipleri ile karşılaştırmaktadır. Yüksek mukavemetli karbon elyaflar en fazla dayanıma yüksek modüllü karbon elyaflar ise en fazla modüle sahiptir. Dahası, karbon

elyafların yoğunluğu düşüktür ve bu da yüksek modüllü karbon elyafların spesifik modülünün (modül / yoğunluk oranı) olağanüstü derecede yüksek olmasına sebep olur.(Chung, 1994).

Tablo 3.1. Karbon elyafların diğer elyaflarla karşılaştırılması(Chung, 1994).

	Yoğunluk g/cm ³	Çekme Dayanımı GPa	Young Modülü Gpa	Spesifik Modül 10 ⁶
E-cam	2,55	3,40	72,40	2,90
S-cam	2,50	4,50	86,90	3,56
Karbon (yüksek dayanım)	1,50	5,70	280,00	18,80
Karbon (yüksek modül)	1,50	1,90	530,00	36,30
Boron	2,36	3,40	380,00	16,40
Kevlar	1,44	4,50	120,00	8,81
Polyethylene	0,97	2,59	120,00	12,40

3.1.4. Cam elyaf

Cam elyaflar ağırlıklı olarak bir alümina-borosilikat olarak bilinen bir kompozisyondan üretilir. Cam elyafların bir türü olan E-Camı elyaf, diğer cam türlerine göre; sertlik, korozyon direnci, düşük elektrik iletkenliğine sahiptir. E-cam tanımı, camdaki her inorganik oksit ve eleman için bir bileşim aralığına göre belirlenir. Bu nedenle, fiziksel ve kimyasal özellikler, tam bileşime bağlı olarak sınırlı ölçüde değişir. E-Cam elyaf diğer elyaflara göre maliyeti daha azdır (Wallenberger ve Bingham, 2010).Tablo 3.2’de bazı cam elyaf türleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Cam elyaf türlerinin karşılaştırılması(Wallenberger ve Bingham, 2010).

	A-cam	C-cam	D-cam	E-cam	AR-cam	R-cam	S-cam
Yoğunluk g/cm ³	2,44	2,52	2,11-2,14	2,58	2,7	2,57	2,46
Çekme Dayanımı MPa	3310	3310	2415	3445	3241	4135	4890
Young Modülü GPa	68,9	68,9	51,7	72,3	73,1	85,5	86
Kopma Uzaması %	4,8	4,8	4,6	4,8	4,4	4,8	5,7

Tablo 3.2’de görüldüğü gibi E-camı diğer cam türleri arasında mekanik özelliklerine göre orta sıralarda yer almaktadır. R ve S cam elyafları yüksek mukavemetli ve modüllü olduğundan diğerlerine göre daha pahalıdır(Wallenberger ve Bingham, 2010).

3.1.5. Bazalt elyaf

Bazalt, volkanik kayadan oluşur. Kimyasal bileşimi cama çok benzer, temel bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 ve FeO 'dur. Bazalt malzemeleri SiO_2 içeriklerine göre alkalin bazaltlar (%42'ye kadar SiO_2), hafif asit bazaltları (%43-46 SiO_2) ve asit bazaltları (%46'dan fazla SiO_2) olarak sınıflandırılır. Bazalt elyafları, güçlü alkalilere cam elyaflardan daha dayanıklıdır, ancak cam güçlü asitlere daha iyi dayanabilir. Bazaltın rengi, kimyasal bileşime bağlı olarak kahverengiden-yeşile kadar değişir. Erime sıcaklığı 1350-1700°C arasındadır. Bazalt elyaflar, mekanik özelliklerde önemli bir azalma olmadan -200 ile 600°C arasında kullanılabilir. Bazalt elyaflar biyolojik olarak inaktif ve çevre dostu iyi elektrik yalıtkanlarıdır. Yüksek sıcaklıklara tolere edebilen, mukavemeti yüksek ve düşük su emme özelliklerine sahip ürünler gerektiren inşaat endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır(Deák ve Czigány, 2008).

3.1.6. Tez çalışmasında kullanılan malzemelerin özellikleri

Tez çalışmasında kullanılan malzemelerin isimleri, ticari isimleri, nereden temin edildikleri ve malzemelerin özellikleri Tablo 3.3’te belirtilmiştir.

Tablo 3.3. Tez çalışmasında kullanılan malzeme ve özellikleri

Malzeme	Ticari Adı/Firma adı	Özellikleri
Termoplastik Poliester Elastomer (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

Tablo 3.3.(Devam) Tez çalışmasında kullanılan malzeme ve özellikleri

Malzeme	Ticari Adı/Firma adı	Özellikleri
Pomza	Pomza/Kula Belediyesi Gökçeören Tesisleri Kula-Manisa	Form: Toz Partikül boyutu: <100 µm Yoğunluk: 0,55-0,76 g/cm ³ Erime sıcaklığı: 1200°C Sertlik: 5,5 Mohs
Bazalt Elyaf	Bazalt Elyaf/Tıla 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
Silan	(3-Aminopropyl)tri-ethoxysilane, 98% $H_2N(CH_2)_3Si(OCH_2CH_3)_3$ / Alfa Aesar	Form: 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): Toluen, aseton, kloroform ve etanol ile karıştırılabilir.
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

3.2. Pomza Yüzeyini Silanlama İşlemi

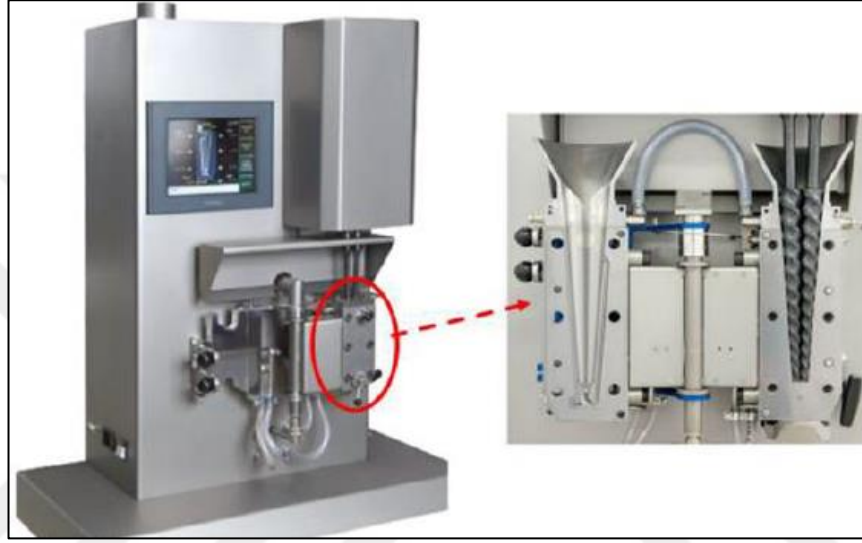
Yüzey fonksiyonelleştirme işleminden biri olan silanlama işlemi pomza yüzeyine uygulanmıştır. Temel olarak silanlama işlemi, inorganik bir malzeme ile alkoksil grupları olan fonksiyonel X gruplarından oluşan kimyasal bağların oluşturulmasıyla açıklanabilir. Öte yandan, Y fonksiyonel grupları, organik polimerler ile reaksiyona girer. Bu bağları silan gruplarıyla oluşturur. Literatürde silanlama işlemi çeşitli şekillerde yapılmıştır. Bu çalışmada ise silanı belli oranda bir çözücünün içinde hidroksil gruplarıyla bağlanması için çözelti hazırlandı. Daha sonra karıştırma ve karıştırma sıcaklığı belirlendi. Silanlanacak pomza miktarı belirlenerek çözelti hazırlandı ve kurumaya bırakıldı. Tablo 3.4'te belirtilen silanlama işlemleri denendi(El-Sonbati, 2012; Tayfun ve Kanbur 2018; Çoban ve diğ., 2015).

Tablo 3.4. Pomza silanlama işlemleri

Numune Kodu	Ön İşlem	Çözelti Bileşenleri	Silan Miktarı	Silanlama İşlem Sıcaklığı	Karıştırma/Bekletme	Silanlanacak Takviye Malzemesi Miktarı	Son İşlem
P	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
P_1	Yok	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	25°C	1 saat/Yok	10 gr	- 50 ml etanol ile yıkanarak süzülde. 24 saat oda sıcaklığında ve 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
P_2	Yok	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75°C	1 saat/Yok	5 gr	- 50 ml etanol ile yıkanarak süzülde. - 24 saat oda sıcaklığında ve 12 saat 80 °C'de vakum altında kurutuldu.
P_3	Yok	50 ml saf su + 50 ml etanol	1 ml	75°C	1 saat/Yok	10 gr	- 50 ml etanol ile yıkanarak süzülde. - 24 saat oda sıcaklığında ve 12 saat 80 °C'de vakum

3.3. Kompozitlerin Üretilmesi

Kompozitler Şekil 3.2.'de belirtilen laboratuvar tipi mikro karıştırıcıda sıcaklığı 245°C, karıştırma süresi 3 dk. ve vida hızı 100 rpm hızda eriyik hale getirilmiştir. Bu eriyik Şekil 3.3.'te belirtilen laboratuvar tipi enjeksiyonla kalıplama cihazında eriyik sıcaklığı 245°C'de belirlenen ve kalıp sıcaklığı ise 45°C'de sabit tutulan, kalıplama basıncı ise 10 bar olacak şekilde ayarlanıp kalıplanmıştır.



Şekil 3.2. Laboratuvar tipi mikro karıştırıcı



Şekil 3.3. Laboratuvar tipi enjeksiyonla kalıplama cihazı

3.3.1. Kompozitlerin oranları

Tez çalışmasında üretilen numuneler Tablo 3.5.'te verilmiştir. Burada “TPE” termoplastik poliester elastomeri, “P” pomzayı, “BF” bazalt elyafı, “GF” cam elyafı, “CF” karbon elyafı ifade eder.

Tablo 3.5. Üretilen numuneler

Numara	Numune Kodu	TPE İçeriği	Elyaf İçeriği	Pomza İçeriği	Silan İşlemi
1	TPE	%100	%0	%0	Yok
2	TPE_1P	%99	%0	%1	Yok
3	TPE_si1P	%99	%0	%1	Var
4	TPE_BF	%90	%10	%0	Yok
5	TPE_BF_1P	%89	%10	%1	Yok
6	TPE_BF_si1P	%89	%10	%1	Var
7	TPE_GF	%90	%10	%0	Yok
8	TPE_GF_1P	%89	%10	%1	Yok
9	TPE_GF_si1P	%89	%10	%1	Var
10	TPE_CF	%90	%10	%0	Yok
11	TPE_CF_1P	%89	%10	%1	Yok
12	TPE_CF_si1P	%89	%10	%1	Var

3.4. Kompozitlerin Karakterizasyonu

Matris malzemesi tüm kompozitler için ortak olduğu ve bu sebeple yapılan deneyler ve deney şartları tüm kompozitler için aynıdır. Bu bölümde kompozitlere uygulanan testler ve test koşulları anlatılmıştır.

3.4.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Pomzaya uygulanan silanlama işlemi FTIR analizi aracılığıyla değerlendirilmeye çalışılmıştır. Tüm analizler, Thermo Fisher marka FTIR cihazı kullanılarak 400-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir.

3.4.2. Çekme testi

ISO 527-2/5A standardına uygun olarak üretilen numuneleri Kocaeli Üniversitesi İleri Malzemeler Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu AG-X (Şekil 3.4.) marka çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve örneklerin çekme dayanımı değerleri 5 mm/dk. çekme hızında belirlenmiştir.



Şekil 3.4. “Shimadzu AG-X” marka çekme cihazı

3.4.3. Üç nokta eğme testi

Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Instron marka 4411 model cihazda üç nokta eğme testi (Şekil 3.5.) yapılmıştır. Numuneler 2 mm/dakika eğilme hızında ISO-178 standartına göre belirlenmiştir.



Şekil 3.5. Instron marka 4411 model cihaz

3.4.4. Dinamik mekanik analiz (DMA)

Kocaeli Üniversitesi İleri Malzemeler Laboratuvarı'nda bulunan, TA Instruments marka ve Q800 model DMA cihazı kullanılarak üç nokta eğme modunda gerçekleştirildi (Şekil 3.6.) 35 μm genlik ve 1Hz frekans uygulanarak, 25°C ile 95°C aralığında, 10°C/dk ısıtma hızında test edilen kompozitlerin analiz sonucunda depo modülü (E') değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.6. TA Instruments marka ve Q800 model DMA cihazı

3.4.5. Aşınma testi

Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan pin-on-disc modunda Nanovea marka tribometre cihazı (Şekil 3.7.) ile gerçekleştirilmiştir. Test; 3 mm yarıçapında aşındırıcı seramik top, bir yük koluna sabitlenirken numune ise sürtünme yarıçapı 5 mm olan ve dönen bir disk üzerine yerleştirilerek yapılmıştır. 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. Her numune kodu için en az 5 test yapılmış ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Nanovea marka tribometre cihazı

3.4.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Kocaeli Üniversitesi İleri Malzemeler Laboratuvarı'nda bulunan, “TA Instruments-Q200” model DSC test cihazı (Şekil 3.8.), üretilen kompozit numunelerinin sıcaklığa bağlı yapısal özelliklerinin analizleri için kullanılmıştır. 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 aşağıdaki denklik kullanılarak hesaplanmıştır(Denklem 3.1).

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

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



Şekil 3.8. TA Instruments-Q200 cihazı

3.4.7. Termogravimetrik analiz (TGA)

Kocaeli Üniversitesi İleri Malzemeler Laboratuvarı'nda bulunan TA Instruments marka Q500 model (Şekil 3.9.) cihaz kullanarak kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{5\%}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{10\%}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın (T_{max}) değerleri bulunmaktadır. Ölçümler 25°C ile 600°C arasında 10°C/dakika ısıtma hızında ve azot ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. TA Instruments marka Q500 model cihaz

3.4.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Çekme testi sonucunda kopan yüzeylerin morfolojik özelliklerini incelemek için numunelere “JEOL JCM-6000” marka taramalı elektron mikroskobu (Şekil 3.10.) ile SEM analizi yapılmıştır.



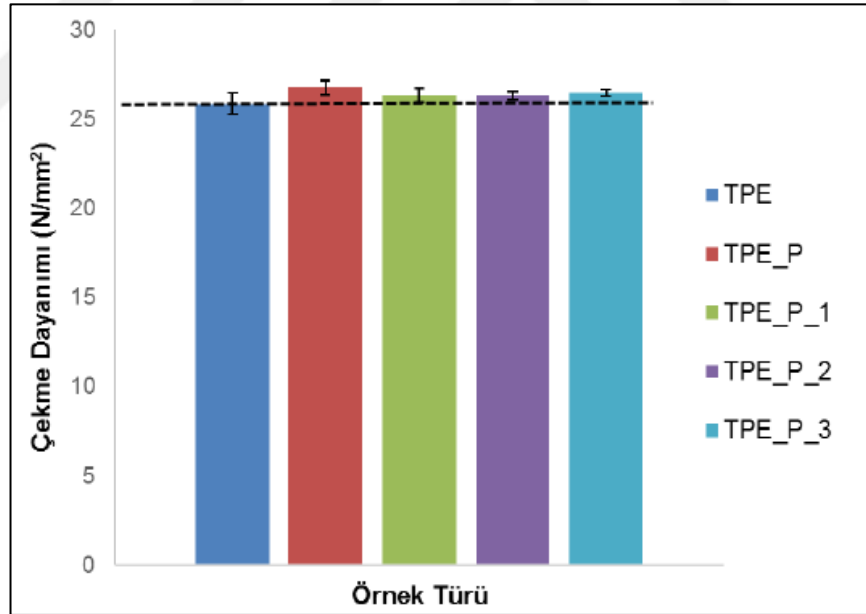
Şekil 3.10. JEOL JCM-6000 marka cihaz

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Test sonuçlarının analizi bu bölümde yapılmıştır. Sonuçlar yapılan testlere göre alt başlıklar oluşturulup bu başlıkların altında değerlendirilmiştir. İlk olarak pomzanın silanlı denemelerine çekme testi ve sonrasında tercih edilen silanlama işlemine FTIR analizi uygulanmıştır. Daha sonra sırasıyla çekme testi, eğme testi, aşınma testi, dinamik mekanik analiz, termogravimetrik analizi yapılmıştır. Testlerle ilgili tüm sonuçlar ve yorumlar hakkında bilgi bu bölümde gösterilmiştir.

4.1. Pomza Silanlama Örneklerinin Çekme testi ve FTIR analizi

Şekil 4.1. incelendiğinde TPE'ye pomza ilavesiyle çekme dayanımında bir artış meydana geldiği görülmektedir.

