

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POMZA TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

ALP EREN ŞAHİN

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POMZA TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ

ALP EREN ŞAHİN

Prof.Dr. Tamer SINMAZÇELİK
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Muzaffer ZEREN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Şenol YILMAZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.


.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2013

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Günümüzde artan teknolojik ve endüstriyel gelişmeler neticesinde geleneksel malzemeler yetersiz kalmaya başlamış ve kompozit malzemelere olan eğilim artış göstermiştir. Bu paralelde düşük yoğunluklu olmaları ve bununla birlikte yüksek özgül özellik serilemeleri polimer matrisli kompozitleri ön plana çıkartmaktadır. Endüstriyel rakabet açısından bakıldığı taktirde maliyet ve istenilen özellik kalitesi bakımından optimum değerini elde edilmesi önem arz etmektedir. Bu paralelde polimer matris içerisine takviye edilen malzemenin ekonomik değeri önem arz etmekte ve eğer maliyeti önemli ölçüde düşürücü yönde etki ediyorsa matris malzemesinin özelliklerin üzerine etkisinin ne şekilde cereyan ettiği önem arz etmektedir. Bundan dolayı Pomza partikülü takviyesinin PPS numunelerin iç yapısına, mekanik, termal ve tribolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Yapmış olduğum çalışmalar sırasında ellerinden geldiği ölçüde bana yardımcı olan ve destek veren Arş. Gör. Y. Müh. Egemen AVCU' ya, Arş. Gör. Yasemin YILDIRAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Sinan Fidan'a teşekkürü bir borç bilirim. Başta sayın rektörümüz Prof. Dr. Sezer Ş. KOMSUOĞLU olmak üzere tüm Kocaeli Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmam sırasında bana her zaman yol gösterici olan ve destek veren, ne zaman kapısını çalsam bıkmadan yardım eden ve beni çalışmam sırasında sürekli cesaretlendiren danışmanım Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK' e şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2013

Alp Eren Şahin

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Termoplastik Matrisli Kompozitler	3
1.2. Matris Malzemesi Poli(fenilen sülfid)	4
1.3. Takviye malzemesi: Pomza	5
1.4. Aşındırıcı Malzeme: Garnet Minerali	6
1.5. Partikül Takviyeli Termoplastik Kompozitler ve Özellikleri	8
2. MALZEME VE YÖNTEM	16
2.1. Kullanılan Malzemeler	16
2.2. Ekstrüzyon ve Enjeksiyonlu Kalıplama Yöntemi İle Termoplastik ve Termoplastik Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi	18
2.2. Üretilen Termoplastik ve Termoplastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin İncelenmesi İçin Kullanılan Test ve Analiz Metotları	22
2.2.1. Mekanik testler	22
2.2.2. Termal testler	23
2.2.3. Katı partikül erozyonu testi	29
2.2.4. Morfolojik analiz metotları	31
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
3.1. Partikül Takviyesinin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi	33
3.1.1. Çekme testi sonuçları	33
3.1.2. Barkol Sertlik Testi	36
3.2. Partikül Takviyesinin Termal ve Termomekanik Özellikler Üzerine Etkisi	36
3.2.1. Termogravimetrik analiz (TGA)	36
3.2.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK)	38
3.2.3. Dinamik mekanik termal analiz (DMTA)	41
3.3. Partikül Takviyesinin Eroziyon Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi	43
3.3.1. Aşındırıcı partikül püskürtme basıncının erozyon oranı üzerine etkisi	43
3.3.2. Partikül çarpma açısının erozyon oranı üzerine etkisi	47
3.3.3. Takviye oranının erozyon oranı üzerine etkisi	48
3.3.4. Aşındırıcı partikül ve takviye boyutunun erozyon üzerine etkisi	49
3.3.5. Aşınmış yüzeylerin görüntü işleme yöntemi ile incelenmesi	51
3.4. Taramalı Elektron Mikroskop Görüntüleri(SEM)	55
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	67
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	72
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Polimer yapı a) amorf yapı b) yarı kristalin yapı.....	4
Şekil 2.1.	Takviye malzemesi 180 mesh boyutlu pomza tozu (a) Sem fotoğraf, (b) Partikül boyut dağılımı	17
Şekil 2.2.	Takviye malzemesi 80 mesh boyutlu pomza tozu (a) Sem fotoğrafı, (b) Partikül boyut dağılımı	17
Şekil 2.3.	Garnet minerali SEM fotoğrafları (a) 180 mesh boyutlu garnet minerali, (b) 80 mesh boyutlu garnet minerali.....	18
Şekil 2.4.	DSM XPLORE marka ekstrüzyon cihazı.....	19
Şekil 2.5.	DSM XPLORE marka enjeksiyon cihazı	20
Şekil 2.6.	DSM XPLORE marka enjeksiyon cihazı iletim ünitesi	20
Şekil 2.7.	Barkol sertlik test cihazı.....	22
Şekil 2.8.	Shimadzu marka universal çekme test cihazı	23
Şekil 2.9.	TA Instruments Q-Series DTK (Q200) cihazı.....	24
Şekil 2.10.	TA Instruments Q-Series TGA (Q50) cihazı	25
Şekil 2.11.	Depolama modülü E', kayıp modül E'', ve kayıp faktör Tan δ arasındaki dinamik mekanik ilişki.....	26
Şekil 2.12.	Uygulanan frekans (f) değerinde sinüzoidal değişime sahip gerilme genliği (ϵ) ile gerilme (ζ) arasındaki faz açısı (δ) farkı.....	27
Şekil 2.13.	Dinamik mekanik termal analizler esnasında kullanılan üç nokta eğme testi	28
Şekil 2.14.	Dinamik Mekanik Termal Analiz (DMTA Q800) cihazı	29
Şekil 2.15.	Katı partikül erozyonu aşınma test düzeneği	30
Şekil 2.16.	DeneySEL çalışmalarda kullanılan SEM cihazı	31
Şekil 2.17.	Leica S8 APO Stereo Mikroskop	32
Şekil 3.1.	Pomza takviyesinin PPS' in (a) çekme dayanımı üzerine (b) elastisite modülü üzerine etkisi.	35
Şekil 3.2.	Pomza takviyesinin PPS polimerinin sertliği üzerine etkisi.....	36
Şekil 3.3.	İnce pomza takviyesinin PPS malzemesinin T_{10} ve T_{20} sıcaklıkları üzerine etkisi.....	37
Şekil 3.4.	Kalın pomza takviyesinin PPS malzemesinin T_{10} ve T_{20} sıcaklıkları üzerine etkisi.....	38
Şekil 3.5.	Pomza takviyesinin PPS malzemesinin maksimum bozunma sıcaklığı üzerine etkisi	38
Şekil 3.6.	Pomza takviyesinin PPS polimerinin camsı geçiş sıcaklığı üzerine etkisi.....	39
Şekil 3.7.	Pomza takviyesinin PPS polimerinin erime sıcaklığı üzerine etkisi	40
Şekil 3.8.	Pomza takviyesinin PPS polimerinin kristalinitesi üzerine etkisi	40
Şekil 3.9.	Pomza takviyesinin PPS polimerinin depo modülü üzerine etkisi	41
Şekil 3.10.	Pomza takviyesinin kayıp modül değeri üzerine etkisi	42

Şekil 3.11. Pomza takviyesinin PPS polimerinin tan delta değeri üzerine etkisi	43
Şekil 3.12. Püskürtme basıncının partikül çarpma açısı üzerine etkisi	44
Şekil 3.13. 30° partikül çarpma açısında (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine basınç etkisi.....	45
Şekil 3.14. 45° partikül çarpma açısında (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine basınç etkisi	46
Şekil 3.15. 60° partikül çarpma açısında (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine basınç etkisi.....	47
Şekil 3.16. 4 bar partikül püskürtme basıncı ile (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine partikülün hedef numuneye çarpma açısının etkisi.....	48
Şekil 3.17. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısı deney parametresi altında partikül takviye oranının erozyon oranı üzerine etkisi (a) kalın pomza takviyeli kompozit, (b) ince pomza takviyeli kompozit.	49
Şekil 3.18. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısı deney parametresi altında takviye partikül boyutunun erozyon oranı üzerine etkisi (a) 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış numuneler, (b) 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış numuneler.	50
Şekil 3.19. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısı deney parametresi altında aşındırıcı garnet minerali boyutunun erozyon oranı üzerine etkisi: (a) Kalın pomza takviyeli numuneler, (b) İnce pomza takviyeli numuneler.....	50

Şekil 3.20. Aşındırıcı partikül püskürtme basıncının etkisinin imageJ programı yardımı ile görüntülenmesi. (a) 1,5 bar püskürtme basıncı, (b) 3 bar püskürtme basıncı, (c) 4 bar püskürtme basıncı.....	52
Şekil 3.21. Aşındırıcı partikül çarpma açısı etkisinin imageJ programı yardımı ile görüntülenmesi: (a) 30° partikül çarpma açısı, (b) 45° partikül çarpma açısı, (c) 60° partikül çarpma açısı etkisi.	53
Şekil 3.22. Aşındırıcı partikül boyutunun etkisinin imageJ programı yardımı ile görüntülenmesi 4 bar 30° deney parametrelerinde aşındırılmış %10 ince pomza takviyeli PPS numuneler: (a) 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış, (b) 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış.	54
Şekil 3.23. Aşındırıcı partikül boyutunun etkisinin imageJ programı yardımı ile görüntülenmesi 4 bar 60° deney parametrelerinde aşındırılmış %1 kalın pomza takviyeli PPS numuneler: (a) 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış, (b) 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış.	54
Şekil 3.24. Saf PPS ve pomza takviyeli kompozitlerin SEM fotoğrafları (a) Saf PPS, (b) %1 ince pomza takviyeli kompozit, (c) %3 ince pomza takviyeli kompozit, (d) %5 ince pomza takviyeli kompozit, (e) %10 ince pomza takviyeli kompozit.	57
Şekil 3.25. Saf PPS ve pomza takviyeli PPS kompozitlerin SEM fotoğrafları (a) Saf PPS, (b) %1 kalın pomza takviyeli kompozit, (c) %3 kalın pomza takviyeli kompozit, (d) %5 kalın pomza takviyeli kompozit, (e) %10 kalın pomza takviyeli kompozit.	59
Şekil 3.26. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış saf PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme	60
Şekil 3.27. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış saf PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme	61
Şekil 3.28. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 ince pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme	61
Şekil 3.29. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 ince pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme	62
Şekil 3.30. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 kalın pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme	62
Şekil 3.31. 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 kalın pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme	63

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Fortron 1200 L1 kodlu granül haldeki PPS malzemesinin mühendislik özellikleri	16
Tablo 2.2: Kompozit üretiminde kullanılan takviye malzemesinin kod ve boyutları	16
Tablo 2.3: Pomza tozunun fiziksel özellikleri	16
Tablo 2.4: Deneysel çalışmalarda kullanılan aşındırıcı partiküllerin kodları ve boyutları	18
Tablo 2.5: Deneysel çalışmalarda kullanılan garnet minerallerinin özellikleri.....	18
Tablo 2.6. Ekstrüzyon ve enjeksiyon üretim parametreleri.....	21
Tablo 2.7. Katı partikül erozyonu aşınma deney parametreleri	30
Tablo 2.8. SEM cihazının özellikleri	31
Tablo 3.1. Üç farklı basınçta püskürtülen garnet partiküllerinin hedef malzemeye çarpma hızları	44

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

E'	: Depo modülü (MPa)
E''	: Kayıp modülü (MPa)
T_g	: Camı geçiş sıcaklığı (°)
T_m	: Erime sıcaklığı (°)
$\tan \delta$	: Kayıp faktörü
δ	: Faz kayma açısı
ε	: Gerilme genliği
ζ	: Gerilme (MPa)

Kısaltmalar

Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
DMTA	: Dinamik Mekanik Termal Analiz
DTK	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
PA	: Poliamid
PA6	: Poliamid 6
PEEK	: Poli(eter eter keton)
PP	: Polipropilen
PPS	: Poli(fenilen sülfid)
SEM	: Scanning Electron microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
SiO_2	: Silisyum Oksit
SiC	: Silisyum Karbür
TGA	: Termogravimetrik analiz
ZnO	: Çinko Oksit

POMZA TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Son yıllarda; polimer malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve bitmiş ürün maliyetinin düşürülmesi amacı ile takviye malzemesi olarak partikül malzemelerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Pomza tozu birçok geleneksel olarak kullanılan takviye partiküllere nazaran daha ekonomik olmakla birlikte yapılan literatür çalışmaları göstermiştir ki pomza tozunun takviye malzemesi olarak kullanımı çalışılmamıştır. Yüksek lisans tezi kapsamında poli(fenilen sülfid) (PPS) matris malzemesine pomza tozu takviyesi yapılmıştır. Üretilen numunelerin mekanik, termal ve tribolojik özellikleri yapılan deneyler ile birlikte araştırılmıştır.

Pomza tozu takviyesinin PPS malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği ve termal özelliklerinde pomza takviyesi ile birlikte artış gösterdiği gözlenmiştir. Ancak tribolojik özellikler incelendiğinde pomza takviye edilmiş PPS kompozitlerin erozif özelliklerinin olumsuz etkilendiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekstrüder, enjeksiyon, mekanik, termal ve tribolojik özellikler, partikül takviyeli kompozit.

MANUFACTURING OF PUMICE POWDER REINFORCED POLYMER COMPOSITES AND INVESTIGATION OF THEIR EROSION WEAR BEHAVIOUR

ABSTRACT

Recently, It is common application to use particle materials as fillers to improve engineering properties and lower the cost of finished product. Pumice powder is cheaper than most of traditional particle fillers, however use of pumice powders as a reinforcing material in composites has not been studied in literature. Pumice particles are filled in PPS matrix within master's thesis for reinforcement. Mechanical, thermal and tribological properties of manufactured samples were investigated by experimental tests.

It was seen, filling pumice particles is improved mechanical and thermal properties of PPS samples. However, Pumice reinforcing decrease the erosion resistance. Erosion rates increased with increasing of pumice rate in PPS.

Keywords: Extruder, injection, mechanical, thermal ve tribological properties, particle reinforced composites,

GİRİŞ

Günümüz teknoloji ve gereksinimleri sonucu, gelişmiş makine parça ve ekipmanlarının üretilip ve kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar göstermiştir ki; geleneksel endüstriyel malzemeler var olan ihtiyacı karşılamayarak yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için özel proses ve teknikler ile üretilen karma malzemeler ortaya çıkmıştır.

Kompozit malzemelerde en yaygın kullanılan matris malzemesi olarak polimer matrisler yer almaktadır. Saf polimerler mekanik özellikleri bakımından gerek metaller gerekse seramiklere nazaran dayanıksız malzemelerdir ancak takviye edilmeleri durumunda ise metal ve seramiklere kıyasla düşük yoğunluklu, yüksek spesifik mukavemet, spesifik modül ve rijit yapıya sahip olabilmektedirler.

Matris malzemesi olarak kullanılan polimerleri ele alacak olursak; yüksek tokluk ve darbe dayanımı ile işlenebilmesi ve geri dönüşümü kolay olduğu için termoplastik polimerlerin termoset polimerlere oranla daha yaygın kullanım alanı bulunduğu görülmektedir. Termoplastik olan polyfenilen sülfid (PPS) yüksek çalışma sıcaklıklarında dahi boyutsal kararlılığa sahip olması, mekanik özelliklerini koruması, kolay işlenebilmekle birlikte kimyasal ve çözücülere karşı dayanıklı bir malzeme olmasından dolayı ideal bir matris malzemesidir.

Sıvı ya da gaz akımı içerisinde taşınan farklı boyut ve yapısal özelliklere sahip taneciklerin temas ettikleri malzeme yüzeyinde meydana getirdikleri hasar ve malzeme kaybı erozyon aşınması olarak tarif edilmektedir. Partikül erozyonu genel anlamda baktığımız zaman hedef malzeme üzerinde malzeme kaybı meydana getirerek olumsuz bir etkiye sebep olmak ile birlikte günümüz endüstrisinde metal parçalarda pas ve boya temizliği ve parlatılması, doğal veya tarihi kalıntıların temizliği, sağlık sektöründe diş temizliği gibi faydalı uygulamalarda da kendine uygulama alanı bulabilmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde genel bilgiler başlığı altında matris malzemesi olarak kullanılmış olan PPS, takviye malzemesi olarak kullanılmış olan, erozif aşınma deneyinde aşındırıcı olarak kullanılmış olan garnet ve partikül takviyeli termoplastik matrisli kompozit malzemeler ve özellikleri ile ilgili genel bilgilere ve literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

İkinci bölümde malzeme ve yöntem başlığı altında kompozit üretimi sırasında kullanılan ve erozif aşınma deneyinde kullanılan malzemeler tanıtılmış, ekstrüzyon ve enjeksiyonlu kalıplama ile üretim ve üretilen numunelere uygulanan test yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde yapılan mekanik, termal, termomekanik tribolojik testler sonucunda elde edilmiş olan bulgu ve sonuçlar irdelenmiş ve grafikler yardımı ile açıklanmıştır.

Günümüz endüstriyel ve teknolojik gereksinimleri doğrultusunda kompozit malzemeler; otomotiv uzay ve havacılık, denizcilik, enerji vb. mühendislik uygulamaların da geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bununla birlikte çalışma koşulları altında toz ve partikül darbelerine maruz kalmaktadır. Bu gelişmeler paralelinde sahip olduğu özellikler sayesinde giderek kendisine artan bir şekilde yer bulan Poli(fenilen sülfid) matris malzemesi olarak seçilirken, düşük yoğunluk ile birlikte gözenekli yapıya sahip olması ve bu gözenekli yapısı ile birlikte polimere daha iyi tutunma yüzeyi oluşturacağı ve mekanik, termomekanik özellikleri iyileştirdiği düşünülerek pomza tozu takviye malzemesi olarak seçilmiştir. Çalışmanın devamında ise mekanik özelliklerde meydana gelen iyileşme ile birlikte tribolojik karakteristiğinin ne yönde etkilendiğini irdelenmek amacı ile malzemenin erozif aşınma davranışı irdelenmiştir.

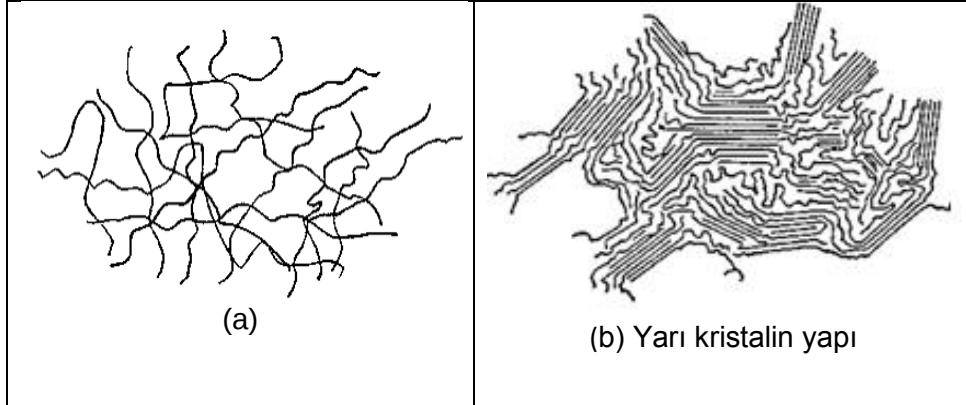
1. GENEL BİLGİLER

Bu bölüm altında tez konusu ile ilgili genel bilgilendirme yapılacak ve literatürde yapılmış olan çalışmalardan örneklere yer verilecektir.

1.1. Termoplastik Matrisli Kompozitler

Günümüz endüstrisinde üretilen polimerlerin yaklaşık %85'ini termoplastikler oluşturmaktadır. Termoplastikler yüksek darbe dayanımı, yüksek tokluk, kolay Şekillendirilebilir ve tekrar işlenebilir olması nedeni ile giderek termosetlerin yerini almaktadır. Aynı zamanda termoplastik kompozitlerin sahip oldukları yüksek spesifik rijitlik ve spesifik mukavemeti, geliştirilmiş kırılma tokluğu ve artan darbe dayanımı gibi özellikleri nedeni ile popülerliği artmaktadır bununla birlikte sağlamış olduğu özellikler ve maliyet mukayesesi yapıldığı taktirde termoplastiklerin termosetlere kıyasla ürün maliyetleri daha düşüktür. Termoplastikler amorf ve yarı kristalin olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Amorf yapıda moleküller rasgele düzen alır, yarı kristalin yapıda ise kristalin bölgede moleküller düzenli Şekil alırlar. Amorf malzemeleri karakterize etmek için camsı geçiş sıcaklığı (T_g) kullanılır ki bu sıcaklığın üzerinde amorf malzemeler viskoz davranış gösterirler. Aynı zamanda amorf termoplastikler camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda işlenirler. Bugün bilinen termoplastikler arasında %100 kristalin yapıya sahip polimer bulunmamaktadır. Bundan dolayı yarı kristalin adı verilen yapılar %20 ile %90 arasında değişen farklı oranlarda kristalin yapı içermektedirler. Yarı kristalin termoplastikler kristalin fazın erime sıcaklığının (T_m) üzerinde ya da amorf ve kristalin yapıların bir arada bulunduğu camsı geçiş sıcaklığının (T_g) üzerindeki sıcaklıklarda işlenebilirler. Termoplastiklerde zincirler arası çapraz bağ elde edilemez ancak dallanma oluşabilir. Zincirler arası zayıf van der waals bağları mevcut olmakla birlikte bu bağlar termal zorlanma ve gerilmeler altında kolayca kırılırlar [1-5].

Termoplastik malzemeler giderek artan bir şekilde havacılık ve uzay uygulamaları ile otomotiv endüstrisinde kendisine yer edinmektedir. Termoplastik malzemelerin endüstriyel avantajlarını şu şekilde sıralanabilir.



Şekil 1.1. Polimer yapı a) amorf yapı b) yarı kristalin yapı [6]

- Üretim döngüsünün kısalığı ve kolay şekillendirilebilir olmaları.
- Tekrarlı Şekilde işlenebilir olmaları ve geri dönüşümlerinin mümkün olması.
- Termosetler ile performans maliyet karşılaştırması yapıldığında daha ekonomiktirler.
- Uzun süreli depo ömrüne sahiptirler.
- Kimyasallara karşı dirençli olmaları
- Termosetlere oralarla kaynak edilebilme kabiliyeti yüksektir
- Yüksek kopma ve kırılma dayanımı ve yüksek tokluğa sahip olmalarıdır [1-5]

1.2. Matris Malzemesi Poli(fenilen sülfid)

Poli(fenilen sülfid), sülfür atomlarının bağlı olduğu aromatik fenil halkalarından oluşan bir organik polimerdir[5]. PPS yarı kristalin yapıya sahip ve bu paralelde boyutsal olarak stabil olan ve dengeli akış özellikleri sergileyen bir polimerdir. Ayrıca; PPS yüksek sıcaklık direncine sahip olmakla birlikte kimyasal ve sıvılara karşı dirençlidir. PPS' in camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık 90°C ve erime sıcaklığı da yaklaşık 285°C civarındadır. Sürekli servis sıcaklığı 220°C ile 240°C civarındadır. PPS yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi ve boyutsal kararlılığını koruyabilmesi, kimyasallara karşı dirençli olması ve çözünmemesi, kolay işlenebilir bir polimer olması ve çok iyi mekanik özellikler sergilemesi nedeni ile kendisine otomobil ve havacılık sanayinde giderek artan bir yer edinmektedir[5,7-10]. Saymış olduğumuz avantajları ile birlikte kopma uzamasının düşük olması, gevrek davranış sergilemesi ya da maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajlara da sahiptir. Bundan dolayı fiber ya da partikül takviyesi ile bu doğasından gelen olumsuzluklar ortadan kaldırılabilen ve

viskozitesi düşük olduğundan dolayı yüksek oranlarda partikül ya da fiber takviyesi yapılabilir [8,10].