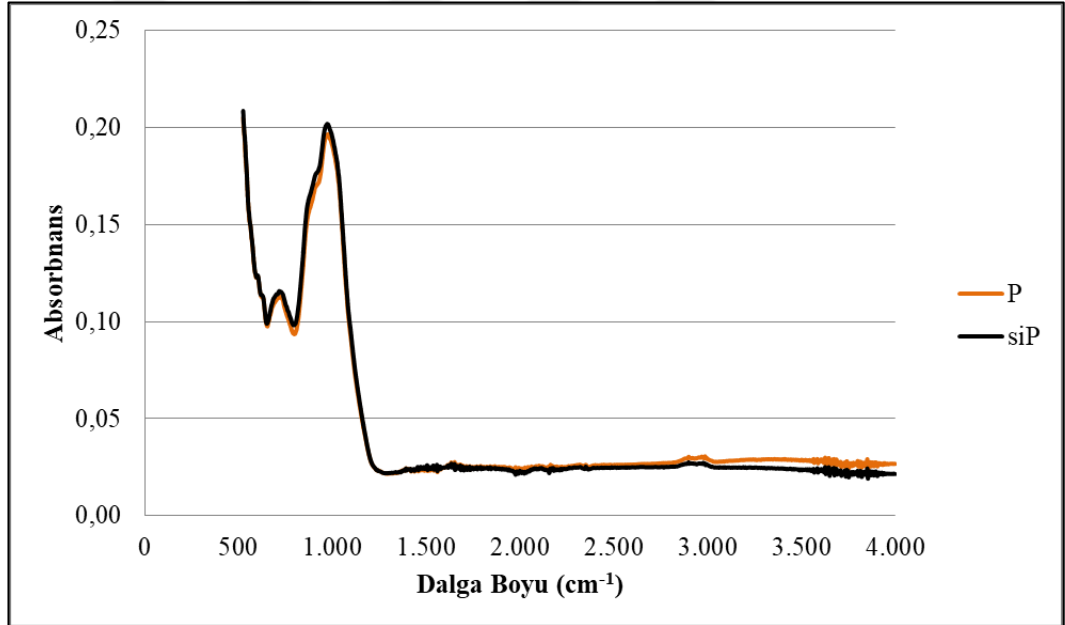


Şekil 4.1. Farklı silanlama parametrelerinin pomza takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi

Buna ek olarak, TPE ile karşılaştırıldığında yüzeyi silanlanmış pomza içeren kompozitlerin çekme dayanımında meydana gelen artış da ayrıca şekilden gözlemlenebilmektedir. Ancak her ne kadar silanlama sonucunda elde edilen bu artış önemli düzeyde olmasa da bu çalışmada, elyaf ve partiküllerin eş zamanlı olarak kullanılacağı hibrit kompozitler üretileceği göz önünde bulundurulduğunda çalışma

boyunca “TPE_P_3” kodlu prosesle üretilen silanlanmış pomzanın kullanılması uygun bulunmuştur. Çünkü yüzeyi fonksiyonel gruplar içeren takviye malzemelerinin yapı içerisindeki dağılımının homojenitesini iyileştirir. Diğer taraftan TPE_P_2 kodlu prosesine silanlama işlemi ile 5 g pomza silanlanabilmiştir. TPE_P_3 kodlu prosesin seçilme sebebi ise 1 ml silan kullanılarak 10 g pomzanın silanlanabilecek olmasıdır.

Belirlenen 3 numaralı silanlama işlemi ile yalın pomza FTIR analizindeki spektrumları Şekil 4.2.’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3000 cm^{-1} dalga boyunda yapıdaki hidroksil(-OH) gruplarının varlığından kaynaklanan bir pik görülmektedir. Bu pikin şiddetinin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi silanlama işleminde hidroksil grupların bir kısmının ortadan kalkmış ve silanla bağ yaptığı düşünülmektedir(Muniandy ve diğ., 2012).

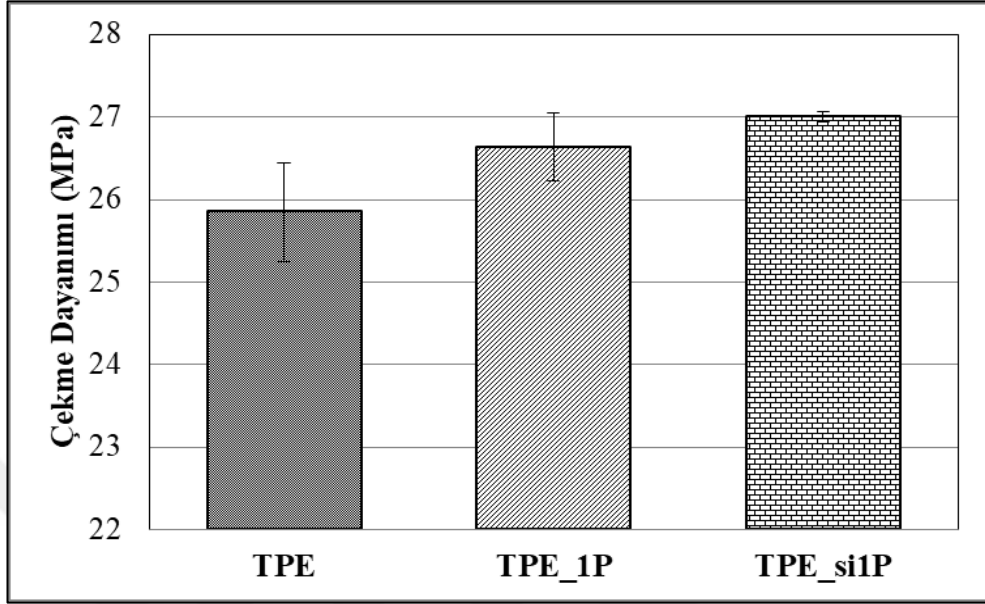


Şekil 4.2. Pomzanın FTIR analizi

4.2. Çekme Testi Sonuçları

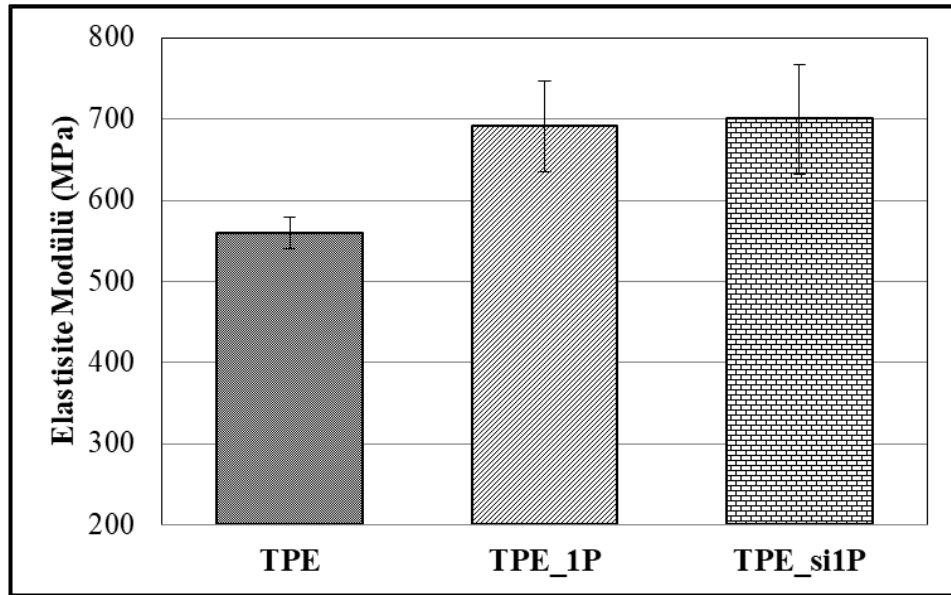
Şekil 4.3.’de TPE’nin ve TPE’ye silanlanmamış ve silanlanmış ağırlıkça %1 pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanımı değerleri verilmiştir. TPE’nin içerisinde homojen olarak dağıldığı varsayılabilir. Pomza gözenekli ve yüzey alanı geniş partiküldür. Yüksek en boy oranıyla pomzanın ıslanabilirlik performansı matriste bu özellikler sebebiyle artar. Ayrıca mikro boşlukların azaltarak matris ve dolgu

maddesi arasında gerilim transferi oluşmasını sağlar(Sahin ve diğ., 2016; Sever ve diğ., 2019).



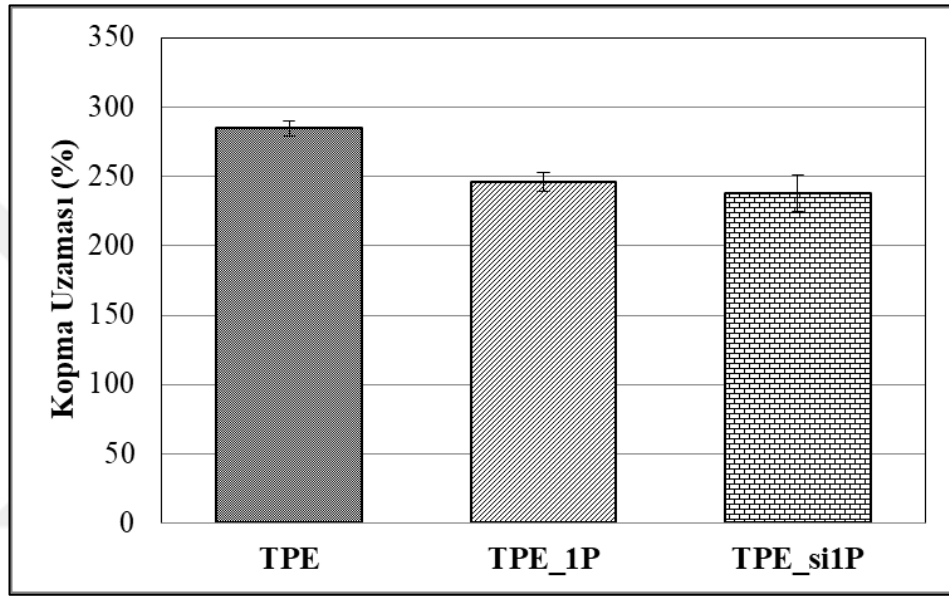
Şekil 4.3. TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanım değerleri

Şekil 4.3.'de silanlanmış pomza takviyesi ile çekme dayanımının daha da arttığı gözlenmiştir. Silanlama işlemi ile matris-partikül arasında oluşan yapıyı iyileştirdiğinden söz edilebilir(Zhao ve diğ., 2012).



Şekil 4.4. TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modül değerleri

Şekil 4.4.'te TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modül değerleri verilmiştir. Ağırlıkça %1 pomza takviyesiyle elastisite modülüne artış gözlenmiştir. Rijit partikül takviyesiyle matrisin elastisite modülünün arttığı bilinmektedir. Pomza rijit yapısı ile oluşturulan yapının elastisite modülünü arttırmıştır. Şekil 4.4.'te görülen silanlanmış ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bulunan ortalama değerler standart sapmanın içerisinde kalmıştır(Spanoudakis ve Young, 1984).

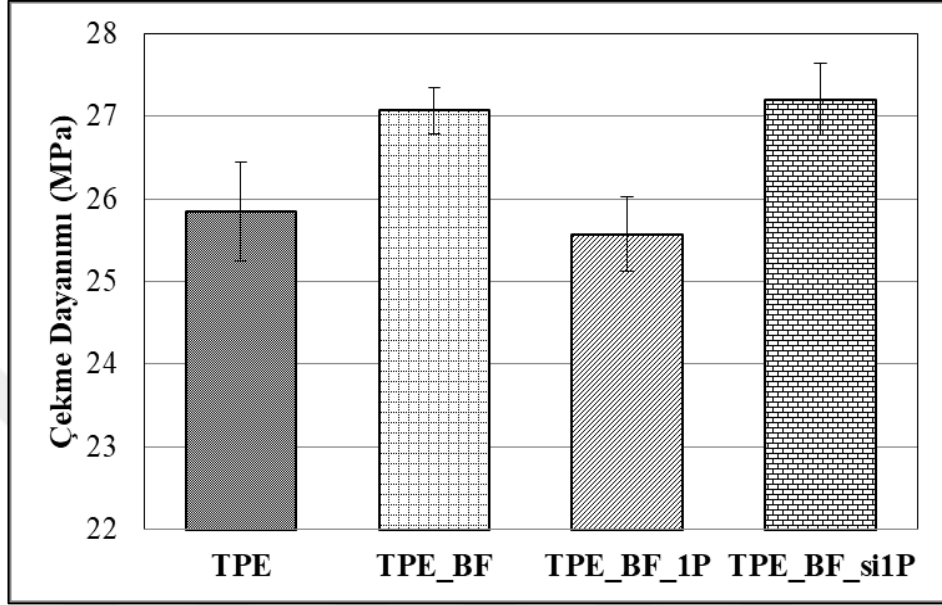


Şekil 4.5. TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri

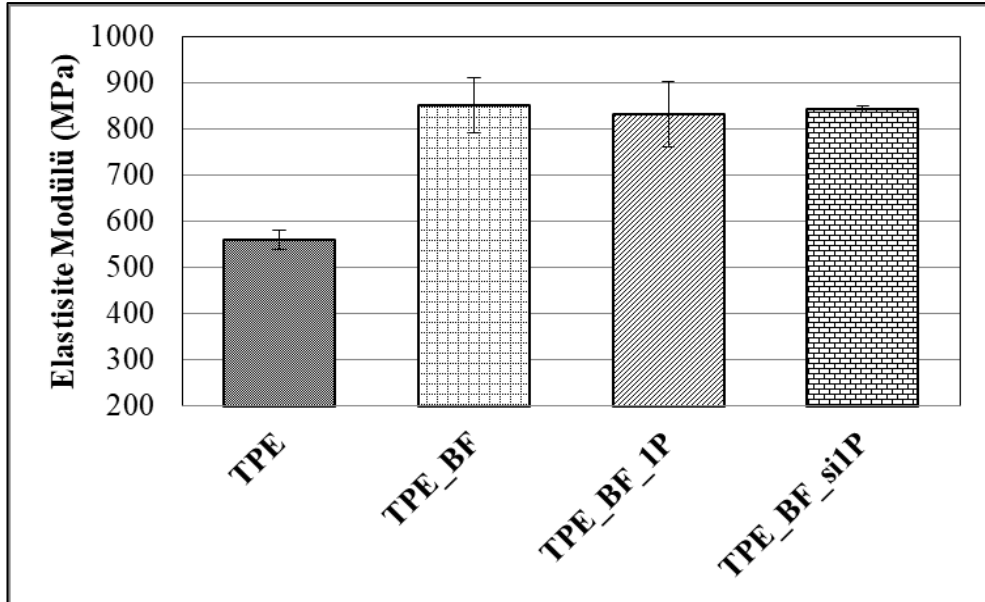
Şekil 4.5.'te TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri verilmiştir. Ağırlıkça %1 içeren pomza takviyesiyle kopma uzama değerlerinin düştüğü sonucuna varılmıştır. Rijit partikül ile kopma uzama kabiliyetinin azaldığı düşünülebilir. Silanlanmış pomza takviyesiyle de kopma uzamasının azaldığı belirlenmiştir.

Şekil 4.6.'da TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanım değerleri verilmiştir. Ağırlıkça %10 bazalt elyaf takviyesiyle TPE matrisinde çekme dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bu durumun TPE ve bazalt elyaf arasında iyi bir adezyon kuvvetinden meydana geldiği söylenebilir. Kompozite ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış pomza ilavesiyle çekme dayanımı değerinde azalma olmuştur. Bunun sebebi elyaf ve partikül ile matris arasında kötü bir yapışma kalitesinin olmasıdır. Şekil 4.6. belirtilen ikinci

sonuç ise pomzanın silanlama sonucunda çekme dayanımı artmasıdır. Silanlanmış pomza homojen bir şekilde matris ve bazalt elyafın etrafında dağılmış ve arayüzey etkileşimi iyileşmiştir. Arayüzey etkileşimin ile birlikte kompozitin çekme dayanımı değeri artmıştır(Deák ve Czigány, 2008).