PPS polimerinden kalıpla, ekstrüderde ya da yüksek tolerans ile işleyerek ürün elde etmek mümkündür. PPS' in endüstriyel olarak kömür kazanlarında, filtre bezi, kağıt üreticisi keçesi, conta, elektrik fişi, priz, bobin, röle ve elektrik anahtarı otomobil hava emme sistemleri, pompa, subap egzoz gibi giderek artan kullanım alanları bulunmaktadır [5].

1.3. Takviye malzemesi: Pomza

Pomza; ana yapısı SiO_2 olan volkanik esaslı alümina silikadır. Eriyik halde bulunan lavın hava ile teması neticesinde soğuması ile lav içerisinde çözünmüş olarak bulunan gazların çökmesi neticesinde hava boşlukları katılaştıran eriyik içerisinde hava boşlukları yani sünger gibi gözenekli bir yapı meydana gelir. Gözenekli yapıya paralel bir şekilde düşük yoğunluğa ($0,35\text{-}0,65\text{g/cm}^3$) ile iyi ısı yalıtımına sahiptir. Yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olması, kimyasallar karşısında kolay bozulmaması ve direnç göstermesi, iyi ısı ve ses yalıtımı sağlaması, yoğunluğunun ve maliyetinin düşük olması kendisine endüstriyel uygulamalarda giderek artan bir şekilde yer bulmasını sağlamaktadır. Pomza; asidik ve bazik olmak üzere iki sınıfa ayrılır ve bugün dünyada ve ülkemizde bulunan pomzaların büyük bir çoğunluğunu asidik pomza oluşturmaktadır. Dünya' da yer alan pomza rezervlerinin yaklaşık % 74' ü ülkemizde bulunmakla birlikte, Türkiye; İtalya, Yunanistan, Çin ve İran' dan sonra beşinci sırada pomza üretimi yapmaktadır [11-15].

Pomza kimya endüstrisinde kullanımı yeni olmamakla beraber halen hızla yeni kullanım alanları bulmaktadır. Özellikle pümisit (pumicite) ve pomza tozu (pumice powder) pek çok kimya sektöründe kullanımı yaygın bir hammaddedir. Yaklaşık 16 farklı tane grubunda 4,75 mm ve üstünde granül halde ve çok ince toz olarak da 45 mm (mikron) ve altında kullanılmaktadır. Son zamanlarda çok ince öğütülmüş (süper incelikte) pomza da bu standardizasyona eklenmektedir. 10 mm ve 5 mm altında tane inceliğine sahip pomza tozlarına değişik endüstri dallarından talep gelmektedir. Pomza tozu abrasifleri özellikle TV ekranı çapak düzeltme ve cilalama, yuvarlak ahşap hazırlama ve cilalama, metal hazırlama ve cilalama, mücevher son rötuş ve cilalama, kum püskürtme metodu ile oyma ve işlemecilik, kumaş perdahlama, cam ve kristal ön cilalama, bilgisayar çiplerinde çapak alma ve temizleme, dişçilikte protez hazırlama ve cilalama, matbaa baskı tabletlerini

temizleme gibi amaçlarla, elektronik, metal, ahşap, plastik, cam, mücevherat, sağlık endüstrilerinde kullanılmaktadır. Pomza tozundan abrazif üreten ülkelerin başında Amerika, Fransa ve Kanada gelmektedir. Ülkemizde ise pomzadan abrazif üretimiyle ilgili faaliyet gösteren kayda değer bir kuruluş bulunmamaktadır [16].

Kozmetik endüstrisi Pomzanın inşaat, tekstil, ziraat ve abrazif sanayinden sonra en yaygın kullanıldığı endüstri dallarından birisidir. Özellikle halk arasında topuk taşı olarak bilinen pomza, Amerika ve Avrupa'da ayak bakımında kaba cildin arındırılmasında vazgeçilmez kişisel bakım malzemelerinden birisidir. Yuvarlatılmış, çubuk halinde, fırça şeklinde muhtelif ebat, şekil ve ambalajlarda piyasaya sunulan pomza ürünleri "body stone" olarak Kozmetik ürünlere bir yenisi olarak da parfüm taşları ilave edilebilir. Parfüm emdirilmiş pomza taşları, kokuyu uzun süre bünyesinde muhafaza edebildiğinden dolayı, çanta içleri, cep ve oto küllüklerinde taşınabilen renklendirilmiş parfüm kokulu bu taşlar Avrupa ülkelerinde oldukça rağbet görmektedir. Pomza özellikle sanayi tipi el sabununun vazgeçilmez hammadde olmuştur. Eldeki ağır kir ve lekeleri kolaylıkla ve hatta su kullanmaksızın çıkarabilme özelliğine sahip krem tipi bu sabunlar pek çok değişik marka altında sabun ve deterjan pazarında önemli bir pay sahibi olmuşlardır. Deterjan üretiminde de kullanılan pomza, bulaşık, yer, banyo, lavabo temizleyicisi ve çamaşır deterjanlarında aktif madde taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır Sağlık ve ilaç endüstrisinde en geniş kullanım alanı diş parlatma pastası ve diş macunu üretimi alanındadır. Diş bakımı ve sağlığında mikro organizmaların ve lekelerin sağlığa uygun olarak çıkartılmasında katkı maddesi olarak pomza tozu diş macunlarında istisnasız sayılabilecek bir düzeyde hemen her marka da kullanılmaktadır. Ayrıca dişçilik alanında dişlerdeki istenilmeyen leke ve diş taşlarının temizlenmesinde pasta ve toz olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır [16].

1.4. Aşındırıcı Malzeme: Garnet Minerali

Garnet benzer fiziksel özellikleri, kristal formu ve genel kimyasal bileşimlere sahip bir grup demir-alüminyum silikat minerallerine verilmiş genel bir isimdir. Garnetler orta yüksek sertlik, yüzeylerinde keskin çatlaklar, 1250 °C de bir erime noktası, yarı yuvarlaktan yarı köşeliye değişen keskin kenarlı taneler, fiziksel ve kimyasal ayrışmalara karşı dirençli oluşları ve çoğunlukla serbest silis içermemeleri ya da çok az oranda bulundurmaları gibi özellikleri nedeni ile yüksek kaliteli aşındırıcılar sınıfına girer.

Son derecede sert ve üzerinde keskin çatlaklar bulunan garnetler bu özellikleri nedeniyle ağaç, deri, cam, metal ve plastik malzemelerin işlenmesinde aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Kullanımları çoğunlukla aşındırma kağıdı, aşındırıcı diskler, bileme taşları, parlatma ya da cilalama toz ve kumları şeklindedir [17].

Belirli bir tane boyutu dağılımı içeren garnetler hava basınçlı veya su basınçlı kesici ve aşındırıcılar olarak geniş kullanım alanı bulur. Bu tür işlemlerde garnetlerin pekişik, sert ve yüksek yoğunluğu, bu amaçlarla tüketilen diğer tür aşındırıcılara oranla çok daha etkilidir ve daha düşük hava ve su basıncında rahatlıkla kullanılırlar. Su basınçlı kesmelerin en önemli avantajı hemen hemen hiç toz içermemeleri, yüksek kesme hızları, farklı şekillerde kesme yeteneği ve yüksek sıcaklıklardan kaynaklanabilecek bozulmaların bulunmamasıdır. Kum basınçlı sistemlerin en önemli yönünü ise serbest silis içermemesi yada az oranda bulunması nedeniyle silikosis gibi hastalıklara yol açmaması oluşturur. Diğer yandan, bu amaçla kullanılan silis kumuna göre daha yüksek olan yoğunluğu, aynı çaptaki kuvars tanesine oranla işlenen yüzeye daha etkili darbeler vurmasını sağlar [17,18]. Kimyasal ayrışmaya karşı olan direnci, tane şekli ve boyut dağılımı ve yüksek yoğunlukları nedeniyle garnetler çeşitli filtrasyon sistemlerinde kullanılır ve bu amaçla kullanılan silis kumu ve antrasite kıyasla daha iyi özelliklere sahiptir. Bu tür kullanım durumlarında garnetlerin aşındırıcı kabiliyetinden çok yoğunluk ve tane şekil ve boyutu ön planda tutulur. En yaygın kullanım şehir içme suları filtrasyonudur.

Garnetler kaplama aşındırıcılar olarak ahşap, deri, sert kauçuk, plastik, cam yumuşak metallerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür kaplama aşındırıcılar belirli boyutlara indirgenmiş olan garnetlerin kağıt veya bez dokumalar üzerine çimentolanması ile elde edilirler. Bu amaçla yakın yıllara kadar kullanılmış olan reçine bağlayıcılar yerlerini elektrostatik kaplamalara bırakmıştır. Kaplama aşındırıcı yapımında tanelerin etkisini yükseltmek amacı ile keskin kenarlar zemine dikey bağlanmaktadır. Bu alanda garnet ile birlikte alumina, silikon karbid, kuvars, ve zımpara gibi diğer bazı aşındırıcılar da kullanılmaktaysa da garnetli kaplama aşındırıcılar ahşap yüzeylerde daha iyi bir parlatma sağlar ve diğer aşındırıcılara oranla çok daha ucuzdur. Garnet kaplamalı kağıt ve bez dokumalı aşındırıcılar diğer tür aşındırıcılar içinde yaklaşık % 10–15 'lik bir paya sahiptir. Yüksek kaliteli garnet tozları, elektronik malzemeler, özel camlar ve diğer ileri teknoloji ürünü malzemelerin parlatılmasında ve tesviyesinde kullanılmaktadır. Ancak bu tür pazar oldukça dardır ve esas olarak Batı Avrupa ülkeleri ve Japonya ile sınırlıdır. Bir aşındırıcı toz olarak

garnetler cam ürünlerin, özellikle de optik camların taşlanması için kullanılan korundumun sağlanmasıdaki zorluklar nedeniyle son yıllarda bu alanda yaygınca kullanılmaya başlanmıştır. Garnetlerin kullanılması ürün kalitesini arttırmış, parlatma ve cilalama zamanını azaltmıştır. İngiltere’de TV camı yapımında iyi bir televizyon tüpü yüzey parlaklığı elde edilmesinde 0.03 – 0.04 mm boyutlarında garnet tozu kullanılmaktadır.

Endüstriyel amaçlı tüketim dışında garnetlerin başlıca kullanım alanını yarı değerli süs taşları yapımı oluşturur. Almandinin mor kırmızısı, andraditin siyahtan yeşile kadar değişen rengi, grasülerin sarımsı yeşili, hessonitin sarımsı kahverengi, piropun parlak kırmızısı ve spesartinin portakal pembesi rengi süs taşı olarak kullanılmalarını yaygınlaştırmıştır [17-19].

1.5. Partikül Takviyeli Termoplastik Kompozitler ve Özellikleri

Termoplastikler ısıtıldıkları zaman yumuşarlar ve bunun sonucunda malzemede modül düşmesi ve polimerde sünme meydana gelir. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında ise eriyik haline gelirler ve şekillerini kaybederler. Bu problemin üstesinden gelmek için yapılan çalışmalar neticesinde mineral dolguların termoplastiklerin modülünü ve deforme olma sıcaklığını artırdığı fark edilmiştir [5,20]

Genel olarak polimer malzemelere partikül takviyesi yapmanın maliyet düşürmek amacı ile yapıldığı düşünülse de bu durum artık istisna halini almıştır. Bugün yapılan çalışmalar incelendiğinde partikül takviyesi ile elde edilen kompozit malzemenin arzu edilen özelliklerin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda bu duruma paralel bir şekilde belirtecek olursak polietilen ya da polipropilen çok ucuza tedarik edilebilirken takviye malzemesi olan kalsiyum karbonatı tedarik etmek daha pahalıya mal olmaktadır. Bu nedenle elde edilecek kompozit malzeme için optimum takviye oranı tercih edilmelidir. Yani başka bir deyişle eğer takviye malzemesi matris malzemesine kıyasla daha düşük maliyete sahipse polimerin sahip olduğu özellikler yitirilmeden katılabilecek en yüksek oranda takviye yapılmalı, eğer takviye malzemesi matris malzemesine kıyasla daha yüksek maliyete sahipse tatmin edici özellikler sağlayacak kadar az miktarda katılmalıdır [5,20].