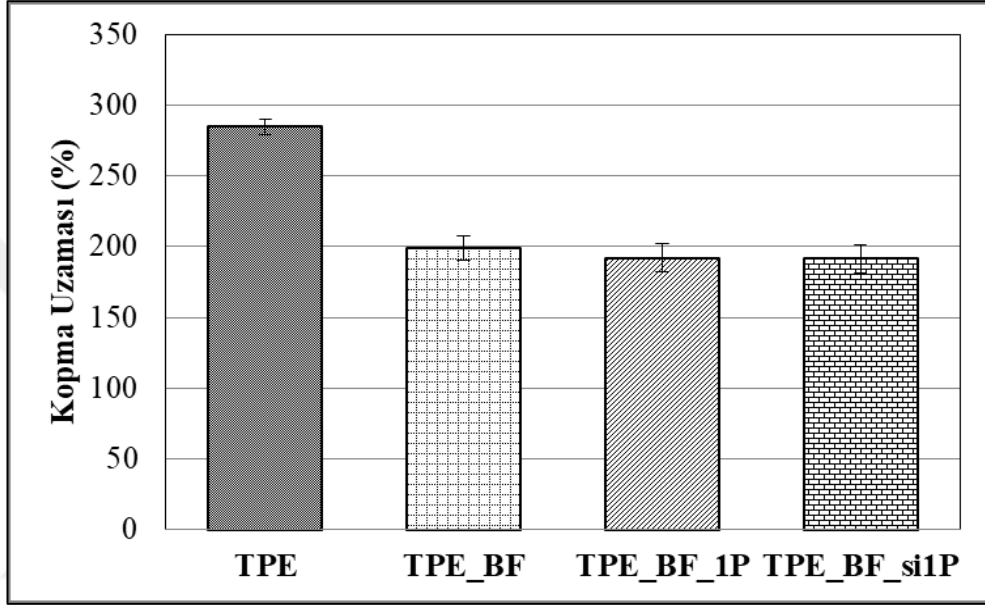
Şekil 4.6. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanım değerleri



Şekil 4.7. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modülü değerleri

Şekil 4.7. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modülü değerleri verilmiştir. TPE'ye ağırlıkça %10 bazalt elyaf

takviyesiyle elastisite modülünde artış görülmüştür. Bazalt elyafın matrise göre daha yüksek elastisite modülüne sahip olmasıdır. Ağırlıkça %10 bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış pomza ilavesiyle modül değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Diğer bir sonuç ise ağırlıkça %10 bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında silanlanmış pomza ilavesiyle de bir değişiklik olmadığı bulgusuna varılmıştır.

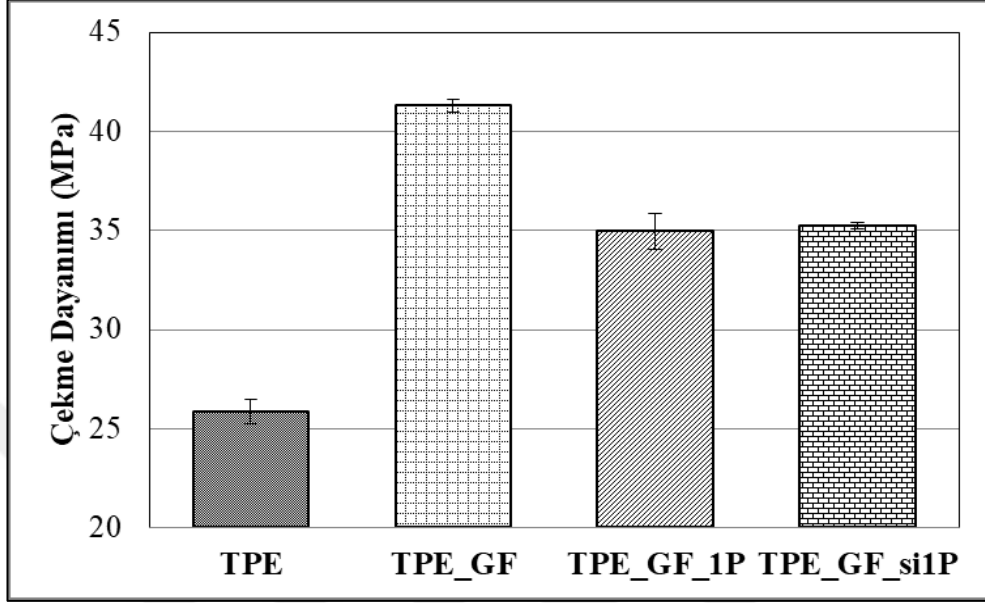


Şekil 4.8. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri

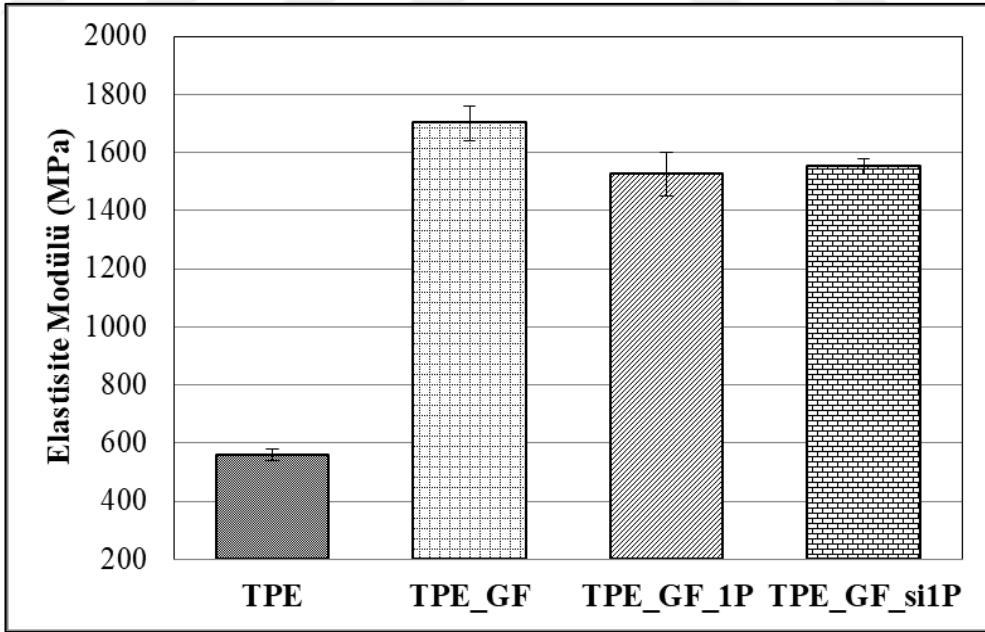
Şekil 4.8. incelendiğinde bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış pomza ilavesiyle bazalt elyaf takviyeli kompozitlerle kıyaslandığında kopma uzamasında belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Şekil 4.8.'den gözlemlenen bir diğer sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kayda değer bir değişiklik olmamasıdır.

Şekil 4.9. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanım değerleri gösterilmiştir. TPE'ye ağırlıkça %10 cam elyaf takviyesiyle çekme dayanımında büyük bir artış gözlenmiştir. Çekme dayanımı cam elyafın TPE'ye göre daha yüksek olduğu bilinmektedir. Şekil 4.9. TPE'ye ağırlıkça %10 cam elyaf ve ağırlıkça %1 silanlanmamış pomza takviyesiyle çekme dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Pomza partiküllerinin yapı içerisinde homojen dağılamama ve kompozitte bir kusur gibi davranması sonucu oluştuğu söylenebilir. Ayrıca gelirim transferinin engellediği bu yüzden de çekme dayanımını

düştüğü sonucuna varılabilir. Bu grafikten çıkarılacak diğer bir sonuç ise ağırlıkça silanlanmış pomza takviyesiyle çekme dayanımında her hangi bir iyileşme gözlenmemiş olmasıdır(Hemanth ve diğ., 2014).



Şekil 4.9. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanımı değerleri

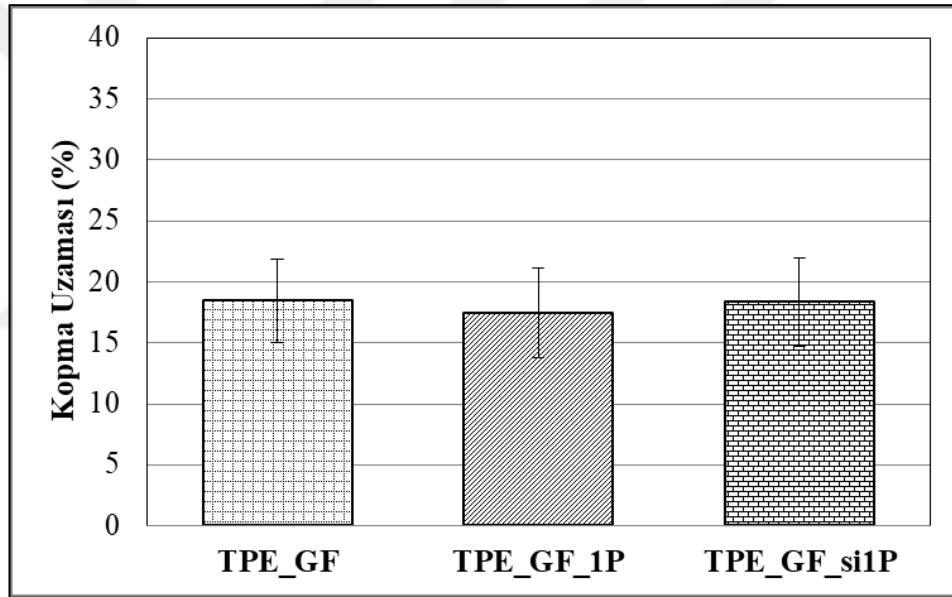


Şekil 4.10. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modülü değerleri

Şekil 4.10. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %10 cam elyaf takviyesiyle elastisite modülünde artış gözlenmiştir. Cam elyafın TPE'ye göre daha yüksek modüle sahip

olduğu bilinmektedir ve bu sebeple olduğu söylenebilir. Ağırlıkça %10 takviyeli cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış pomza ilavesiyle elastisite modülünde azalma gözlenmiştir. Karışımlar kuralına göre kompozitin modülü onu oluşturan üç bileşenin modül değerlerine bağlıdır(Denklem 4.1) (E: Young modülü, Φ : Hacim oranı). Cam elyaf ve pomzanın birlikte ilavesiyle arayüzeyin modülü azalmıştır. Bu nedenle kompozitin modülü azalmıştır denilebilir. Grafikten elde edilen diğer bir sonuç ise cam elyafli TPE'ye ağırlıkça %1 silanlanmamış pomza ilavesiyle elastisite modülünde bir değişik gözlenmemiş olmasıdır(Qiu ve diğ., 2018).

$$E = \Phi_1 E_{\text{matris}} + \Phi_2 E_{\text{takviye}} + \Phi_3 + (1 - \Phi_1 - \Phi_2) E_{\text{arayüzey}} \quad (4.1)$$

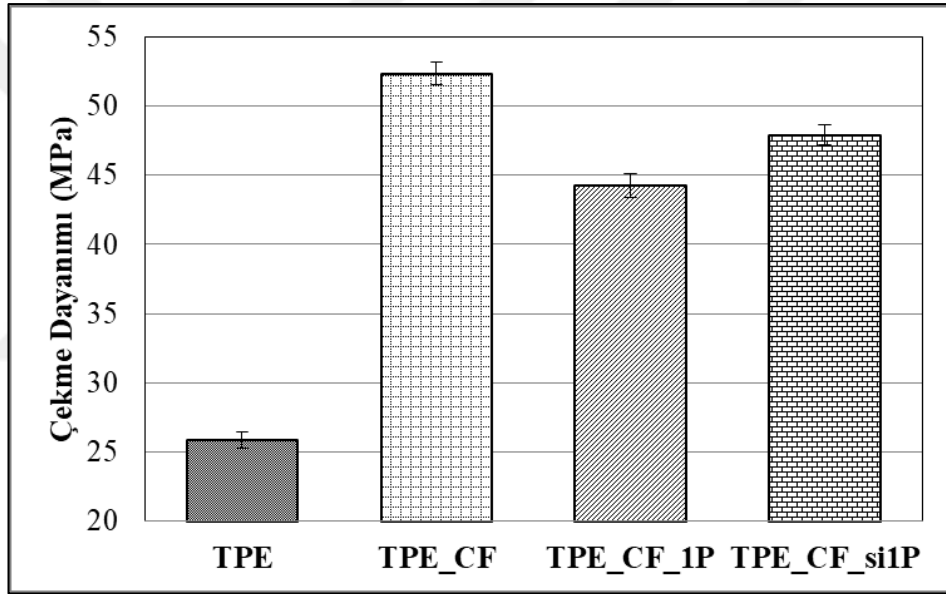


Şekil 4.11. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmamış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri

Şekil 4.11. incelendiğinde görülmektedir ki cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış pomza ilavesiyle kopma uzaması değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Gözlemlenen bir diğer sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda yine kayda değer bir değişim gözlenmemiştir.

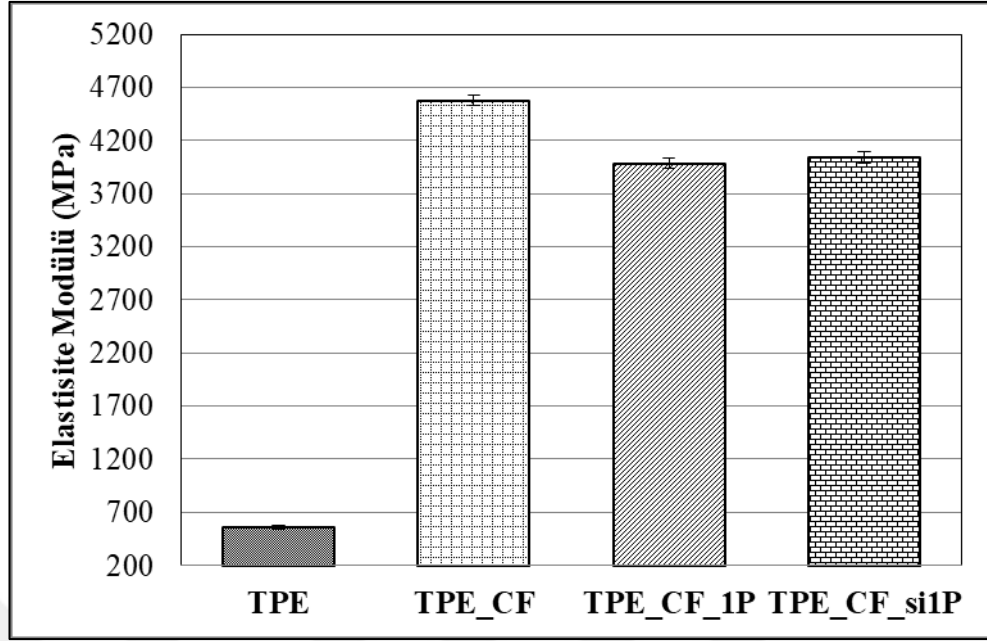
Şekil 4.12. incelendiğinde ağırlıkça %10 karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozit TPE'ye göre çekme dayanımında çok yüksek bir artış olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi matris ve karbon elyaf arasındaki çekme dayanımı farkından olduğu

söylenbilir. Ağırlıkça %10 karbon elyafı TPE'ye ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış pomza ilavesiyle çekme dayanımı düşmüştür. Pomzanın yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılmaması ve yapıda bir kusur gibi davranarak çekme dayanımını azaltması olarak söylenbilir. Şekil 4.12.'den elde edilen diğeri bir sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda çekme dayanımı bir miktar artmıştır. Bunun sebebi silanlama işlemi ile birlikte pomzanın yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılması ve matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey etkileşiminin iyileşmesidir. Ancak bu etkileşimin artmasına rağmen çekme dayanımı değeri yalın karbon elyaf içeren kompozitin çekme dayanımı değerinin altında kalmıştır.

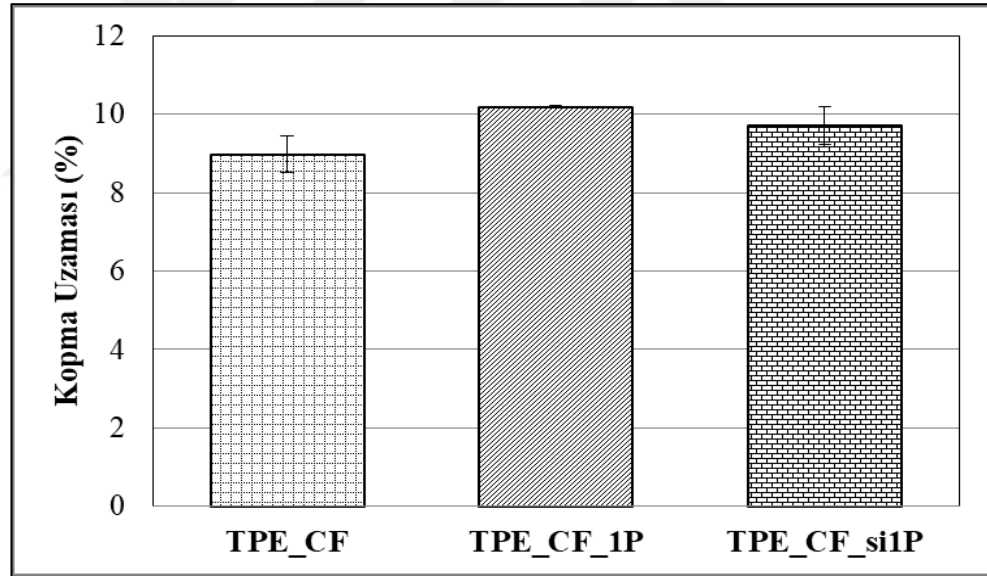


Şekil 4.12. TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.13. incelendiğinde ağırlıkça %10 karbon elyaf takviyesiyle yalın TPE'ye göre modülünde artış gözlenmiştir. Karbon elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış pomza ilavesiyle modül değeri bir miktar azalmıştır. Bunun sebebi karışımlar kuralına göre pomza ilavesiyle arayüzey modül değerinin azalmasıdır. Azalan arayüzey modülü kompozitinde modül değerini azaltmaktadır. Şekil 4.13.'de gözlemlenen bir diğeri sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda modül değeri bir miktar iyileşmiştir. Bunun sebebi ise silanlama işlemiyle birlikte arayüzeyin modül değerinin artması olduğu söylenbilir.



Şekil 4.13. TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan elastisite modülü değerleri

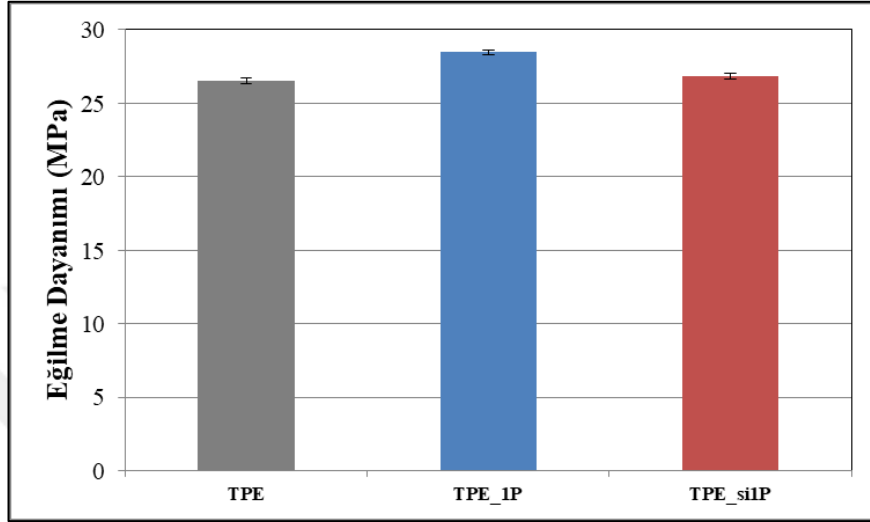


Şekil 4.14. TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan kopma uzaması değerleri

Şekil 4.14. incelendiğinde karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle kopma uzaması değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Şekil 4.14.'ten gözlemlenen bir diğer sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kopma uzaması değerinde kayda değer bir değişiklik olmamasıdır.

4.3. Üç Nokta Eğme Testi

TPE'ye ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış/silanlanmış pomza içeren kompozitlerin eğilme dayanımı değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları grafikte verilmiştir.

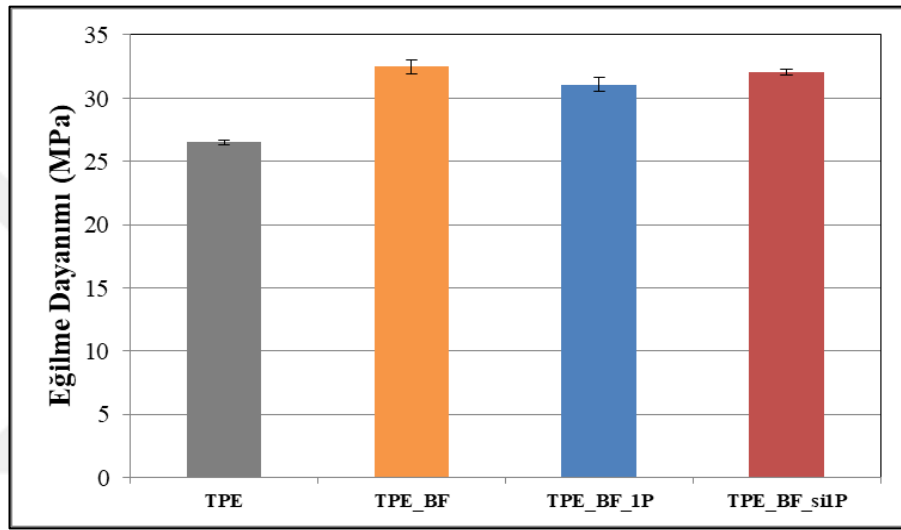


Şekil 4.15. TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri

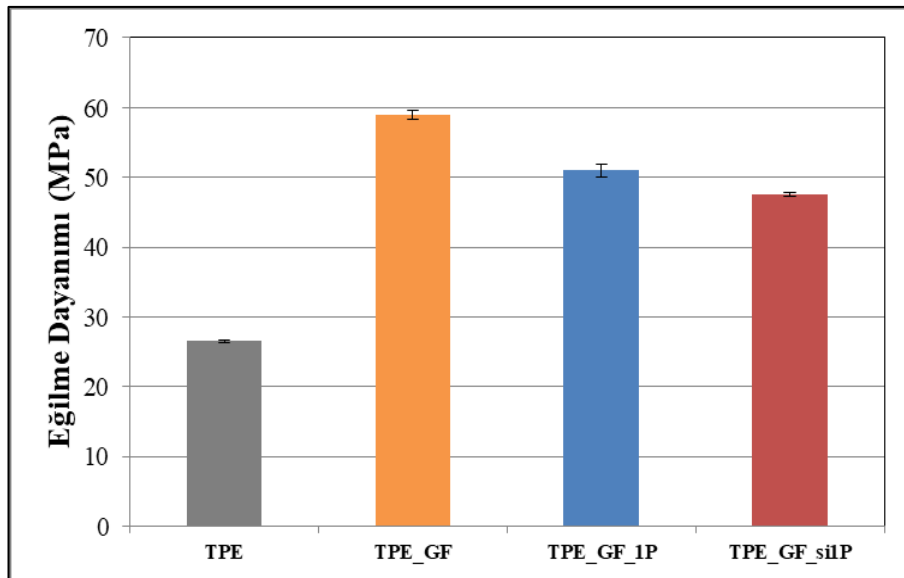
Şekil 4.15. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %1 oranında yüzeyi silanlanmamış pomza ilavesiyle eğilme dayanımında artış görülmüştür. Bunun sebebinin rijit partikül takviyesi ile birlikte matristeki zincir hareketliliğinin sınırlandırılması olarak gösterilebilir. Matrise uygulanan yükü gerilim transferinin etkisi ile partikül üstlenir ve kompozitin eğilme dayanımı değerlerini arttırır. Şekil 4.15. bakıldığında pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda eğilme dayanımı değeri bir miktar azalmıştır. Bunun sebebi silanlama işleminin kompozitin eğilme dayanımı mekanizması üzerinde yarattığı plastikleştirici etkidir(Sahin ve diğ., 2016; Sever ve diğ., 2019).

Şekil 4.16. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %10 oranında bazalt elyaf ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Elyafın matris malzemesine göre eğilmeleri azdır dolayısıyla eğilme dayanımları daha yüksektir. Elyaf takviyesinin matriste zincir hareketlerini sınırlandırarak eğilme dayanımı arttırdığı söylenebilir. Bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle eğilme dayanımı değerinde düşüş gözlenmiştir. Pomzanın yapısı içerisinde homojen

bir şekilde dağılamaması olarak söylenebilir. Matristen takviye elemanına yük transferi istenilen düzeyde sağlanamaz ve eğilme dayanımı değeri azalır. Pomzaya silanlama işlemiyle birlikte eğilme dayanımı değerinde artış olsa da sadece bazalt elyaf içeren kompozitin eğilme dayanımı değerine yaklaşamamıştır. Bu artışın silanlamayla birlikte pomzanın homojen bir dağılım sergilemesi ve arayüzey kalitesinin artması olarak söylenebilir. Arayüzey kalitesinin artmasıyla birlikte matristen takviye elemanına etkili yük transferi gerçekleştiği söylenebilir (Carmisciano ve diğ., 2011).

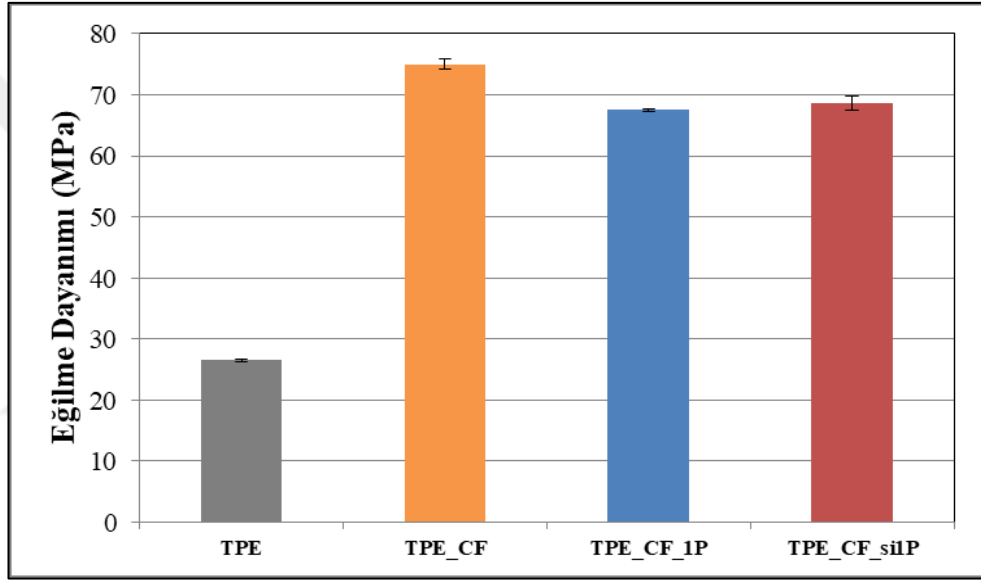


Şekil 4.16. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri



Şekil 4.17. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri

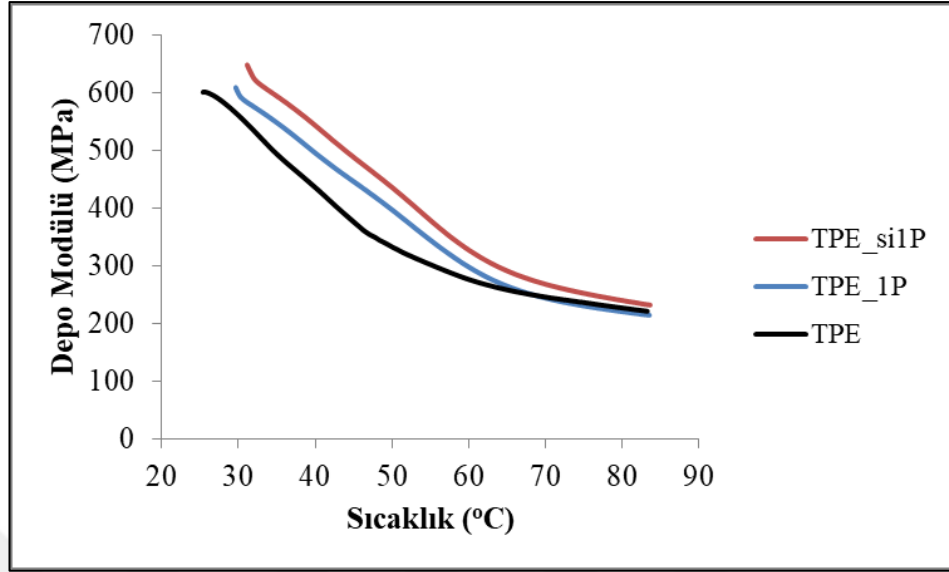
Şekil 4.17. incelendiğinde ağırlıkça %10 cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite eğme dayanımında artış gözlenmiştir. Elyafların matris malzemesine göre eğilmeleri azdır dolayısıyla eğilme dayanımları daha yüksektir. Ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. Bunun sebebi pomza ilavesiyle yapı içerisinde homojen bir dağılım olmaması ve etkili bir gerilim transferi gerçekleşmemesidir. Gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış pomza ilavesiyle eğilme dayanımı değerinin daha da azalmış olmasıdır. Silanlamayla birlikte matris ve arayüzey üzerinde plastikleştirici bir etki oluşmuştur. Bu durum matrsten takviye elemanına olan gerilim transferi etkinliğini azaltmıştır.



Şekil 4.18. TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan eğme dayanım değerleri

Şekil 4.18. incelendiğinde ağırlıkça %10 karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozitte eğilme dayanımı artmıştır. Ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. Pomzanın yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılmaması ve gerilim transferi etkinliğini azaltması yorumu yapılabilir. Şekil 4.18.'den elde edilen diğer sonuç ise silanlı pomza ilavesiyle eğilme dayanımı değerinde önemli bir değişiklik olmamasıdır.

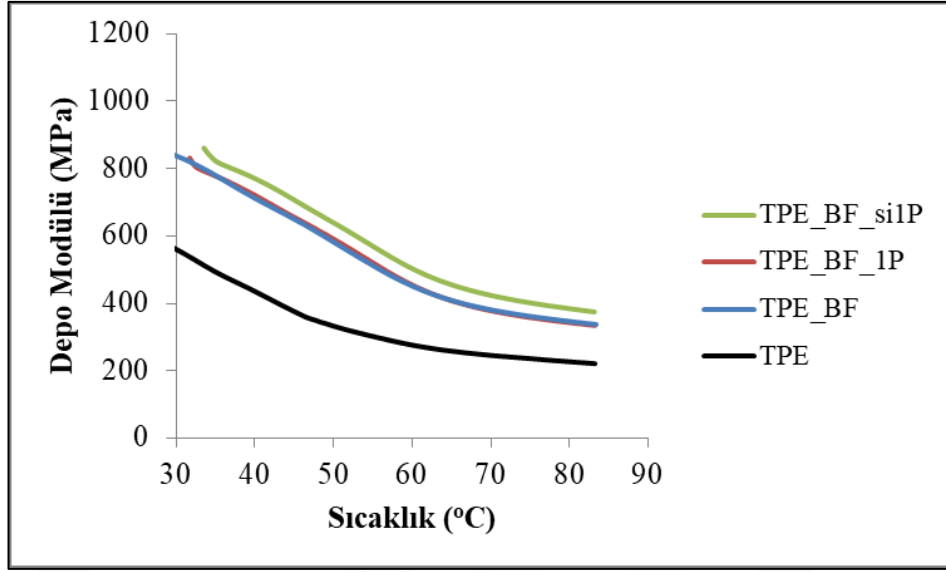
4.4. Dinamik Mekanik Analiz



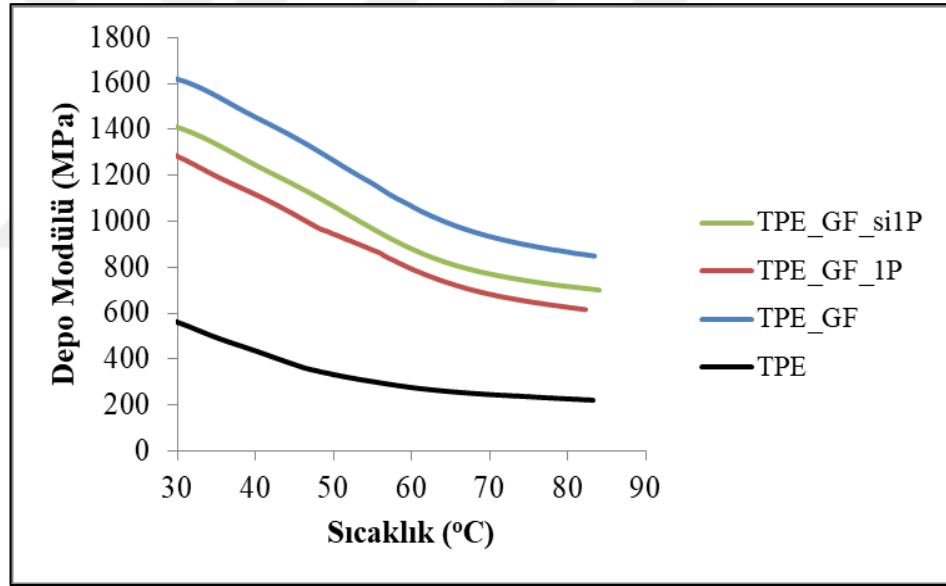
Şekil 4.19. TPE'ye silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri

Şekil 4.19. incelendiğinde TPE'ye %1 ağırlık oranında pomza ilavesiyle depo modülü değeri artmıştır. Pomzanın polimer zincirlerinin hareketini sınırlandırması depo modül değerinin artması ile ilişkili olabileceği söylenebilir. Başka sonuç ise silanlı pomzayla depo modülü değerinin daha da artmasıdır. Bunun sebebinin silanlama işlemiyle birlikte pomzanın yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılması ve arayüzey etkileşiminin iyileşmesi olduğu söylenebilir(Sever ve diğ., 2019).