Herhangi bir mühendislik uygulamasında kullanılacak olan malzemenin mekanik özellikleri sahip olduğu diğer özelliklere oranla daha büyük önem arz edebilir. Bu noktada önemli olan istenilen özellikleri karşılayabilen maliyeti en düşük kompoziti edebilmektir. Mekanik özellikler açısından malzemenin; eğilme ve çekme modülü,

akma mukavemeti, darbe dayanımı gibi özellikleri araştırılmaktadır [20]. Yapılan literatür çalışmaları neticesinde partikül takviyesinin malzemelerin modül(çekme ve eğilme) ve mukavemet özellikleri üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Varbeek pelietilene magnezyum mikası takviyesi üzerinde çalışmış ve partikül boyutunun elastisite modülü üzerinde bir etki yapmadığı ancak çekme mukavemetinin 240 μm ve daha büyük boyutlu partikül takviyesi ile arttığını belirtmiştir [21]. Ishiaku ve diğ. Polikaprolakton matris içine farklı kütleli oranlarda kurutulmuş ve kurutulmamış iki çeşit sagu nişastası takviyesi yapmışlar. Yapılan çalışmalar neticesinde takviye oranı arttıkça çekme mukavemetinin olumsuz yönde etkilendiğini, ancak; modül üzerinde kurutulmuş olan partiküllerin olumlu, kurutulmamış partiküllerin olumsuz etkiye sahip olduklarını belirtmişlerdir [22]. Han-Seung Yang ve diğ. polipropilen (PP) matrise farklı kütleli oranlarda partikül haline getirilmiş pirinç kabuğu unu takviyesi yapmışlar. Yaptıkları çalışma neticesinde partikül oranı arttıkça malzemenin daha gevrek bir yapı aldığını, modülünün artış sergilediğini ancak artan partikül oranı ile partikül-matris ara yüzey mukavemetinin düşmesine bağlı olarak çekme dayanımının düşüş sergilediğini belirtmişlerdir [23]. Wang ve diğ. yaptıkları çalışmada poliamid(PA) matrise zirkonyum oksit(ZnO) partikül takviyesi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde de partikül takviyesinin kütleli olarak %10 oranına kadar ilave edildiğinde çekme mukavemetini olumlu yönde etkilediği ancak bu oranın üzerinde yapılan ZnO takviyesinin çekme mukavemetini olumsuz etkilediğini bununla birlikte takviye oranı arttıkça malzemenin sertliğinin de arttığını belirtmişler [24]. Ma ve diğ. matris malzemesi olarak mısır nişastası, takviye malzemesi olarak ise 1-5 μm aralığında boyuta sahip kömür külü kullanmışlar. Yaptıkları çalışmalar neticesinde çekme dayanımı saf mısır nişastası ile mukayese edildiğinde üç katına çıktığını bununla birlikte kopma uzamasının oldukça düştüğünü saptamışlardır. Yine aynı çalışma çerçevesinde partikül takviyesinin belirli seviyeden sonra topaklanmaya neden olarak mekanik özelliklerde olumsuz sonuçlar sergilediğini çalışmaları neticesinde belirtmişlerdir [25]. Syed ve diğ. PP matris malzemesine partikül halinde hint safranı takviyesi yaparak partikül takviyesinin polimerin mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemişler ve bu çalışmanın sonucunda kompozit içerisinde partikül miktarı arttıkça topaklanma oluştuğu ve bunun azda olsa çekme dayanımında düşüşe neden olduğunu ayrıca takviye miktarı kütleli olarak %40 oranında katıldığında kopma uzamasının %99 oranında düştüğünü ancak elastisite modülünün artan takviye oranı ile birlikte artış sergilediğini belirtmişlerdir [26]. Mohandesi ve diğ. polietilen tereflalat matris malzemesine farklı boyut ve kütleli oranlarda kuvars kumu takviyesi yapmışlar ve

partikül boyutu ile miktarının polimerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişler. Yaptıkları çalışmalar neticesinde, artan partikül oranı ile elastisite modülünün arttığını bununla birlikte kumun kompozit içerisinde ki oranı %10 seviyesine gelinceye kadar basma ve çekme mukavemetinin arttığını ancak takviye oranı %10' u aştığı takdirde partiküllerin birbirleri ve matris ile olan bağı zayıfladığı için düşüş sergilediğini belirtmişlerdir. Başka bir ifade ile partikül ile matris ara yüzeyi verimsiz bağlantı oluşturmaktadır şeklinde açıklamışlardır [27]. Ahmad ve diğ. Epoxy reçine matris malzemesine farklı şekillere sahip partikül silika takviyesi yaparak partikül şeklinin(köşeli, kübik, uzatılmış) kompozit malzemenin mekanik özelliklerini ne şekilde etkilediği üzerine çalışmışlar. Yapılan çalışmalar neticesinde partikül şekli ne olursa olsun kompozit içindeki partikül oranı arttıkça çekme ve eğilme mukavemetinin arttığını bununla birlikte elastisite ve eğilme modüllerinin de arttığını, takviye edilen partikülün etkisini irdelediklerinde de matrisle temas yüzeyinin artmasına bağlı olarak uzatılmış partiküllerin en iyi mukavemet değerini verdiğini saptamışlardır [28]. Kwon ve diğ. bi fenol epoksi polimeri ile iki farklı boyuta (0,24 ve 1,56 μm) sahip silika partiküllerini karışımlarını tek olarak ya da farklı karışım oranlarında polimer içine sabit hacimsel oranlarda ilave ederek partikül boyutunun kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisini irdelemişler. Yaptıkları çalışmalar neticesinde malzemenin eğilme modülü üzerinde partikül karışımı içerisinde yer alan farklı boyutlu partiküllerin oranının bir etkisi olmadığı ancak eğilme mukavemeti ve kırılma tokluğunun küçük partiküllerin oranında meydana gelen artış ile arttığını belirtmişlerdir [29]. Cho ve diğ. vinil ester reçine malzemesine farklı oran ve büyüklükte cam boncuk ve küresel alümina takviyesi yapmışlar ve partikül boyutu ve partikül oranının malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişler ve mikron mertebesinde partikül takviyesi yapıldığı zaman kompozit içerisinde ki partikül oranının partikül boyutuna kıyasla malzemenin mekanik özellikleri üzerinde daha etkili olduğu ve partikül oranı arttıkça elastisite modülünün arttığı sonucuna erişmişler. Takviye edilen partikül nano boyutlarda olduğu zaman ise partikül oranı ile birlikte partikül boyutunun da elastisite modülü üzerinde etkili olduğunu ve partikül boyutu küçüldükçe elastisite modülünün arttığı yorumunu yapmışlardır. Aynı çalışma neticesinde %3 ve üzeri oranlarda nano partikül takviyesi hariç partikül boyutu küçüldükçe ve partikül oranı arttıkça çekme dayanımının arttığı sonucuna varmışlardır [30]. Das ve diğ. PP matris malzemesi hafif agrega partiküllerini takviye takviye malzemesi olarak kullanarak ürettikleri kompozit numunelerin mekanik özellikleri üzerine çalışmışlar ve yaptıkları çalışmalar neticesinde kompozit içerisinde ki partikül oranı arttıkça kompozitin elastisite

modülünün arttığını, çekme mukavemetinin ise düşüş sergilediğini açıklamışlardır [31].

Polimer bir malzemenin kullanılması planlanan bir endüstriyel uygulamaya uygun olup olmadığını saptamak için bizi tatmin eden mekanik özelliklerini hangi sıcaklık değerlerinde koruyabildiği ve bu sıcaklık değerleri bizim çalışma değerlerimiz içinde yer almakta mıdır diye kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu nokta da yarı kristalin yapıya sahip olan termoplastik malzemeler için camsı geçiş sıcaklığı (T_g) önem kazanmaktadır. Sahip oldukları kinetik enerji nedeni ile her sıcaklıkta polimer zincirleri bir hareket halindedir. Düşük sıcaklıklarda bu hareket titreşim hareketi şeklinde iken T_g sıcaklığından itibaren her bir zincir dairesel harekete olanak sağlayan serbest hacime sahip olur işte bu sıcaklığa camsı geçiş sıcaklığı adı verilir. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde malzeme hamur kıvamında bir yapıya sahiptir. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde sıcaklıklara ısıtılan malzemede katı halde bulunan kristalin yapılar eriyerek sıvı faza geçerler, bunun neticesinde erime noktasının üzerinde polimer malzeme sıvı eriyik halini alır [32].

Partikül takviyeli kompozit malzemelerin özelliklerini anlamak ve sergileyecekleri davranışları öngörebilmek için partikül takviyesinin polimer fazları üzerine etkisini kavramak gereklidir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde özellikle yarı kristalin polimerlerde partikül takviyesinin polimer fazlarında değişiklik meydana getirdiği görülmüştür. İlerleyen süreçte net bir şekilde fark edilmiştir ki partikül takviyesi polimerlerde kristal yapı oluşumunu etkilemektedir; Takviye edilen partikül çekirdek kristallenme artırıcı yönde etki edebilmekte ve bu sayede soğuma sırasında malzemenin daha hızlı sertleşmesine olanak sağlamakta ve üretim prosesi hızlandırılabilir [20].

Yapılan literatür çalışmaları neticesinde partikül takviyesinin malzemenin camsı geçiş sıcaklığı(T_g), Kristalin faz oranı ve Erime sıcaklığı(T_m) üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Das ve diğ. PP matris malzemesine partikül halde hafif agrega' yı takviye malzemesi olarak kullanmışlar. Üretilmiş olan kompozit malzemelerin termal ve termo mekanik karakteristiklerini gözlemlmek amacı ile diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK), termogravimetrik analiz (TGA) ve dinamik mekanik analiz(DMA) testlerini uygulayarak araştırmışlar; Yaptıkları çalışmalar neticesinde DTK' dan aldıkları verilere göre kristallenme ve erime başlangıç sıcaklıkları partikül takviyesinden etkilenmemiş ancak takviye miktarının artışı ile birlikte toplam kristallenme oranında düşüş olduğunu gözlemlemişler, bu durumu da agrega

partiküllerinin PP zincirleri arasına girerek yakınlaşmalarına engel oldukları şeklinde yorumlamışlardır. TGA analizleri neticesinde ise polimerin partikül takviyesi ile birlikte bozunma sıcaklığının değişmediğini belirtmişlerdir. DMA analizleri sonucunda partikül takviyesi ile birlikte kayıp modül değerinin de depo modül değerinin de artış sergilediğini belirtmişlerdir [31]. Huang ve diğ. gliserol ilave edilmiş termoplastik nişasta matris malzemesine kil takviyesi yapmışlar ve TGA analizi sonucunda saf polimerin bozunmaya başladığı sıcaklığının hemen öncesinde %15,21 kütle kaybı meydana gelirken %30 kil takviye edilmiş kompozit malzemede ise bozunmaya başladığı sıcaklığın hemen öncesinde %11,64 kütle kaybı meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışma çerçevesinde kil takviyesi ile bozunma başlangıç ve bitiş sıcaklıkları sırası ile 285 ve 312 °C olan polimerin bozunmaya başladığı ve bozunmanın bittiği sıcaklıkların sırasıyla 292 ve 315 °C'ye yükseldiğini belirtmişlerdir [33]. Goyal ve diğ. PPS matrise partikül haline getirilmiş bakır takviyesi yapmışlar ve ürettikleri numunelere yaptıkları TGA analizleri neticesinde kütleli olarak %30 bakır takviyesi ile saf PPS' in T_{10} sıcaklığı 492 °C' iken takviyeli kompozitin T_{10} sıcaklığının 510 °C' ye yükseldiğini tespit etmişler. T_{20} sıcaklığı ise saf PPS için 523 °C iken %30 bakır takviyesi ile 535,5 °C' ye %60 bakır takviyesi ile 582,2 °C' ye yükseldiğini tespit etmişler [34]. Robles ve diğ. poliüretan matris malzemesine kalsiyum karbonat takviyesi yaparak kompozit malzeme üretmişler ve ürettikleri numunelere yaptıkları DTK analizleri sonucunda kompozit içerisindeki partikül miktarı arttıkça camsı geçiş sıcaklığının arttığını ve bununla erime için gerekli olan entalpinin de düşüş sergilediğini belirtmişlerdir. Aynı çalışma paralelinde yapmış oldukları DMA analizi neticesinde kompozit içerisinde takviye miktarı arttıkça depo modülünün arttığını ve aynı zaman da camsı geçiş sıcaklığının da artış sergilediğini belirtmişlerdir [35]. Singh ve diğ. polihidroksietil-metaakrilot matris malzemesi ve odun talaşını da takviye malzemesi olarak kullanmışlar ve kompozit malzeme üretmişler, ürettikleri kompozit malzemelere DMA testi uyguladıkları zaman depo modülünün artan sıcaklık ile birlikte düşüş sergilediğini bununla birlikte belirli bir sıcaklıktan sonra takviye oranı değişse dahi depo modülünün çok değişmeyip çok dar bir bölgede sınırlandığını belirtmişlerdir. Artan takviye miktarı ile birlikte malzemenin rijitliğinin göstergesi olan depo modülünün arttığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda artan takviye miktarı ile birlikte malzemenin viskoz karakterinin bir göstergesi olan kayıp modülünün de arttığını tespit etmişler. DMA testinde kayıp modül değerinin maksimum değeri gördüğü sıcaklık T_g sıcaklığını vermekte ve yaptıkları araştırma neticesinde artan takviye miktarı ile birlikte T_g sıcaklığının arttığını tespit etmişler. Kayıp modülün depo modüle oranı olarak

tanımlanan $\tan \delta$ ifadesinin maksimum değerinin ise artan takviye oranı ile birlikte düşüş sergilediğini tespit etmişler. Aynı çalışma çerçevesinde yaptıkları TGA testi sonucunda ise bozunma başlangıç sıcaklığı odun talaşı içinde polimer malzeme içinde aynı değerlerde olduğu için kompozit malzemenin bozunma başlangıç sıcaklığının değişmediğini ancak bozunmanın bitiş sıcaklığının takviye miktarının artışı ile birlikte yükseldiğini tespit etmişler [36].

PPS malzemesi sağladığı yüksek mekanik ve termal dayanımlar nedeni ile uzay ve havacılık, otomotiv sanayi ve çeşitli endüstriyel uygulama alanlarında kendisine giderek artan bir şekilde yer edinmektedir. Bu çerçeveden bakıldığı zaman PPS ve kompozitleri kullanıldıkları alanlarda bulunan toz kum ve kir gibi aşındırıcı partiküllerin etkisi altında erozif aşınmaya maruz kalmaktadır [37-41].

Yapılan literatür çalışmaları neticesinde kompozit malzemelerin katı partikül erozyonu davranışı irdelenmiştir. Bağcı ve diğ. Cam fiber takviyeli borik asit katılmış epoksi reçine kompozitlerin erozif aşınma davranışlarını irdelenmişler ve bu çalışmada aşındırıcı olarak iki farklı boyuta sahip Alüminyum oksit (Al_2O_3) partikülleri kullanmışlar. Çalışma çerçevesinde partikül çarpma açısı ile hızının etkisini incelemişler. Yaptıkları çalışmalar neticesinde partikül çarpma açısının erozyon oranına etkidiğini ve kompozit malzemelerinin yarı sünek aşınma karakteristiği sergileyerek 30° çarpma açısında en yüksek erozyon oranı meydana gelmiş. Partikül boyutu ile partikül çarpma hızının etkisini irdeledikleri zaman her ikisinin de etkili olduğunu artan partikül boyutu ile erozyon oranının arttığını, artan hız ile birlikte erozyon oranının arttığını ancak partikül çarpma hızının partikül boyutuna göre erozyon oranında daha baskın bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Borik asit ilavesinin ise malzemenin sertlik değerini, mukavemet ve modül değerlerini ve yoğunluğunu azaltıcı yönde etki yaparken, erozyon oranını da artırıcı yönde etki yapmıştır [42]. Huang ve diğ. partikül takviyesinin erozyon dayanımı üzerine etkisini irdelenmek amacı ile silikon matrise silisyum karbür(SiC) ve Al_2O_3 takviye etmişler erozif davranışını irdelenmişler. Yaptıkları çalışma neticesinde her iki takviye çeşidinin de erozif aşınma dayanımını artırdığını ancak SiC' nin Al_2O_3 ' e göre daha iyi dayanım sağladığını tespit etmişler ve bu durumu da partikül şeklinde ilave edilen partiküllerin aşındırıcı partiküllerin matris malzemesi içine nüfuz ederek aşındırmasını engellediği bununla birlikte takviye edilen partiküllerin mikro çatlakların ilerlemesini engellediği şeklinde yorumlamışlardır. SiC' nin Al_2O_3 ' e göre daha iyi dayanım sergilemesini ise SiC' nin daha iyi ara yüzey mukavemeti oluşturması şeklinde belirtmişlerdir. Partikül boyutu arttıkça kompozit malzemenin

sünek aşınma karakterinden gevrek aşınma karakterine geçiş yaptığını ve takviye partikül boyutu arttıkça erozyon dayanımının belirli bir yere kadar arttığını belirli bir seviyeden sonra boyut artışının erozyon dayanımını olumsuz yönde etkilediğini saptamışlardır [43]. Karanlı ve diğ. erozif aşınma davranışını irdelemek amacı Poli amid6(PA6) matris malzemesine partikül kalsit takviyesi yapmışlar ve yaptıkları çalışma neticesinde üretmiş oldukları kompozit malzemenin yarı sünek aşınma davranışı sergileyerek 30° çarpma açısında maksimum erozyon oranı gözlemlemişler [44]. Harsha ve diğ. polieterimid ve kompozitlerinin erozif aşınma davranışını irdelemek amacı ile yaptıkları çalışma neticesinde partikül çarpma hızı arttıkça erozyon oranının paralel bir şekilde arttığını, partikül çarpma açısının etkisini irdelediklerinde ise polieterimid ve kompozitlerinin yarı sünek aşınma karakteristiği sergileyerek 30° ve 60° partikül çarpma açılarında maksimum erozyonun meydana geldiğini tespit etmişler [45]. Das ve diğ. Alüminyum matrise SiC takviyesi yapmış ve çamur erozyonu davranışını irdelemişler. Yaptıkları deneyler sonucunda aşındırıcı solüsyon içerisinde ki aşındırıcı kum konsantrasyonu ve partiküllerin numuneye çarpma açısı arttıkça meydana gelen erozyon oranının arttığını tespit etmiş ve belirtmişlerdir [46]. Srivastava cam fiber takviyeli epoksi reçine matrisli kompozit malzemeye partikül halinde buğday unu takviyesi yapmış ve takviyenin kompozit malzemenin erozif davranışı üzerindeki etkisini irdelemek amacı ile aşındırıcı olarak silika kullanmış.. Yaptığı çalışmalar neticesinde üretilen numunelerin yarı sünek aşınma davranışı sergileyerek 60° partikül çarpma açısında maksimum erozyon oranı meydana geldiğini tespit etmiş, un takviyesi kompozit malzemenin sertlik ve mukavemet ve yoğunluk değerlerini düşürücü yönde etki yaparken erozyon direncini artırmıştır [47]. Das ve diğ. Al-SiC kompozit malzemesinin erozif aşınma davranışını incelemek amacı deneyler yapmışlar ve bu deneyler sırasında farklı dönme hızlarında ve açılarda çarpma açılarında deneyler gerçekleştirmişler ve yaptıkları deneyler neticesinde 900 rpm ile dönen numunelerin 600 rpm ile dönen numunelere oranla 5-10 kat daha fazla aşındığını, partiküllerin 90° ile çarpacağı şekilde şekilde yerleştirilen numunelerin 0° ile çarptıkları numunelerden 4 kat daha fazla aşındığını tespit etmişler. Bu sonuçlardan da anlaşılabacağı üzere numuneler gevrek aşınma karakteri sergilemişlerdir [48]. Tian ve diğ. sünek aşınma karakteri çizen alüminyum metalinin erozif aşınma davranışını incelemek amacı ile farklı süre ve çarpma açılarında Al₂O₃ aşındırıcı kullanarak alüminyum numuneleri aşındırmışlar. Deneyler neticesinde partiküllerin numune üzerine püskürtülme süresi arttıkça aşınma izlerinin daha derin ve belirgin bir hal aldığı ancak aşınma izi alanının çık değişmediğini tespit etmişler bununla birlikte düşük çarpma açılarında daha sığ ve uzun aşınma

izleri oluşurken, büyük çarpma açılarında daha yuvarlak ve derin kraterler gözlenmiştir [49]. Drensky ve diğ. polimer matrisli kompozitlerin erozif aşınma davranışını incelemek amacı ile karbon fiber takviye edilmiş poli(eter eter keton) (PEEK) kompozit numuneleri farklı ortam sıcaklıklarında ve farklı çarpma açılarında 10 µm boyutlu otoyol tozu ve 100 µm boyutlu elenmiş pist kumu ile aşındırmışlar. Yaptıkları deneyler neticesinde partikül çarpma açısının etkisi olduğunu ve maksimum erozyon oranının 45° çarpma açısında meydana geldiğini, ortam sıcaklığı arttıkça 90° çarpma açısı hariç artan sıcaklık ile birlikte erozyon oranının arttığını 90° çarpma açısında ise partiküllerin numune içine gömüldüğü için tam tersi yönde etki yaptığını ve partikülleri püskürtme hızı arttıkça erozyon oranının artış sergilediğini belirtmişler [50]. Wang ve diğ. sünek ve gevrek malzemelerin erozif aşınma davranışlarını incelemişler ve bu doğrultuda sünek malzeme olarak Ti6Al4V, gevrek malzeme olarak da silikon karpit numuneleri erozif aşınmaya maruz bırakmışlar. Yaptıkları deneyler sonucunda sünek numunelerde maksimum erozyon düşük açılarda meydana gelirken büyük açılarda ise aşınma izi derinliğinin arttığını, partikül çarpma hızı arttıkça ve aşındırıcı partikül boyutu arttıkça erozyon oranının arttığını tespit etmişler. Gevrek numunelerde ise maksimum erozyon oranı 90° çarpma açısında meydana gelirken aşınma izi derinliği de çarpma açısı arttıkça artmış, partikül çarpma hızı ve aşındırıcı partikül boyutu arttıkça erozyon oranının arttığını tespit etmiş ve belirtmişlerdir [51].

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Tez çalışmasında termoplastik polimer malzeme olarak Ticona firmasından temin edilen Fortron 1200L1 firma kodlu granül haldeki poli(fenilen sülfid) kullanılmıştır. Kullanılan PPS' in özellikleri Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1: Fortron 1200 L1 kodlu granül haldeki PPS malzemesinin mühendislik özellikleri

Özellik	Değeri (Birimi)	Test Standardı
Yoğunluk	1,35 (gr/cm ³)	ISO 1183
Akma Dayanımı	88 (MPa)	ISO 527
Akma Genlemesi	3,4 (%)	ISO 527
Eğme Dayanımı	141 (MPa)	ISO 178
Eğme Modülü	4000 (MPa)	ISO 178

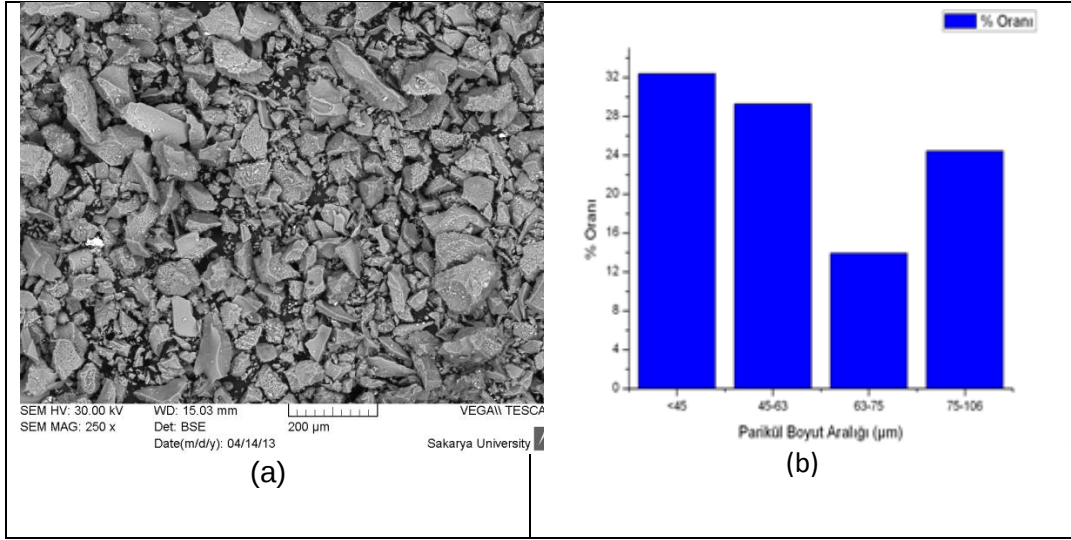
Takviye malzemesi olarak iki farklı boyutta pomza tozu kullanılmıştır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2' de kullanılan pomza tozlarının SEM fotoğrafları partikül boyut dağılımları verilmiştir.. Kompozit üretiminde kullanılan pomza tozları Gökçeören Belediyesi Karakaya Pomza İşletmesi' nden tedarik edilmiş olup boyut ve özellikleri Tablo 2.2 ve 2.3' te verilmiştir.