Şekil 4.20. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %10 oranında bazalt elyaf ilavesiyle depo modülü değeri artmıştır. Elyaf polimerlere göre çok yüksek rijitliğe sahiptirler. Bu nedenle TPE'nin zincir hareketlerini sınırlandırarak depo modülü değerini arttırmaktadırlar. Bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle birlikte bazalt elyaf takviyeli kompozitin depo modülü değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte pomzanın silanlanarak ilave edilmesi arayüzey etkileşim kalitesini arttırmış ve polimer zincirlerin hareketlerini sınırlandırarak malzemenin depo modülü değerini arttırmıştır.



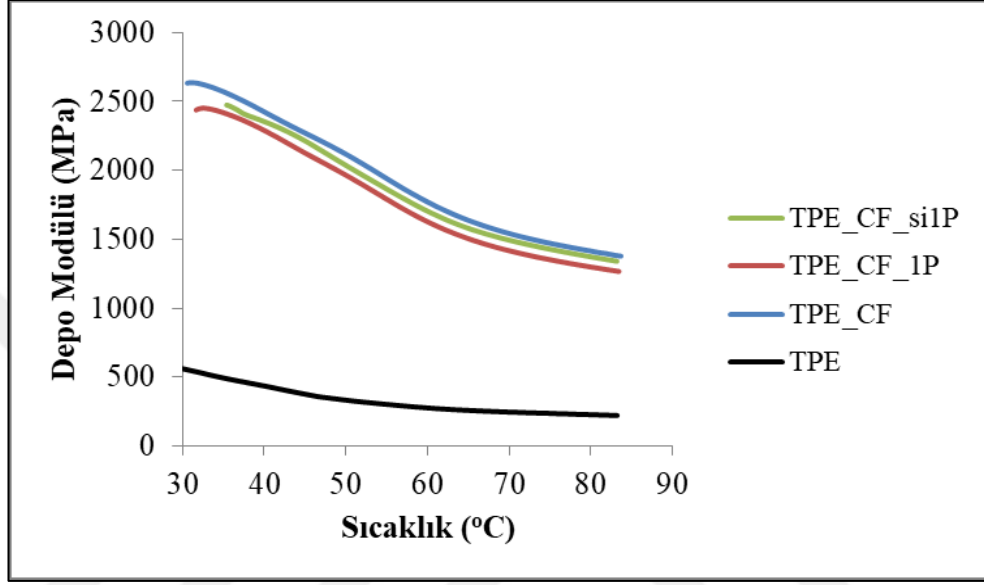
Şekil 4.20. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri



Şekil 4.21. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri

Şekil 4.21. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ilavesiyle depo modülü değerini arttırmıştır. Elyaf polimerlere göre çok yüksek rijitliğe sahiptirler. Bu nedenle TPE'nin zincir hareketlerini sınırlandırarak depo modülü değerini arttırmaktadırlar. Cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle depo modülü değerleri azalmıştır. Bunun sebebi pomzanın cam elyaf ile birlikte takviye edildiğinde yapıda homojen bir şekilde dağılamaması olarak söylenebilir. Çıkarılacak bir diğer sonuç ise cam elyaf takviyeli TPE matrisli

kompozite ağırlıkça %1 oranında silanlanmış pomza ilavesiyle depo modülü değeri pomza takviyesine göre artmıştır. Silanlanmış pomza ilavesiyle oluşan bu artışın sebebi pomzanın yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmasıdır. Ancak bu artışa rağmen depo modülü değeri sadece cam elyaf takviyeli kompozitin üzerine çıkamamıştır.



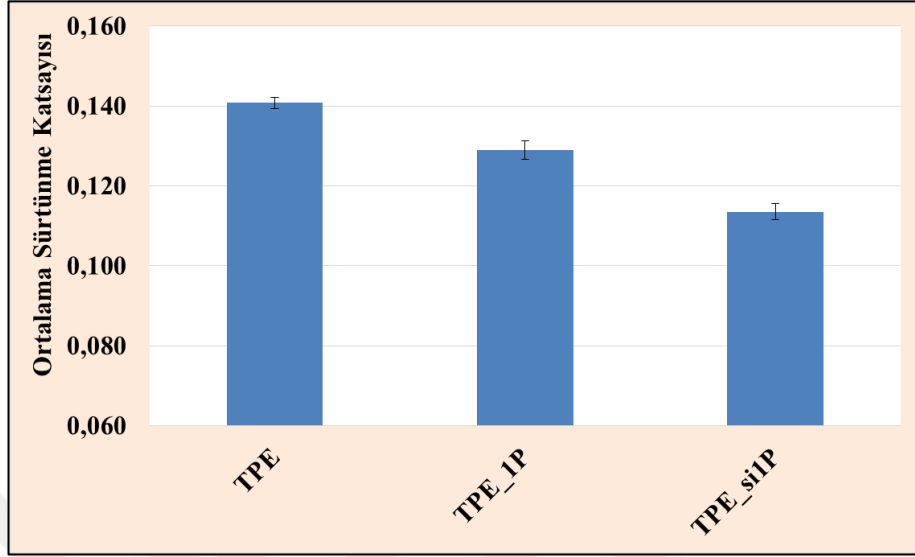
Şekil 4.22. TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmış/silanlanmamış pomza takviyesi sonucu oluşan depo modülü değerleri

Şekil 4.22. TPE'ye ağırlıkça %10 karbon elyaf takviyesiyle depo modülü değerini arttırmıştır. Elyaf polimerlere göre çok yüksek rijitliğe sahiptirler. Bu nedenle TPE'nin zincir hareketlerini sınırlandırarak depo modülü değerini arttırmaktadırlar. Karbon elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle depo modülü değerlerinde bir miktar azalma olmuştur. Bunun sebebi pomzanın yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılım oluşmamasıdır. Silanlanmış pomzanın depo modülü pomzaya göre bir miktar artmış ancak yine de sadece karbon elyaf içeren kompozit malzemenin depo modülü değerinin üzerine çıkamamıştır.

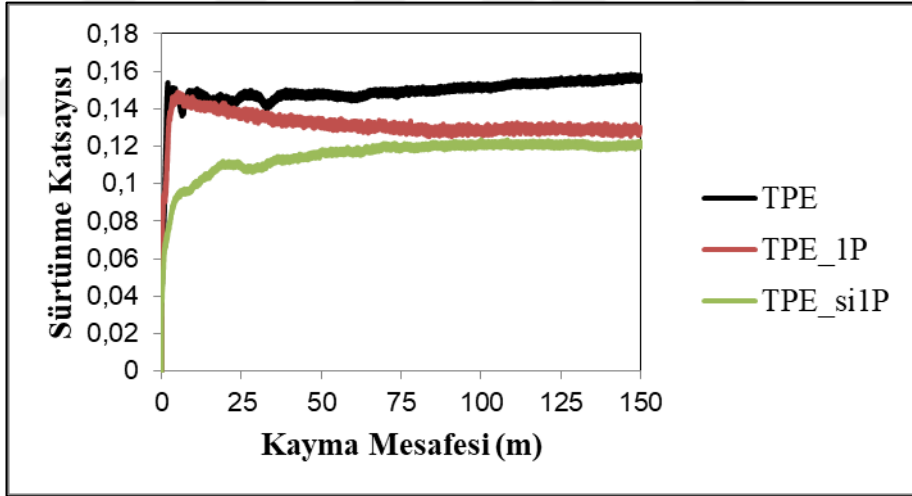
4.5. Aşınma Testi

TPE'nin ve ağırlıkça %1 oranında silanlanmamış/silanlanmış pomza içeren TPE'nin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan aşınma testi sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.23.'te

verilmiştir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin kayma mesafesi ile değişimini gösteren eğriler ise Şekil 4.24.'te verilmiştir.



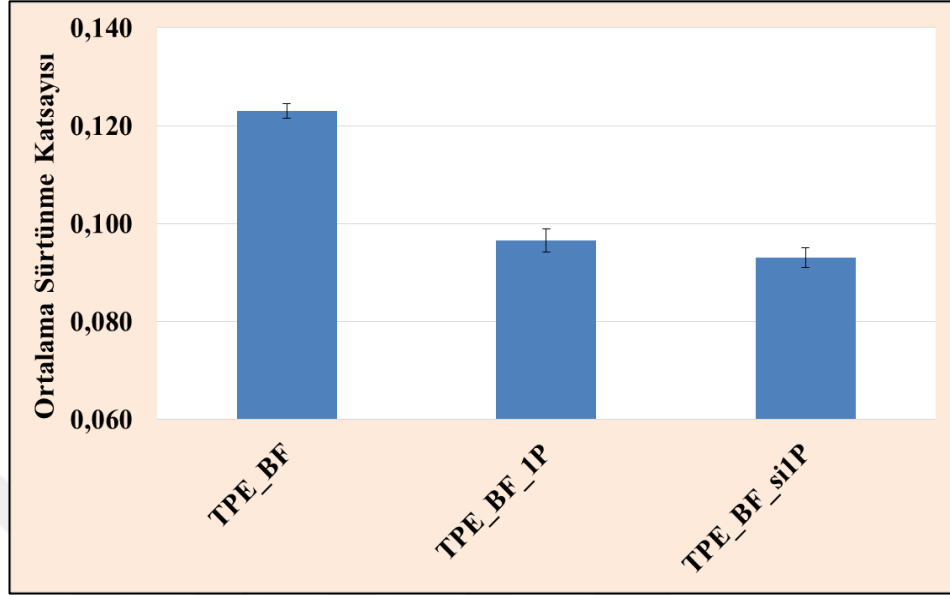
Şekil 4.23. TPE'ye ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı



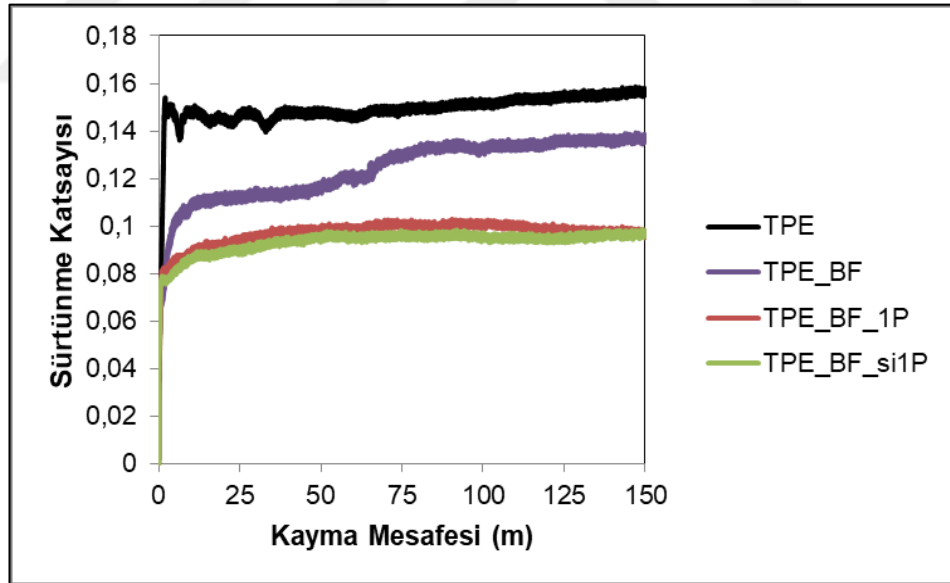
Şekil 4.24. TPE'ye ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.23. ve Şekil 4.24. incelendiğinde TPE'ye pomza ilavesiyle sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir. Polimer matrise partikül takviyesi ile aşınma direncinin iyileştiği söylenilir. Pomzanın gözenekli yapısı ve yüzey alanının geniş olması sebebiyle matrisin yüzeyindeki polimerlerin aktarımını azaltacağı yani adhezif aşınma direncini arttıracak düşünülmemektedir. Çıkarılacak diğer bir sonuç ise silanlanmış pomzanın ilavesiyle sürtünme katsayısı daha da iyileşmiştir. Bu durum

arayüzeyin iyileşmesi sonucu polimer aktarımının daha da azalmasıyla açıklanabilir(Dinçer, 2020).



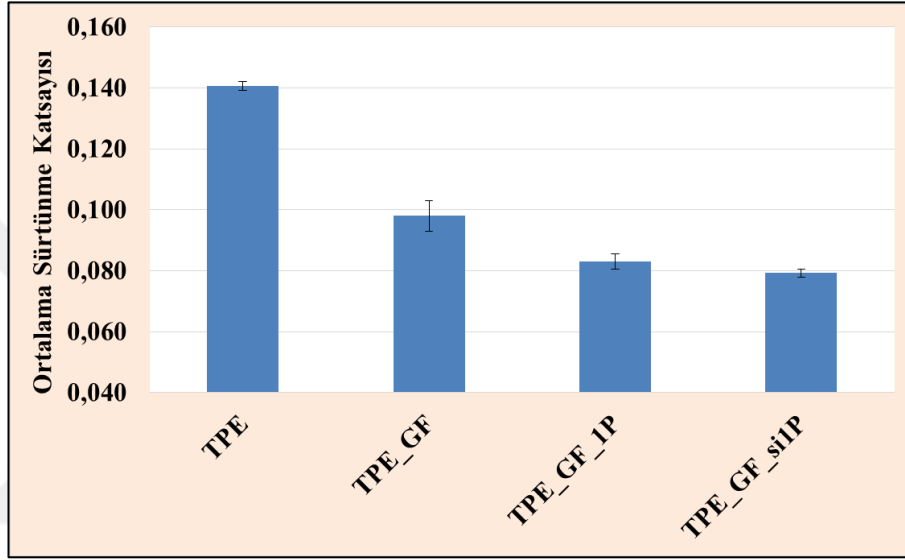
Şekil 4.25. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı



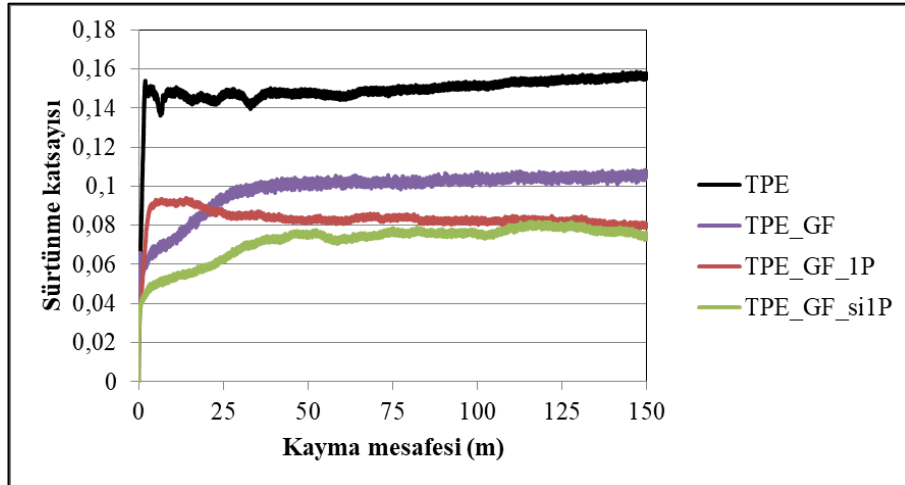
Şekil 4.26. TPE'ye bazalt elyaf ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.25. ve Şekil 4.26. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %10 oranında yüzeyi bazalt elyaf ilavesiyle sürtünme katsayısı değerinde azalma meydana gelmektedir. Bu durumun sebebi, elyaf malzemesinin sert faz gibi davranması ve temas alanını azaltmasıdır. Aşınma boyunca polimer yüzeyinin sıyrılmasını engellendiği için

sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir. TPE bazalt elyafa ağırlıkça %1 pomzanın ilavesiyle sürtünme değeri düştüğü gözlenmiştir. Pomza ve bazalt elyafın kullanılmasıyla meydana gelen hibrit etki ile sürtünme katsayısının düştüğü yorumu yapılabilir. Çıkarılacak diğer bir sonuç ise TPE'ye ağırlıkça %1 silanlanmış pomza takviyesiyle, matris-takviye arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiği ve daha homojen dağılarak aşınmayı azalttığı söylenebilir(Karatas ve diğ., 2019; Karsli ve diğ., 2018).