Tablo 2.2: Kompozit üretiminde kullanılan takviye malzemesinin kod ve boyutları

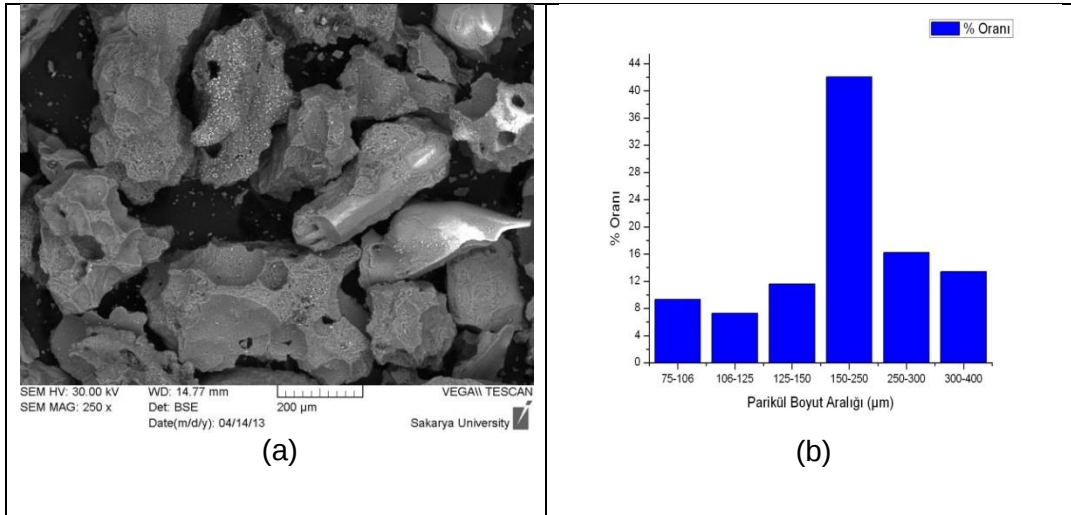
Aşındırıcı Partikül Adı	Aşındırıcı Tane Büyüklüğü
İnce Pomza	0-100 mikron
Kalın Pomza	100-400 mikron

Tablo 2.3: Pomza tozunun fiziksel özellikleri

Pomza Tozu Özellikleri	
Yoğunluk	0,55-0,76 g/cm ³
Erime Noktası	1200°C
Ph değeri	7,0-8,0
Özgül Ağırlık	2,4 g/cm ³
Sertlik	5,5 Mohs"

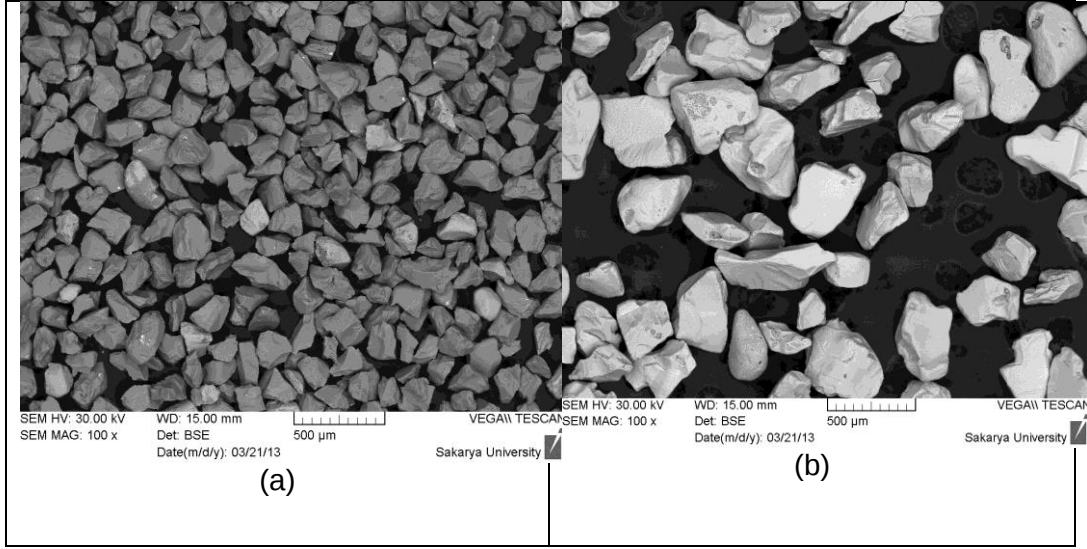


Şekil 2.1: Takviye malzemesi 180 mesh boyutlu pomza tozu (a) Sem fotoğrafı, (b) Partikül boyut dağılımı



Şekil 2.2: Takviye malzemesi 80 mesh boyutlu pomza tozu (a) Sem fotoğrafı, (b) Partikül boyut dağılımı

Aşınma deneylerinde aşındırıcı partikül olarak Saykar Metalurji ve Yüzey İşlem Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti' nden temin edilmiş olan iki farklı boyutlu garnet kullanılmıştır. Şekil 2.3' te 180 ve 80 mesh boyutlu garnet mineralinin SEM fotoğrafları verilmiştir. Kullanılmış olan garnet mineralinin boyut ve özellikleri tablo 2.4 ve 2.5' te verilmiştir.



Şekil 2.3: Garnet minerali SEM fotoğrafları (a) 180 mesh boyutlu garnet minerali, (b) 80 mesh boyutlu garnet minerali

Tablo 2.4: Deneysel çalışmalarda kullanılan aşındırıcı partiküllerin kodları ve boyutları

Aşındırıcı Partikül Adı	Aşındırıcı Tane Büyüklüğü
Garnet (80 Mesh)	150-212 mikron
Garnet (180 mesh)	53-90 mikron

Tablo 2.5: Deneysel çalışmalarda kullanılan garnet minerallerinin özellikleri

GARNET MİNERALİNİN ÖZELLİKLERİ	
Garnet 'in Özgül Ağırlığı	4,1 g/cm ³
Garnet 'in Ortalama Dökme Yoğunluğu	2,4 g/cm ³
Garnet 'in Sertliği	>8 (mohs scale)
Garnet 'in Kristal Sistemi	Kübik
Garnet 'in Kristal Şekli	Dodecahedron ve nadiren de Trapezohedron
Garnet 'in Kırılması	Yarı-concoidal (midye kabuğu şekli)
Garnet 'in Dayanıklılığı	Yüksek
Garnet 'in Serbest Akış Özelliği	97 % minimum
Garnet 'in Aside Duyarlılığı	Yoktur

2.2. Ekstrüzyon ve Enjeksiyonlu Kalıplama Yöntemi İle Termoplastik ve Termoplastik Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi

PPS polimeri ve Al₂O₃ partikül takviyeli PPS kompozitlerinin üretimi için ekstrüzyon cihazında mikro karıştırma ve enjeksiyon cihazında kalıplama yöntemleri kullanılmıştır. Üretimi düşünülen PPS polimerinin nemini almak için

24 saat boyunca 75 °C'deki fırında kurutulmuştur. Ekstrüzyon işlemi Şekil 2.4' te verilmiş olan DSM XPLORE firmasının üretmiş olduğu 15 ml'lik hazneye sahip çift vidalı mikro karıştırıcısı (Micro-Compounder) ile gerçekleştirilmiştir[52].

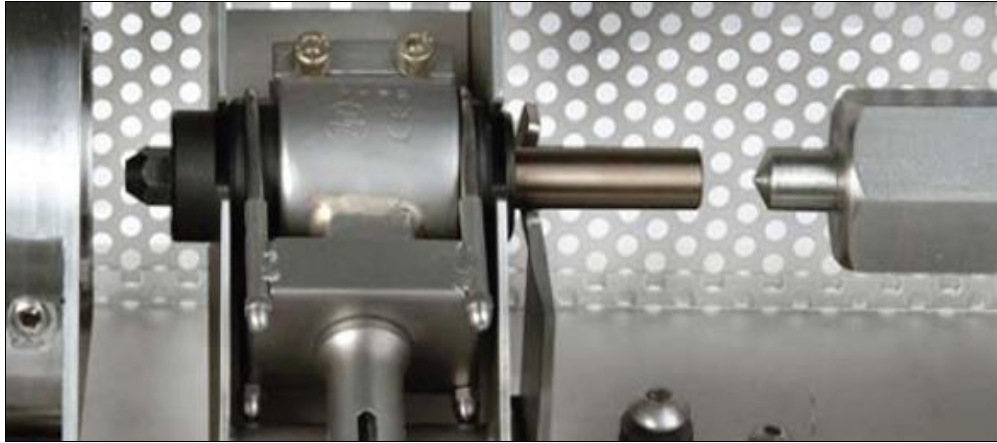


Şekil 2.4: DSM XPLORE marka ekstrüzyon cihazı

Maksimum 400 °C ve 250 d/dk'da çalışabilen bu cihazda sıcaklık kontrolünü sağlayan 9 adet termokupul bulunmaktadır. Ekstrüder cihazı, beslenen polimerik malzemenin sıcaklıkla beraber eritilip karıştırılması işlemini yapmaktadır. Ekstrüder cihazında hazırlanan eriyik haldeki karışım malzemesinin arzu edilen standart test numunesi kalıbına basılması için Şekil 2.5' te verilmiş olan DSM XPLORE firmasının üretmiş olduğu 12 ml'lik hazneye sahip enjeksiyonlu kalıplama (Injection Moulding) cihazı kullanılmıştır [52]. Ekstrüzyonda eriyik halde hazırlanan malzeme enjeksiyon cihazına Şekil 2.5' de verilmiş olan iletim ünitesi ile aktarılmaktadır. Maksimum 400 °C' lik çalışma sıcaklığına sahip taşınır halde olan iletim ünitesi elle alınıp mikro karıştırıcının çıkışına dayanır, eriyiğin ünite içine dolduğundan emin olduktan sonra ünite enjeksiyon cihazındaki yerine yerleştirilmiş ve eriyik haldeki malzemenin maksimum 200 °C'de çalışabilen numune kalıbına maksimum 16 bar'a ulaşabilen bir basınçla basılması sağlanmıştır.



Şekil 2.5: DSM XPLORE marka enjeksiyon cihazı



Şekil 2.6: DSM XPLORE marka enjeksiyon cihazı iletim ünitesi

Bu cihazlar ile üretimi gerçekleştirmek için termoplastik polimer ve takviye edici partikül malzemelerinden belirlenen ağırlıklarda tartımlar alınarak ön karışımlar hazırlanmıştır. Cihazlar ve enjeksiyon cihazına bağlı azot gazı ünitesi açılmıştır. Cihazların kontrol panellerinden gerekli üretim parametrelerinin belirlenen değerleri girilmiş ve ısıtıcıları çalıştırılmıştır. Daha sonra açılan gaz ünitesi ile enjeksiyon cihazının belirlenen basıncı ayarlanmıştır. Cihaz ekipmanları yerlerine yerleştirilip ısıları ayarlanan seviyelere getirildikten sonra ekstrüzyon cihazının haznesine malzeme besleme hunisi yerleştirilip vidaları aynı yönde döndürülmeye başlanır. Polimer malzeme ve partiküller vidalar yardımıyla belirli bir hızda besleyiciden karışma haznesine doğru ilerler. Karışma haznesi dikey olup eriyen ve karışan malzemeler haznenin en alt bölmesinden geri besleme kanalı ile geriye en yukarıya yönlendirilmiştir ki karışma işlemi etkin bir şekilde sürekli devam etsin. Belirlenen süre zarfında karıştırma işlemi gerçekleştirilen

eriyik haldeki malzeme ekstrüzyon çıkışına dayandırılan iletim ünitesine alınmıştır ve bu ünite enjeksiyon cihazında basılmak üzere yerine yerleştirilmiştir. İletim ünitesi içinde yer alan piston eriyik malzeme içine doldukça arka taraftan çıkmaya başlamıştır. Enjeksiyon cihazında yerine yerleştirilen iletim ünitesinin dışarı çıkan pistonu basma işleminin tetiklenmesi ile iletim ünitesinin öndeki ağız kalıbın ağızına dayandırılıp piston belirli bir basınçla ittirilmiştir. Basma işlemi bittikten sonra sıcak haldeki eriyik malzeme belirli bir sıcaklıkta bekletilen ve soğutulabilen kalıbın içinde katılaşarak kalıbın şeklini almış ve ürün olarak elde edilmiştir. Kalıp yerinden çıkarılarak kalıp yarıları özel bir açma aleti ile açılmıştır. Üretilen numuneler kalıptan alınarak üzerlerine test kodları yazılmış ve test bölümüne alınmıştır.

Ekstrüzyon ve enjeksiyon cihazında üretimin gerçekleşmesini sağlayan etkin 7 adet parametre belirlenmiştir. Literatür incelemeleri, çalışılması düşünülen polimer malzemesinin (PPS) özellikleri ve üretimi gerçekleştirecek olan cihazların çalışma kapasiteleri göz önüne alınarak uygulanan üretim parametreleri Tablo 2.6' da verilmiştir.

Tablo 2.6. Ekstrüzyon ve enjeksiyon üretim parametreleri

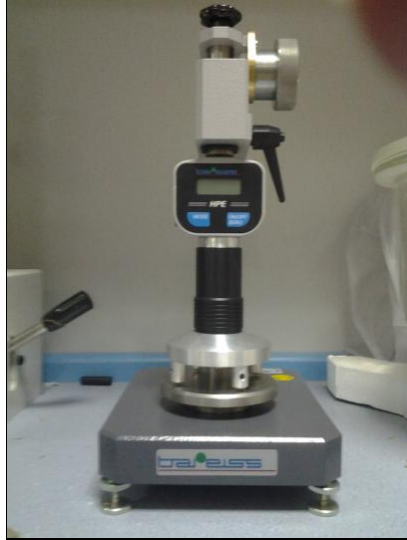
Cihaz	Parametre	Değer
Ekstrüzyon	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	340
Ekstrüzyon	Karıştırma Devri (d/dk)	100
Ekstrüzyon	Karıştırma Süresi (s)	180
Enjeksiyon	İletim Ünitesi Sıcaklığı (°C)	340
Enjeksiyon	Kalıp Sıcaklığı (°C)	140
Enjeksiyon	Enjeksiyon Basıncı (Bar)	12
Enjeksiyon	Ütüleme Basıncı (Bar)	12
Enjeksiyon	Ütüleme Süresi (s)	10

2.2. Üretilen Termoplastik ve Termoplastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin İncelenmesi İçin Kullanılan Test ve Analiz Metotları

2.2.1. Mekanik testler

2.2.1.1. Barkol sertlik testi

Üretilen saf ve pomza takviyeli PPS kompozitlerinin sertlik değerlerinin ölçülmesi için Şekil 2.7’ de gösterilen “Zwick Barcol Tester” cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ASTM D2583 standardına göre özellikle düz yüzeye sahip sert plastiklerin veya yumuşak metal olarak alüminyumun sertliklerinin dijital olarak ölçülmesinde kullanılır. Sertliği ölçülecek numune; yüzeyine batırılmaya çalışılacak iğnenin altına getirilir ve iğne kol yardımıyla malzeme yüzeyine batırılır. Batmaya karşı dijital ekranda beliren değerin 10 saniye sonra okunarak kaydedilmesi ile sertlik değeri ölçülmüş olur. Her bir numune grubu için standart sapma faktörü göz önüne alınarak farklı yerlerden olmak üzere en az 15 ölçüm alınıp ortalamaları hesaplanarak sertlik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2.7: Barkol sertlik test cihazı

2.2.1.2. Çekme test cihazı

ISO 527-2/5A standardındaki kalıba göre elde edilen numunelerin çekme özelliklerinin tespiti için Şekil 2.8’ de gösterilen “Shimadzu AG-X Universal

Tester” cihazı kullanılmıştır. ISO 527-2 standardına göre 1 mm/dk’lık çekme hızı ile testler uygulanmış ve Trapezium-X Programı ile veriler kaydedilmiştir.



Şekil 2.8: Shimadzu marka universal çekme test cihazı

2.2.2. Termal testler

2.2.2.1. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK)

DTK bir malzemenin ısı emilimini ya da ısı kaybını sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçer ve kaydeder. Malzemenin sıcaklığa göre verdiği tepkiler o maddenin yapısı, saflığı ve dayanıklılığı gibi özellikleri hakkında bilgi verir. Üretilen numuneler sıcaklığa bağlı yapısal özelliklerinin belirlenmesi için Şekil 2.9’ da verilmiş olan DTK cihazında teste tabi tutulmuştur. Literatür incelemeleri sonucunda PPS malzemesinin DTK analizlerinde uygulanacak test programı belirlenmiştir. PPS malzemesinin tüm kristalleri dahil eridiği sıcaklık olarak belirlenen 340°C’ye 10°C/dk’lık sıcaklık artışı ile gidilerek test numunesinin sıcaklığa bağlı yapısal özelliklerindeki değişimler cihazın bilgisayar ortamındaki TA Universal Analysis programı ile takip edilip kaydedilmiştir. Testlerde yaklaşık 10 mg’lık numuneler alüminyum kaplar (PAN) içinde sızmayacak biçimde hazırlanmıştır.



Şekil 2.9: TA Instruments Q-Series DTK (Q200) cihazı

2.2.2.2. Termogravimetrik analiz (TGA)

Numuneler ağırlıkça yaklaşık 15 mg olarak tartılıp Şekil 2.10' daki "TA Instruments TGA Q50" cihazının kefesine yerleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler oda sıcaklığından 1000°C'ye 20°C/dk'lık ısıtma hızı ile ısıtılarak numunenin sıcaklığa bağlı ağırlık değişimi sonuçları incelenmek üzere kayıt edilmiştir. Sıcaklığa bağlı ağırlık kaybı sonuçları grafiğe dökülerek %10'luk ağırlık kaybına denk gelen bozunma sıcaklığı (T10) değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca; ağırlık kaybının birinci derece türevinin analiz programında çizdirilmesi ile elde edilen eğrinin maksimum tepe noktasına denk düşen sıcaklık yani parçalanma sıcaklığı (Tm) değerleri de yine araştırma amacıyla kayıt edilmiştir.



Şekil 2.10: TA Instruments Q-Series TGA (Q50) cihazı

2.2.2.3. Dinamik mekanik termal analiz (DMTA)

Dinamik mekanik termal analiz (DMTA); malzemelerin viskoz ve elastik davranışlarını anlatan dinamik ve termal malzeme özellikleri hakkında bilgi veren bir tekniktir. Bu dinamik testte zamanın periyodik fonksiyonu olan genlemede ki değişimler ölçülür. Dinamik mekanik özellikler kalıcı deformasyonların olmadığı düşük genlemelerde ölçülür. Eğer bir sinüs dalga salınımlı gerilim tamamen elastik bir katıya uygulanırsa deformasyon ve genleme gerilmeyle birlikte tamamen aynı fazda olacaktır. Aynı sinüs dalga salınımlı gerilim viskoelastik bir katıya uygulanırsa genleme gerilmenin “ δ ” açısı kadar faz kayması gerçekleşir yani girdi ile yanıt arasında faz farkı oluşmaktadır Belirli bir frekansta ($\omega=2\pi f$) zamanın fonksiyonu olarak uygulanan gerilme aşağıda verilmiştir.

$$\zeta(t)=\zeta_0.\sin(\omega t+\delta) \quad (2.1)$$

Karışık dinamik modül (E^* ; uzama modunda) şu şekilde kullanılabilir:

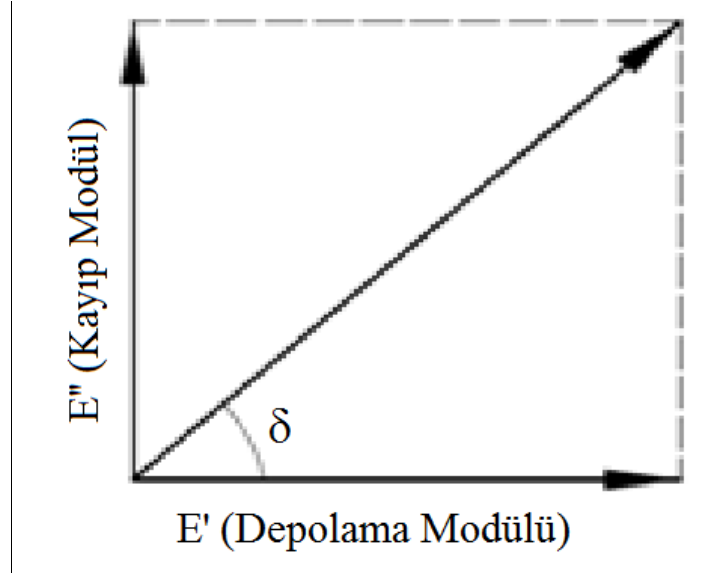
$$E^* = E' + i.E'' \quad (2.2)$$

Bu ifade $i = \sqrt{-1}$. E' olduğu zaman geçerlidir. Kayıp enerjinin depolanan enerjiye oranı $\tan \delta$ (kayıp faktör) olarak adlandırılan faz açısının tanjantıdır. Bu eşitlik

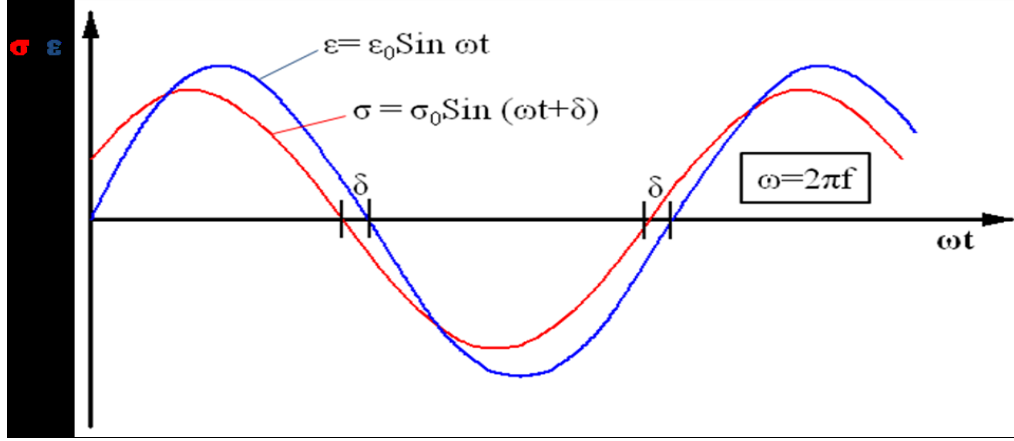
$$\tan \delta = [E''(\omega)]/[E'(\omega)] \quad (2.3)$$

Şeklinde tanımlanmıştır. Çok iyi bilinen modüller arasındaki bu ilişki Şekil 2.11' de gösterilmiştir.