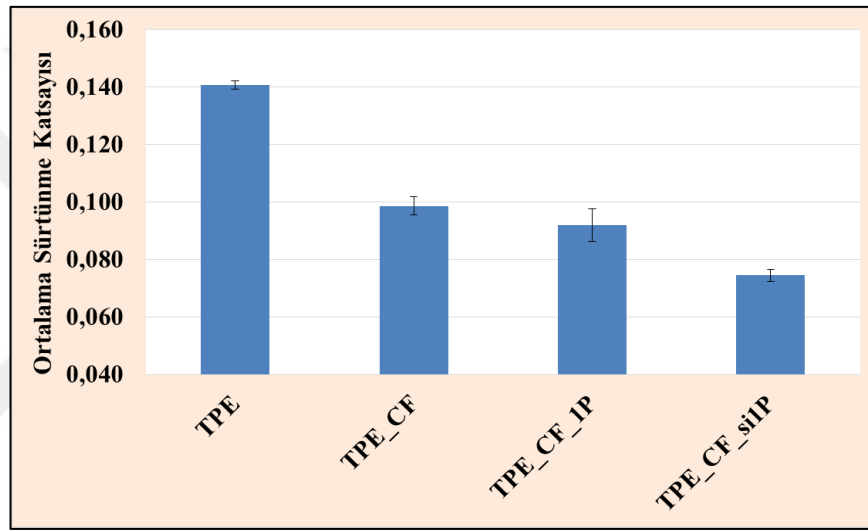
Şekil 4.27. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı



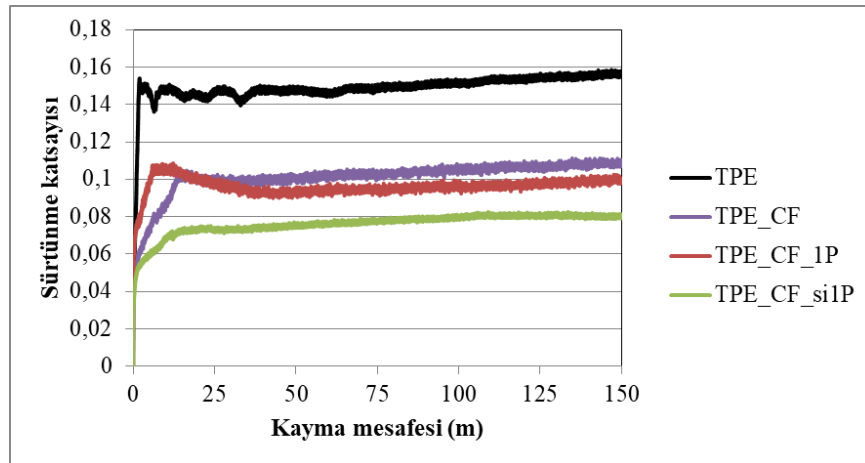
Şekil 4.28. TPE'ye cam elyaf ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.27. ve Şekil 4.28. incelediğinde TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf takviyesiyle sürtünme katsayısı azalmaktadır. Bu durumun sebebi, sert faz ilavesiyle

polimer yüzeyinin sıyrılmasını engellenmesinden kaynaklanabilir. Cam elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle sürtünme katsayısında azalma meydana gelmektedir. Bunun sebebi, hibrit etki sayesinde pomza partikülleri TPE matris içerisinde daha homojen dağılarak aşınmayı azaltıcı yönde performans sergilemektedirler. Çıkarılacak diğer bir sonuç ise cam elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında silanlanmış pomza ilavesiyle sürtünme katsayısı değerlerinin azalmasıdır. Pomza partikülleri ile TPE matris arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileştiği ve daha homojen dağılarak aşınmayı azaltmıştır(Karatas ve diğ., 2019; Karsli ve diğ., 2018).



Şekil 4.29. TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait ortalama sürtünme katsayısı



Şekil 4.30. TPE'ye karbon elyaf ve silanlanmamış pomza takviyeli TPE'ye ait sürtünme katsayısı-kayma mesafesi eğrileri

Şekil 4.29. ve Şekil 4.30. incelediğinde TPE'ye ağırlıkça %10 oranında karbon elyaf ilavesiyle sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir. Bu durumun sebebi, elyaf takviyesiyle sert faz meydana gelir ve yüzeyinin sıyrılması engellendiği için sürtünme katsayısında da azalma meydana gelir. Karbon elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir. Bu durumun hibrit etkiyle ortaya çıktığı söylenebilir. Bu hibrit etki sayesinde pomza partikülleri TPE matris içerisinde homojen dağılarak aşınmayı azaltıcı yönde performans sergilemektedirler. Çıkarılacak bir diğer sonuç ise karbon elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında silanlanmış pomza ilavesiyle sürtünme katsayısı değerleri düşmüştür. Pomza partiküllerinin TPE matris ile arasındaki arayüzey etkileşiminin iyileşmesi sonucu olarak aşınma daha da düşmüştür.

4.6. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi

Tablo 4.1. TPE'ye karbon elyaf, cam elyaf, bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE matrisli kompozitlere ait diferansiyel taramalı kalorimetre analizi sonuçları

Numune kodu	T _m (°C)	ΔH _m (J/g)	X _c (%)rel
TPE	219,08	44,17	100,00
TPE_1P	218,66	43,64	99,80
TPE_si1P	218,28	41,95	95,93
TPE_BF	218,36	38,85	97,73
TPE_BF_1P	218,26	39,03	99,28
TPE_BF_si1P	218,77	38,52	97,99
TPE_GF	218,88	39,48	99,31
TPE_GF_1P	218,16	39,89	101,47
TPE_GF_si1P	218,46	37,95	96,54
TPE_CF	218,42	37,71	94,86
TPE_CF_1P	217,83	40,57	103,20
TPE_CF_si1P	218,15	38,32	97,48

Tablo 4.1. TPE'ye ve oluşturulan kompozitlerin erime sıcaklığı, entalpi değişim değerleri ve göreceli yüzde kristalinite oranları verilmiştir.

Tablo 4.1. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle kristalizasyon derecesi azalmıştır. Pomza matris içerisinde fiziksel bir engelleyici gibi davranarak polimerin kristalizasyon derecesini düşürmüştür yorumu yapılabilir. Diğer sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kristalizasyon derecesinin daha da düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi silanlama işleminin matrisin kristallenme oranını azaltmasından olabileceği düşünülmektedir(Sun ve diğ., 2007).

TPE'ye ağırlıkça %10 oranında bazalt elyaf ilavesiyle erime sıcaklığında bir değişiklik olmamıştır. Erime entalpisi ve kristalizasyon derecesi azalmıştır. Bazalt elyaf takviye oranı kritik bir seviyede matrisin zincirlerinin hareketliliğini kısıtlar ve kristal oluşumunu engelleyebileceği yorumu yapılabilir. Bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle kristalizasyon derecesi bir miktar artmıştır. Bunun sebebi pomzanın kristalinite oranını arttırmasıdır. Diğer sonuç ise silanlanmış pomza kristalizasyon derecesi bir miktar düşmesi ve silanlama işleminin kristalizasyon derecesini azalttığı yorumu yapılabilir(Karsli ve Aytaç, 2013).

TPE'ye ağırlıkça %10 oranında cam elyaf ilavesiyle erime sıcaklığında bir değişiklik olmamıştır. Erime entalpisi ve kristalizasyon derecesini azalmıştır. Cam elyafta bazalt elyaftaki gibi takviye oranı kritik bir seviyede matrisin zincirlerinin hareketliliğini kısıtlar ve kristal oluşumu engelleyebileceği yorumu yapılabilir. Cam elyaflı TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle kristalizasyon derecesi artmıştır. Bunun sebebi pomzanın cam elyafı yapı içerisinde daha iyi bir dağılım sergileyerek dağıtması ve bu sayede kristal oluşumunu arttırmasıdır. Diğer sonuç ise silanlanmış pomza takviyesiyle kristalizasyon derecesinin azalmasıdır. Bunun sebebi silanlama işlemi ile birlikte takviye elemanlarının yapı içerisinde fiziksel bir engelleyici gibi davranması yorumu yapılabilir.

Karbon elyaf ilavesinde ise erime sıcaklığında bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte erime entalpisi ve kristalizasyon derecesi azalmıştır. Karbon elyaf matris zincirlerinin hareketliliğini kısıtlamaya başlar. Bu nedenle karbon elyaf matrisin kristallenmesini kısıtlamıştır yorumu yapılabilir. Karbon elyaf takviyeli TPE'ye

ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle kristalizasyon derecesi artmıştır. Bunun sebebi karbon elyaf ve pomzanın eş zamanlı ilavesiyle ortaya çıkan kristal oluşumunun yorumu yapılabilir. Diğer sonuç ise silanlanmış pomza kristalizasyon derecesi bir miktar azalmıştır. Bunun sebebi silanlama işlemiyle birlikte pomza partikülünde ortaya çıkan fiziksel engelleyici roldür.

4.7. Termogravimetrik Analiz

Tablo 4.2.'de TPE ve kompozitlerin %5 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%5}$), %10 ağırlık kaybı sıcaklığı ($T_{\%10}$) ve en fazla ağırlık kaybı oranının olduğu sıcaklığın ($T_{\max}$) değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2. TPE'ye karbon elyaf, cam elyaf, bazalt elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE matrisli hibrit kompozitlere ait termogravimetrik analiz sonuçları

Numune kodu	$T_{\%5}$ (°C)	$T_{\%10}$ (°C)	$T_{\max}$ (°C)
TPE	360,12	368,86	394,98
TPE_1P	363,29	372,37	400,71
TPE_si1P	363,15	371,82	399,91
TPE_BF	363,88	372,54	400,02
TPE_BF_1P	363,73	372,39	399,80
TPE_BF_si1P	364,02	373,00	400,73
TPE_GF	364,88	373,93	399,62
TPE_GF_1P	364,82	373,78	398,91
TPE_GF_si1P	365,92	375,11	401,04
TPE_CF	363,41	372,30	399,17
TPE_CF_1P	365,41	374,68	400,44
TPE_CF_si1P	365,95	375,44	400,18

Tablo 4.2. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle %5 ağırlık kaybı sıcaklığı yaklaşık 3°C artmıştır. Pomza yüksek termal kararlılığa sahiptir. Yapı

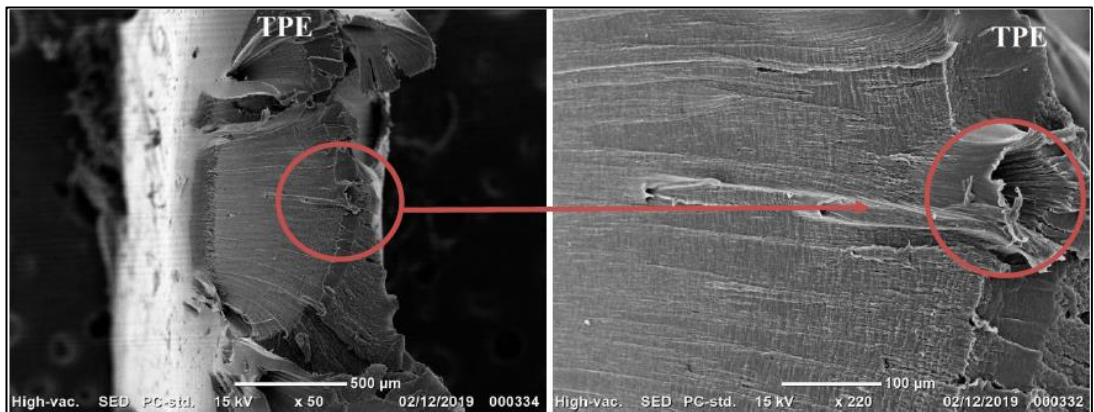
içerisinde bir termal bariyer görevi görerek kompozitin bozunma sıcaklığını artırır. Diğer sonuç ise silanlanmış pomza takviyesiyle önemli bir değişiklik olmamıştır(Sever ve diğ., 2019).

TPE'ye ağırlıkça %10 oranında bazalt elyaf ilavesiyle %5 ağırlık kaybı değerleri yaklaşık 3°C artmıştır. Bazalt elyaf yüksek termal kararlılığa sahip bir malzemedir. Bazalt elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle bir değişiklik olmamıştır. Diğer sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda önemli bir değişiklik olmamasıdır(Kim, 2012)

TPE'ye ağırlıkça %10 cam elyaf takviyesiyle %5 ağırlık kaybı değerlerinde sıcaklık yaklaşık 5°C artmıştır. Bunun sebebi cam elyafın yüksek termal kararlılığıdır. Cam elyaf takviyeli TPE matrisli kompozite ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle önemli bir değişiklik olmamıştır. Gözlemlenen bir diğer sonuç ise silanlanmış pomza takviyesiyle de bir değişiklik olmamasıdır(Samal ve diğ., 2009).

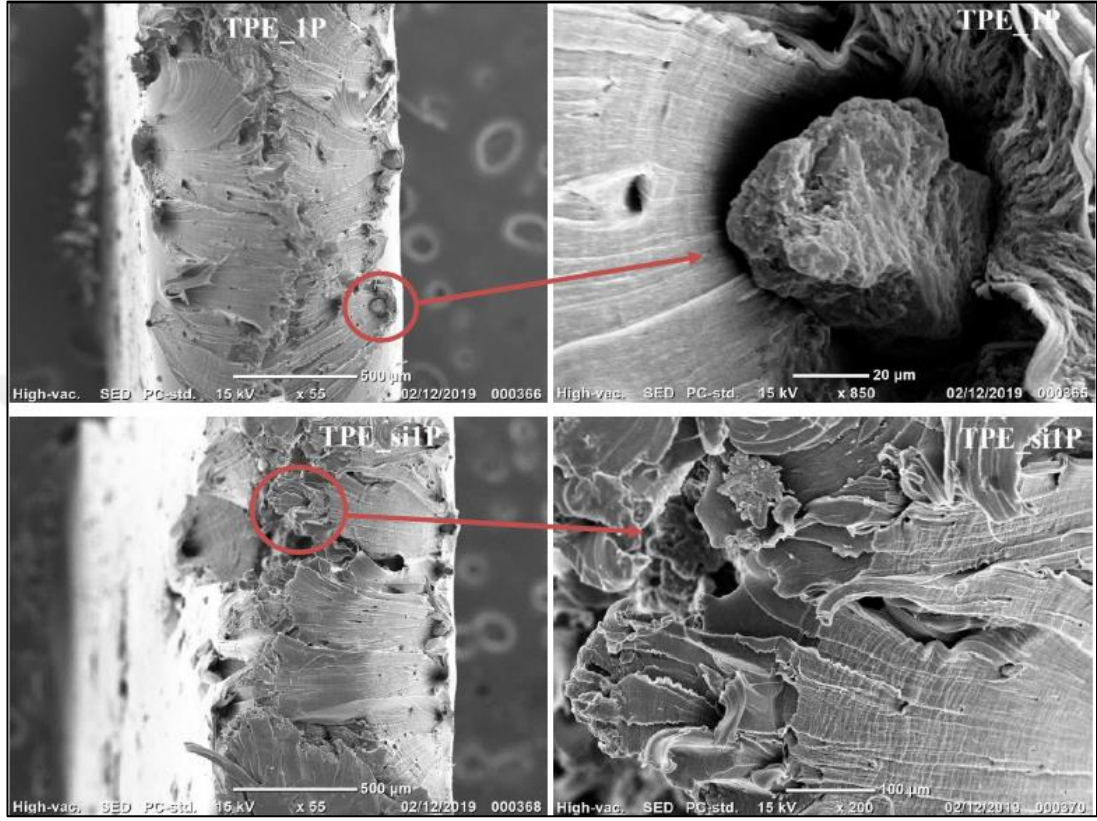
TPE'ye ağırlıkça karbon elyaf ilavesiyle birlikte kompozitin ağırlığının %5'ini kaybettiği sıcaklık yaklaşık 3°C artmıştır. Bunun sebebi karbon elyafın sahip olduğu yüksek termal kararlılıktır. Karbon elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle %5 ağırlık kaybının olduğu sıcaklık değerlerinde yaklaşık 2°C'lik bir artış olmuştur. Bunun sebebi pomzanın sahip olduğu yüksek termal kararlılıktır. Diğer bir sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda belirgin bir değişiklik olmamasıdır(Rezaei ve diğ., 2009).

4.8. Taramalı Elektron Mikroskop Analizi (SEM)



Şekil 4.31. TPE'ye ait SEM görüntüleri

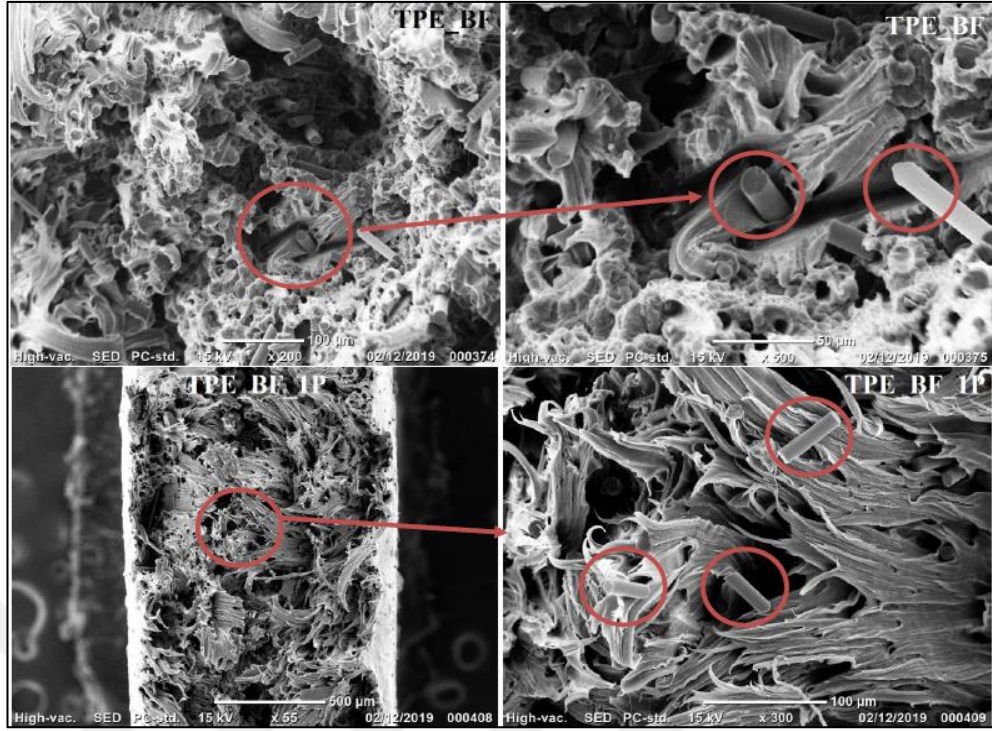
Şekil 4.31.'de TPE yüzeyinde görülen katlanmalar plastik deformasyon olduğunun göstergesidir. Yüzeyinde oluşan bantlar ise sünek bir kırılma davranışını göstermektedir.



Şekil 4.32. Silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

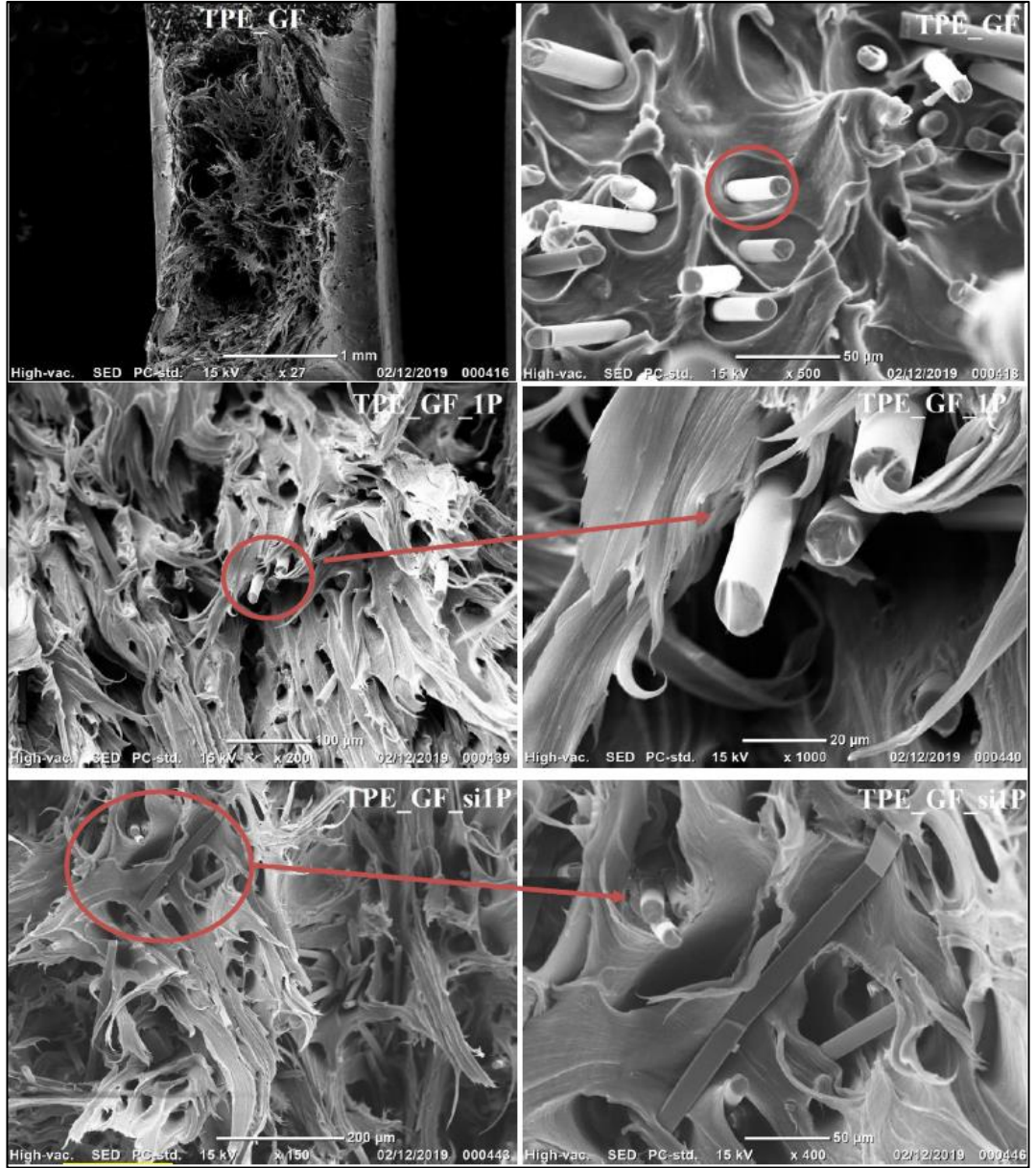
Şekil 4.32. incelendiğinde TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle kırılma yüzeyinde sünme davranışı görülmektedir. Dolayısıyla kompozit malzemenin yüksek uzama sergileyerek kopmuş olduğu söylenebilir. Bununla birlikte kırılma yüzeyindeki pomza partikülünün matris tarafından iyi bir şekilde ıslatılmadığı görülmektedir. Diğer sonuç ise silanlanmış pomza takviyesiyle kırılma yüzeyinde benzer bir görüntünün olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.33.'te TPE'ye ağırlıkça %10 bazalt elyaf ilavesiyle matris ile elyaf arasında boşluklar oluşmuştur. Bununla birlikte kırılma yüzeyinde fiber çıkması (fiber pull-out) sebebiyle birçok boşluğun olduğu da görülmektedir. Bazalt elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle elyaflar matris tarafından iyi bir şekilde ıslatılmamıştır. Kompozite ait kırılma yüzeyinde, yüzeyleri pürüzsüz şekilde olan elyaflar açık şekilde görülmektedir.

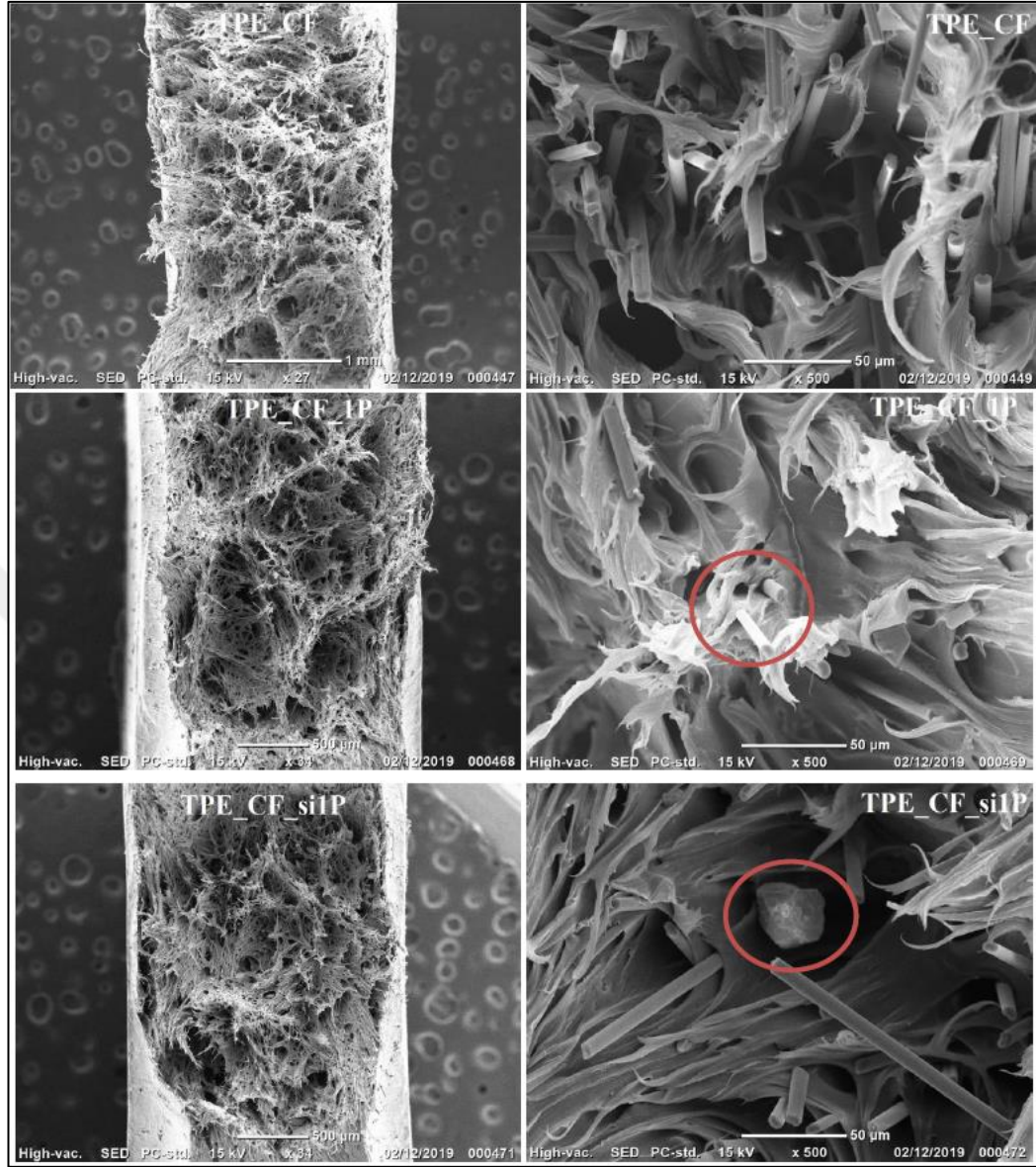


Şekil 4.33. Bazalt elyaf ile bazalt elyaf, pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.34. incelendiğinde cam elyaf takviyeli TPE'de iyi bir yapışmanın olduğu görülmektedir. Cam elyaf matrise göre daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Bu sebeple gerilim transferi ile çekme dayanımı artmıştır. Cam elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle matris ile elyaf arasında iyi bir yapışma kalitesi oluşmamıştır. Bu nedenle matristen takviye elemanlarına etkili bir gerilim transferi gerçekleşmemiştir. Diğer sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda matris ile elyaf arasındaki boşlukların azalmış olmasıdır. Elyafın matris tarafından daha iyi bir şekilde ıslatılmış olduğu söylenebilir. Bu sayede matrinden takviye elemanına daha etkili bir yük transferi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.34. Cam elyaf ve cam elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri



Şekil 4.35. Karbon elyaf ve karbon elyaf ile silanlanmamış/silanlanmış pomza takviyeli TPE'ye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.35. incelendiğinde karbon elyaf takviyeli TPE'de elyafların matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmıştır. Ayrıca yüzeyinde kesit daralması olmadığı görülmektedir. Bunun sebebinin karbon elyaf takviyesiyle sünekliğinin azalması ve kopma uzaması değerinin azalması olduğu söylenebilir. Karbon elyaf takviyeli TPE'ye ağırlıkça %1 oranında pomza ilavesiyle elyaf ile matris arasında etkili bir yapışma olmamıştır. Kırılan yüzeyde pürüzsüz şekilde yer alan elyaflar açık şekilde görülmektedir. Diğer bir sonuç ise pomza yüzeyine uygulanan silanlama işlemi sonucunda kayda değer bir değişikliğin olmamasıdır. Kopan yüzeyde bulunan bir pomza partikülü açık bir şekilde görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında TPE'nin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerini geliştirmek için elyaf (bazalt elyaf, cam elyaf, karbon elyaf) ve yüzey modifikasyonu yapılmış veya yapılmamış pomza katkısı ile takviye edilmiştir. Üretilen kompozitler yapılan testlerin sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Pomzaya uygulanan silanlama işlemleri sonrasında TPE ile birlikte üretilerek çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonucunda üçüncü işlem tercih edilmiştir. Bunun sebebi hem çekme dayanımının daha fazla olması hem de 1 ml silan ile daha fazla pomzanın silanlanması olarak gösterilmiştir. Belirlenen silanlı pomzaya FTIR analizi yapılarak silanlama işleminin başarımını bu analiz ile de tasdik edilmiştir.

Kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek üzere çekme ve üç nokta eğme testi yapılmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre TPE matrisine pomza takviyesiyle birlikte çekme dayanımı ve modülü artmış, kopma uzaması azalmıştır. Silanlı pomza takviyesiyle çekme dayanımı, yalın TPE ve TPE pomza takviyesine göre arttığı gözlenmiştir. Modülü ve kopma uzaması pomza takviyeli TPE ile arasında bir değişim gözlenmemiştir. TPE'ye bazalt elyaf ilavesiyle çekme dayanımı ve modülünde artış gözlenmiştir. Kopma uzaması bazalt elyaf takviyesiyle azalmıştır. TPE bazalt elyaflı kompozite pomza takviyesiyle çekme dayanımı azalmıştır. Modülü ve kopma uzamasında bir değişiklik gözlenmemiştir. Silanlı pomza takviyesiyle ise çekme dayanımı bazalt elyaflı TPE'ye ve pomzalı hibrit kompozite göre arttığı gözlenmiştir. Modülü ve kopma uzamasında bazalt elyaflı TPE'ye göre herhangi bir değişim gözlenmemiştir. TPE'ye cam elyaf ilavesiyle çekme dayanımı ve modülünde yüksek bir artış gözlenmiştir. Kopma uzaması cam elyaf takviyesiyle çok azalmıştır. TPE cam elyaflı kompozite pomza takviyesiyle çekme dayanımı ve modülü azalmıştır. Kopma uzamasında cam elyaflı TPE'ye göre bir değişiklik gözlenmemiştir. Silanlı pomza takviyesiyle ise çekme dayanımı pomzalı hibrit kompozite göre arttığı ancak cam elyaflı TPE'nin altında kaldığı gözlenmiştir. Modülü ve kopma uzamasında cam elyaflı TPE'ye göre herhangi bir değişim

gözlenmemiştir. TPE'ye karbon elyaf ilavesiyle çekme dayanımı ve modülünde çok yüksek bir artış gözlenmiştir. Kopma uzaması karbon elyaf takviyesiyle aşırı derecede azalmıştır. TPE karbon elyafli kompozite pomza takviyesiyle çekme dayanımı ve modülü azalmıştır. Kopma uzamasında karbon elyafli TPE'ye göre bir değişiklik gözlenmemiştir. Silanlı pomza takviyesiyle ise çekme dayanımı pomzalı hibrit kompozite göre arttığı ancak karbon elyafli TPE'nin altında kaldığı gözlenmiştir. Modülü ve kopma uzamasında karbon elyafli TPE'ye göre herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Çekme testinde en iyi dayanımı karbon elyafli TPE vermesine karşın optimum değerler TPE_BF_si1P'de elde edilmiştir.

Üç nokta eğme testi sonuçlarına göre TPE matrisine pomza takviyesiyle birlikte eğme dayanımı artmıştır. Silanlı pomza takviyesiyle eğme dayanımının azaldığı gözlenmiştir. TPE'ye bazalt elyaf ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Bazalt elyafli TPE'ye pomza ilavesiyle eğilme dayanımı değerinde yaklaşık %5 düşüş gözlenmiştir. Silanlı pomza ilavesiyle ise eğme dayanımı değerinde artış olsa da bazalt elyafli TPE'nin altında kalmıştır. TPE'ye cam elyaf ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Cam elyafli TPE'ye pomza ilavesiyle eğilme dayanımı değerinde yaklaşık %13 azalma meydana gelmiştir. Silanlı pomza ilavesiyle ise eğme dayanımı yaklaşık %19 daha da düştüğü görülmüştür. TPE'ye karbon elyaf ilavesiyle eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Karbon elyafli TPE'ye pomza ilavesiyle eğilme dayanımında yaklaşık %10 düşüş olduğu belirlenmiştir. Silanlı pomza ilavesiyle ise eğme dayanımı pomzalı karbon elyafli TPE ile aynı kalmıştır. Eğme testinde en iyi sonuç karbon elyafli TPE kompozitinde gözlenmiştir.

Dinamik mekanik analiz sonuçlarına göre TPE pomza takviyesiyle birlikte depo modülü artmıştır. Silanlı pomza takviyesiyle birlikte depo modülünün iyileştiği belirlenmiştir. Bazalt elyaf ilavesiyle depo modülü değeri artmıştır. Bazalt elyafli TPE kompozitin depo modülü değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Silanlı pomza ilavesiyle ise depo modülünde artış gözlenmiştir. TPE'ye cam elyaf ilavesiyle depo modülü değerlerinde yüksek bir artış gözlenmiştir. Cam elyafli TPE'ye pomza ilavesiyle depo modülü değerinde düşüş gözlenmiştir. Silanlı pomza ilavesiyle ise depo modülü değerinde artış olsa da cam elyafli TPE'nin altında kalmıştır. TPE'ye karbon elyaf ilavesiyle depo modülü değerlerinde gözle görülür bir artış elde edilmiştir. Karbon elyafli TPE'ye pomza ilavesiyle depo modülü değerinde düşüş

gözlenmiştir. Silanlı pomza ilavesiyle ise depo modülü değerinde artış olsa da karbon elyafı TPE'nin altında kalmıştır. Dinamik mekanik analize göre en iyi sonuç karbon elyafı TPE kompozitinde gözlenmiştir.

Aşınma testi sonuçlarına göre TPE'ye pomza ilavesiyle sürtünme katsayısı azalmıştır. Silanlanmış pomzanın ilavesiyle ise sürtünme katsayısı ile iyileştiği görülmüştür. TPE'ye bazalt elyaf ilavesiyle sürtünme katsayısı değerinde gelişme olduğu belirlenmiştir. Bazalt elyafı TPE'ye pomza ilavesiyle sürtünme katsayısı bazalt elyafı TPE'ye göre yaklaşık %21 iyileştiği bulunmuştur. Silanlanmış pomza takviyesiyle sürtünme katsayısı bazalt elyafa göre yaklaşık %25 oranında azalma olduğu görülmüştür. TPE'ye cam elyaf ilavesiyle sürtünme direncinin arttığı belirlenmiştir. Cam elyafı TPE'ye pomza ilavesiyle sürtünme katsayısı cam elyafı TPE'ye %15, silanlanmış pomza takviyesiyle sürtünme katsayısı %20 oranında iyileşme sağlamıştır. TPE'ye karbon elyaf ilavesiyle sürtünme katsayısı düştüğü gözlenmiştir. Karbon elyafı TPE'ye pomza ilavesiyle sürtünme katsayısı karbon elyafı TPE'ye göre yaklaşık %7, silanlanmış pomza takviyesiyle yaklaşık %24 iyileşerek sürtünme direncini arttırmıştır. Aşınma testine göre en iyi sonuç karbon elyafı silanlanmış pomza takviyeli TPE kompozitinde gözlenmiştir.

Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi sonuçlarına göre bütün numuneler için yalın TPE'ye göre erime sıcaklıklarında kayda değer bir değişim olmadığı bulunmuştur. Relatif kristalizasyon derecesi sadece cam elyafı pomza takviyeli TPE hibrit kompozitte ve karbon elyafı pomza takviyeli TPE hibrit kompozitinde arttığı bulunmuştur. En iyi sonuç karbon elyafı pomza takviyeli TPE hibrit kompoziti göstermiştir.

Termogravimetrik analiz sonuçlarına göre bütün numuneler yalın TPE'ye göre bozunma sıcaklıklarını arttırmıştır. Ayrıca silanlı pomza içeren numunelerin hepsi pomza içeren numunelere göre bozunma sıcaklıklarında değişim gözlenmemiştir. Bozunma sıcaklığındaki en yüksek artış karbon elyafı silanlanmış pomza takviyeli TPE hibrit kompozitinde görülmesine karşın bu değer karbon elyafı pomza takviyesiyle yaklaşık aynı olarak kabul edilmiştir.

Bütün sonuçlar incelendiğinde silanlanmamış/silanlanmış pomza ve elyaf (karbon, bazalt, cam) takviyesiyle yalın TPE'ye göre erime sıcaklığı hariç bütün özelliklerini

iyileştirdiği görülmüştür. Pomzayı silanlama işleminde tribolojik ve termomekanik özelliklerinin gözle görülür bir iyileşme gösterdiği, diğer testler için ise kısmi bir iyileşme olduğu görülmüştür. Bu durum silanlama işleminin yeteri kadar etki etmediği söylenebilir.

Tez kapsamında TPE matrisli kompozitlerle ilgili çalışılmıştır. Kazanılan bilgi birikimi ve tecrübe aktarımıyla ileride çalışma yapacak olan araştırmacılara şu öneriler yapılmaktadır:

- 1)Yüzey fonksiyonelleştirme işleminde partiküllerin daha homojen dağılımını sağlamak için ultrasonik karıştırma işlemi uygulanarak etkisi görülebilir.
- 2)Yüzey fonksiyonelleştirme işleminde partiküller ile sınırlı kalmayıp elyaf ve matrise de uygulanabilir.
- 3)TPE matrisli kompozitlerin enjeksiyon basıncı gibi üretim parametreleri değiştirilerek, üretim parametrelerinin etkisi incelenebilir.
- 4) TPE matrisli kompozitlerin elyaf oranı artan kompozitler oluşturularak etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

Amico S.C., Brostow W., Dutta M., Góral T., de Medeiros J. T. N., Silva L.V., de Souza J. R., Composites of Polyester+Glass Fiber Residues vs. Composites with Mineral Fillers, *Composite Interfaces*, 2012, **19**(8), 511-522.

Anuar H., Ahmad S. H., Rasid R., Ahmad A., Wan Busu W. N, Mechanical Properties and Dynamic Mechanical Analysis of Thermoplastic-Natural-Rubber-Reinforced Short Carbon Fiber and Kenaf Fiber Hybrid Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, **107**, 4043–4052.

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.

Askeland D. R., Fulay P. P., Wright W. J., The Science and Engineering of Materials, 6th ed., Cengage Learning, Stamford, 2010.

Autar K. K., Mechanics of Composite Materials, 2nd ed., Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2006.

Balasubramanian M., Composite Materials and Processing, 1st ed., CRC Press, Boca Raton, 2014.

Biron M., Thermoplastics and Thermoplastic Composites, 1st ed., William Andrew, Waltham, 2013.

Bismarck A., Brostow W., Chiu R., Lobland H. E. H., Ho K. C. K., Effects of Surface Plasma Treatment on Tribology of Thermoplastic Polymers, *Polymer Engineering and Science*, 2008, **48**(10), 1971-1976.

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**(1), 337–342.

Cerrada M. L., Benavente R., Pérez E., Effect of Short Glass Fiber on Structure and Mechanical Behavior of an Ethylene-1-Octene Copolymer, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 2001, **202**(13), 2686-2695.

Chen F., Bazhenov S., Hiltner A., Baer E., Flexural Failure Mechanisms in Unidirectional Glass Fibre Reinforced Thermoplastics, Composites, *Composite*, 1994, **25**(1), 11-20.

Chung D. D. L., Carbon Fiber Composites, 1st ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1994.

Çoban O., Bora M. Ö., Kutluk T., Fidan S., Sınmazçelik T., Effect of Silane as Coupling Agent on Dynamic Mechanical Properties of Volcanic Ash Filled PPS Composites, 5th International Science Congress & Exhibition APMAS2015, Lykia, Oludeniz, 16-19 Nisan 2015.

Deák T., Czirány T., Investigation of Basalt Fiber Reinforced Polyamide Composites, *Materials Science Forum*, 2008, **589**, 7-12.

Dinçer U., Yerel Kaynaklar Kullanılarak Poli (Laktik Asit) Matrisli Doğal Kompozit Malzeme Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 618998.

Drobný J. G., Handbook of Thermoplastic Elastomers, 2nd ed., Elsevier, Waltham, 2014.

El-Sonbati A. Z., Thermoplastic Elastomers, 1st ed., InTech, Croatia, 2012.

Guo J., Wang Z., Tong L., Liang W., Effects of Short Carbon Fibres and Nanoparticles on Mechanical, Thermal and Shape Memory Properties of SMP Hybrid Nanocomposites, *Composites Part B*, 2016, **90**, 152-159.

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.

Jing H., Yaxin Q., Defeng W., Jun W., 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.

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*, 2019, **163**, 730–739.

Karataş Demiray E., Karbon Elyaf, Grafen Nanoplatelet ve Zincir Uzatici Katkilarin Poliamit 6,6 Kompozitlerin Özellikleri Üzerine Eş Zamanlı Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 576701.

Karlı Yılmaz N. G., Farklı Kaplama Malzemeleri ile Kaplanmış Karbon Elyaf Takviyeli Poliamit 6,6 Ve Poli(Bütlen Teraftalat) Karmaların Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 360885.

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., 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**, 4429-4444.

Kaynak C., Arikana A., Tincera T., Flexibility Improvement of Short Glass Fiber Reinforced Epoxy by Using a Liquid Elastomer, *Polymer*, 2003, **44**, 2433–2439.

Kılıç G. B., Karahan A. G., Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (ftır) Spektroskopisi ve Laktik Asit Bakterilerinin Tanısında Kullanılması, *Gıda*, 2010, 35(6), 445-452.

Kızıl A., Doğal Mineral ve Elyaf Takviyeli Poli(Fenilen Sülfid) Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 576692.

Kim H., Thermal Characteristics of Basalt Fiber Reinforced Epoxy-Benzoxazine Composites, *Fibers and Polymers*, 2012, **13**(6), 762-768.

Kodal M., Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit) Temelli Nanokompozitlerinin Fiziksel Özellikleri ve Kristalizasyon Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 379726.

Kurniawan D., Kim B. S., Lee H. L., Lim J. Y., Effect of Silane Treatment on Mechanical Properties of Basalt Fiber/Poly(lactic Acid) Ecofriendly Composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2013, **52**(1), 97-100.

Li Y., Sang L., Wei Z., Ding C., Chang Y., Chen G., Zhang W., Liang J., Mechanical Properties and Crystallization Behavior of Poly(butylene succinate) Composites Reinforced with Basalt Fiber, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2015, **122**, 261–270.

Manas D., Mizera A., Navratil M., Manas M., Ovsik M., Sehnalek S., Stoklasek P., The Electrical, Mechanical and Surface Properties of Thermoplastic Polyester Elastomer Modified by Electron Beta Radiation, *Polymers*, 2018, **10**(10), 1057.

Matthews F. L., Rawlings R. D., Composite Materials: Engineering and Science, 1st ed, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 1999.

Muniandy K., Ismail H., Othman N., Biodegradation, morphological, and Ftir Study of Rattan Powder-filled Natural Rubber Composites as a Function of Filler Loading and a Silane Coupling Agent, *BioResources*, 2012 **7**(1), 957-971.

Nagai Y., Ogawa T., Nishimoto Y., Ohishi F., Analysis of Weathering of a Thermoplastic Polyester Elastomer II. Factors Affecting Weathering of a Polyether-Polyester Elastomer, *Polymer Degradation and Stability*, 1999, **65**, 217-224.

Pandey N., Tewari C., Dhali S., Bohra B. S., Rana S., Mehta S. P. S., Singhal S., Chaurasia A., Sahoo N. G., Effect of Graphene Oxide on The Mechanical and Thermal Properties of Graphene Oxide/Hytrel Nanocomposites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2019, DOI: 10.1177/0892705719838010.

Prajapati R. S., Jain S., Shit S. C., Development of Basalt Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites and Effect of PE-g-MA on Composites, *Polymer Composites*, 2017, **38**, 2798–2805.

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, *Composite Structures*, 2018, **197**, 21–27.

Rashad A. M., A Short Manual on Natural Pumice as a Lightweight Aggregate, *Journal of Building Engineering*, 2019, 25, 2352-7102.

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.

Sahin A. E., Yildiran Y., Avcu E., Fidan S., Sinmazcelik T., Mechanical and Thermal Properties of Pumice Powder Filled PPS Composites, *Proceedings of the 3rd International Congress APMAS2013*, Antalya, Turkey, 24-28 April 2013.

Sahin A., Karsli N. G., Sinmazcelik T., Comparison of the Mechanical, Thermomechanical, Thermal, and Morphological Properties of Pumice and Calcium Carbonate-Filled Poly(phenylene sulfide) Composites, *Polymer Composites*, 2016, **37**(11), 3160-3166

Samal S. K., Mohanty, S., Nayak, S. K., Polypropylene-Bamboo/Glass Fiber Hybrid Composites: Fabrication and Analysis of Mechanical, Morphological, Thermal, and Dynamic Mechanical Behavior, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2009, **28**(22), 2729–2747.

Sang L., Zheng G., Hou W., Yang X., Wei Z., Crystallization and Mechanical Properties of Basalt Fiber-Reinforced Polypropylene Composites with Different Elastomers, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2018, **134**, 1531–1543.

Sever K., Atagür M., Tunçalp M., Altay L., Seki Y., Sarıkanat M., The Effect of Pumice Powder on Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2018, **32**(8), 1092-1106.

Spanoudakis J., Young R. J., Crack Propagation in a Glass Particle-filled Epoxy Resin, *Journal Materials Science*, 1984, **19**, 473–486.

Sreekanth M. S., Joseph S., Mhaske S. T., Mahanwar P. A., Effects of Mica and Fly Ash Concentration on the Properties of Polyester Thermoplastic Elastomer Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2011, **24**(3), 317-331.

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.

Tayfun Ü., Kanbur Y., Asidik ve Basık Pomza İçeren Polipropilen Kompozitlerinin Mekanik, Fiziksel ve Morfolojik Özellikleri, *Sakarya University Journal of Science*, 2018, **22**(2), 333-339.

Theravalappil R., Svoboda P., Vilcakova J., Poongavalappil S., Slobodian P., Svobodova D., A Comparative Study on the Electrical, Thermal and Mechanical

Properties of Ethylene–octene Copolymer Based Composites with Carbon Fillers, *Materials and Design*, 2014, **60**, 458–467.

URL-1 http://atozplastics.com/upload/literature/surface_modifications.asp (Ziyaret Tarihi:24 Şubat 2020).

Varsavas S. D., Kaynak C., Effects of Glass Fiber Reinforcement and Thermoplastic Elastomer Blending on the Mechanical Performance of Polylactide, *Composites Communications*, 2018, **8**, 24–30.

Wagner J. R. J., Mount E. M. III, Giles H. F. J., Extrusion: the Definitive Processing Guide and Handbook, 2nd ed., Elsevier, Waltham, 2014.

Wallenberger F. T., Bingham P. A., Fiberglass and Glass Technology Energy-Friendly Compositions and Applications, 1st ed., Springer, Pennsylvania, 2010.

Yaxin Q., Jun W., Defeng W., Zhifeng W., Ming Z., Ye Y., Nengxin W., Thermoplastic Polyester Elastomer Nanocomposites Filled with Graphene: Mechanical and Viscoelastic Properties, *Composites Science and Technology*, 2016, **132**, 108-115.

Yaxin Q., Defeng W., Wenyuan X., Zhifeng W., Sheng P., Thermoplastic Polyester Elastomer Composites Containing Two Types of Filler Particles with Different Dimensions: Structure Design and Mechanical Property Control, *Composite Structures*, 2018, **197**, 21–27.

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.

Yılmaz T., Polimer Matrisli Kompozitlerin Pim İle Yük Taşıma Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006, 197905.

Zainal Z., Ismail H., Polypropylene/(Waste Tire Dust)/(Short Glass Fiber Composites): Effects of Silane Coupling Agent and Dynamic Vulcanization, *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 2011, **17**(4), 245-253.

Zhao Z., Zhao X., Gong G., Zheng J., Liang T., Yin C., Zhang Q., Influence of Particle Type and Silane Coupling Agent on Properties of Particle-Reinforced Styrene-Butadiene Rubber, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2012, **51**(3), 268–272.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Kartal Y.G., Gul O., Karsli N.G., Yilmaz T., Pumice Addition To Basalt /Carbon/Glass Fiber Reinforced TPE Matrix Composites: Mechanical, Tribological And Thermal Properties, *International Marmara Sciences Congress (Spring 2020)*, Kocaeli, Turkey, 19 -20 June 2020.



ÖZGEÇMİŞ

Yahya Gökberk KARTAL 1995 yılında doğdu. Lise eğitimini Karşıyaka Cihat Kora Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Kazandığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2018 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir.