Şekil 2.12' de gerilme genliği (ϵ) ile gerilme (ζ) arasındaki faz açısı farkı açıkça görülmektedir. Aşağıdaki Şekilde ilk önce gerilme değeri daha sonra belirli bir gecikme ile gerilme genliği değeri sıfır olmaktadır.



Şekil 2.11: Depolama modülü E' , kayıp modül E'' , ve kayıp faktör $\tan \delta$ arasındaki dinamik mekanik ilişki



Şekil 2.12: Uygulanan frekans (f) değerinde sinüzoidal değişime sahip gerilme genliği (ε) ile gerilme (ζ) arasındaki faz açısı (δ) farkı

Modül değerleri sıcaklıkla beraber malzemenin moleküler yapısındaki hareketler nedeniyle değişirler. Polimerlerin zincir hareketleri ve özellikle camsı geçiş sıcaklığı, modülü ve Tan δ'yı etkileyecektir.

DMTA ölçümleri sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki temel özellikleri verir:

- Polimerin ne kadar enerji depoladığını gösteren elastik modülünü (E').
- polimerin ısı olarak enerji dağıtabilme kabiliyetini gösteren viskoz modülünü (E'').

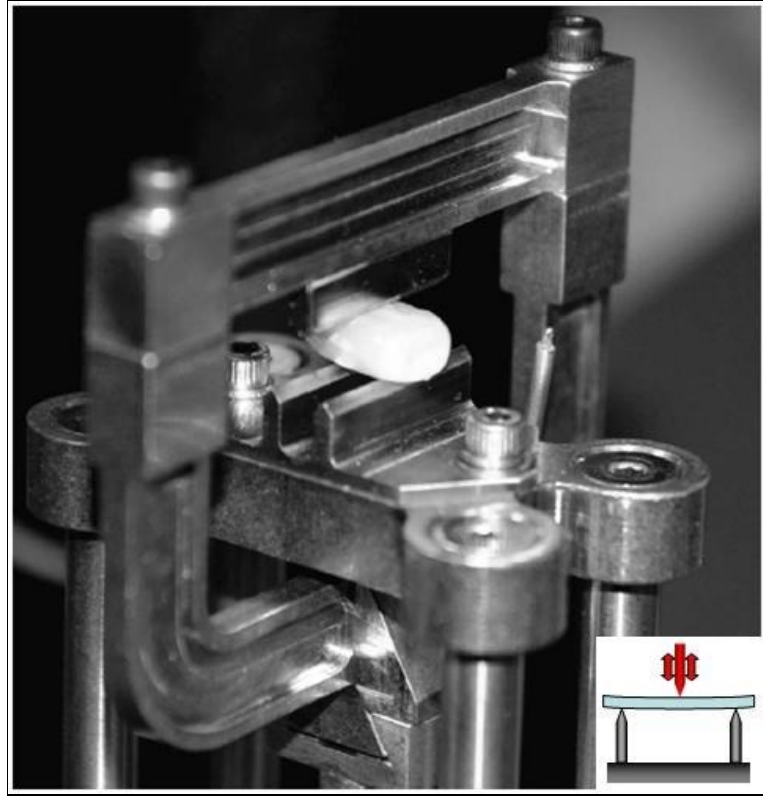
E' ve E'' sırasıyla dinamik depolama modülü ve dinamik kayıp modülü olarak da ima edilir ve ilki malzemenin rijitliğini diğeri ise malzemenin içindeki enerji sönmleme kabiliyetini anlatır. Dinamik mekanik termal analiz (DMTA) elastik modül (veya depolama modülü, E'), viskoz modül (veya kayıp modül, E'') ve iki modül arasındaki ilişkiyi (Tan δ), ısıtma hızının, frekansın veya zamanın fonksiyonu olarak belirleyen test sistemidir. Sonuçlar genelde sıcaklığa göre E', E'' ve Tan δ olarak çizilir. DMTA polimerlerde camsı geçiş sıcaklığı gibi değişimleri belirler ve ürün geliştirme veya kalite kontrol amaçlı kullanılmasına olanak sağlar. DMTA, DTK'nın (Diferansiyel taramalı kalorimetre) çözünürlüğünün belirleyemediği küçük değişim bölgelerini bile belirleyebilmektedir.

Test yöntemi: Test numunesi iki destek noktasından sabit ve orta destek noktasından hareketli tutucular arasına yerleştirilir ve sonra fırın içine kapatılır. Test numunesi için deney girdileri; frekans, genlik ve sıcaklık aralığıdır. Test

numunesinin tutucu çeneler arasına nasıl yerleştirildiği ve deney esnasında çenenin nasıl hareket ettiği Şekil 2.13’de gösterilmiştir.

Numune boyutu: Test numuneleri ISO çok amaçlı test numunesidir. Boyutu standartlar toleransı kabulünde 28x4x2 mm’dir.

Test modu: Üç nokta eğme modu seçilerek deneyler yapılmıştır. DMTA çalışmaları 25°C –120°C aralığında 5°C/dakika ısıtma hızı ve 1 Hz’lik eğme frekansı ile yapılmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.13: Dinamik mekanik termal analizler esnasında kullanılan üç nokta eğme testi

Dinamik mekanik termal analizlerin yapılmış olduğu TA Instruments firmasının ürettiği DMTA Q800 tipi cihaz Şekil 2.14’ te gösterilmiştir.

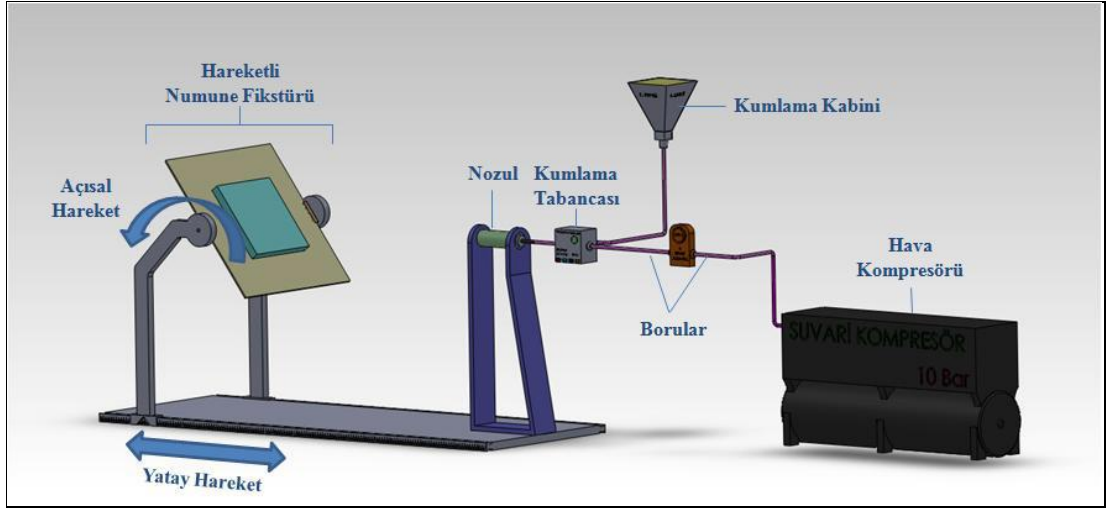


Şekil 2.14: Dinamik Mekanik Termal Analiz (DMTA Q800) cihazı

2.2.3. Katı partikül erozyonu testi

Katı partikül erozif aşınma davranışı özel olarak tasarlanan Şekil 2.15' te şematik olarak gösterilen kumlama düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Kumlama düzeneği basınçlı hava kompresörü, basınçlı hava tankı, kumlama kabini, numune fikstürü ve kumlama tabancası elemanlarından oluşmaktadır. Kumlama tabancası kumlama kabini içerisine sabitlenmiş ve kabin dışarısından bir pedal vasıtasıyla kontrol edilebilmektedir. Kumlama basıncı da kabin dışarısına yerleştirilen bir basınç regülatörü ile ayarlanabilmektedir.

Kumlama kabini içerisine numunenin sabitlenmesi ve numune üzerine istenilen açılarda kum püskürtülmesini sağlayan özel bir numune tutucusu yerleştirilmiştir. Bu düzenek ile kabin içerisine sabitlenmiş kumlama tabancası, numunenin açılarda olarak 15'er derece döndürülmesine olanak veren tutucunun hareketi ile numune üzerine istenilen açılarda kum püskürtebilmektedir. Kumlama işlemleri sırasında numuneler bu tutucu kullanılarak kumlama tabancasından 10 mm uzaklıkta tutulmuştur.



Şekil 2.15: Katı partikül erozyonu aşınma test düzeneği

Katı partikül erozyonu aşınma testi parametreleri ve değerleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

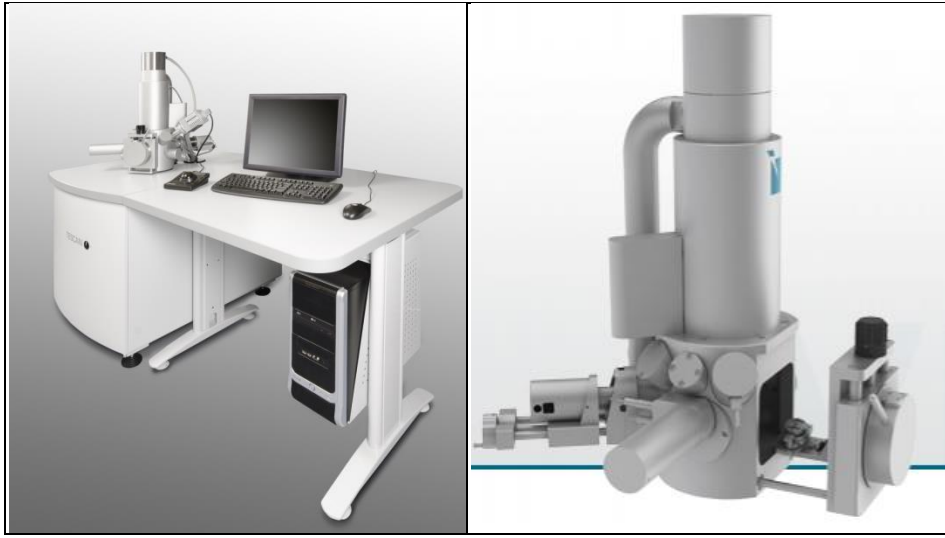
Tablo 2.7: Katı partikül erozyonu aşınma deney parametreleri

Aşındırıcı Partikül Boyutu	Püskürtme Basıncı	Süre	Kütlesel Debi	Çarpma Açısı
(Mesh)	(Bar)	(s)	(g/s)	(°)
80	1,5	10	4,489667	30-45-60
	3		7,691333	
	4		8,973333	
180	1,5	10	3,665333	30-45-60
	3		6,762667	
	4		7,984667	

2.2.4. Morfolojik analiz metotları

2.2.4.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleme

Farklı parametreler altında aşındırılan numunelerin yüzeyleri Tescan Vega2 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Şekil 3.16' da deneysel çalışmalarda kullanılan SEM cihazının fotoğrafı, Tablo 2.8'de ise bu cihazın önemli özellikleri verilmiştir. Deneysel çalışmalarda EDS analizleri SEM cihazına ekli Bruker Quantax EDS dedektörü ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.16. Deneysel çalışmalarda kullanılan SEM cihazı

Tablo 2.8. SEM cihazının özellikleri

Çözünürlük	Yüksekvakummodunda 3nm, Düşükvakummodunda 3nm
Büyütme	6x – 1'000'000x
Hızlandırma Voltajı	200V - 30kV, 10V adımlı
Prob akımı	1pA - 2uA
Tarama	Taramahızı: pikselbaşına 160ns - 10ms, adımliveyasürekli
Resim boyutu	8192 x 8192 pikselekadar
Numune kabini	160 mm iç çap

2.2.4.2. Optik mikroskop ile inceleme

Tahribarlı testlere maruz kalan numunelerin makro boyutta morfolojik inceleme ve analizlerinin yapılması için Şekil 2.17,'de gösterilen 80x büyötmeye kadar çıkabilen "Leica S8 APO" Stereo Mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 2.17:Leica S8 APO Stereo Mikroskop

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Partikül Takviyesinin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

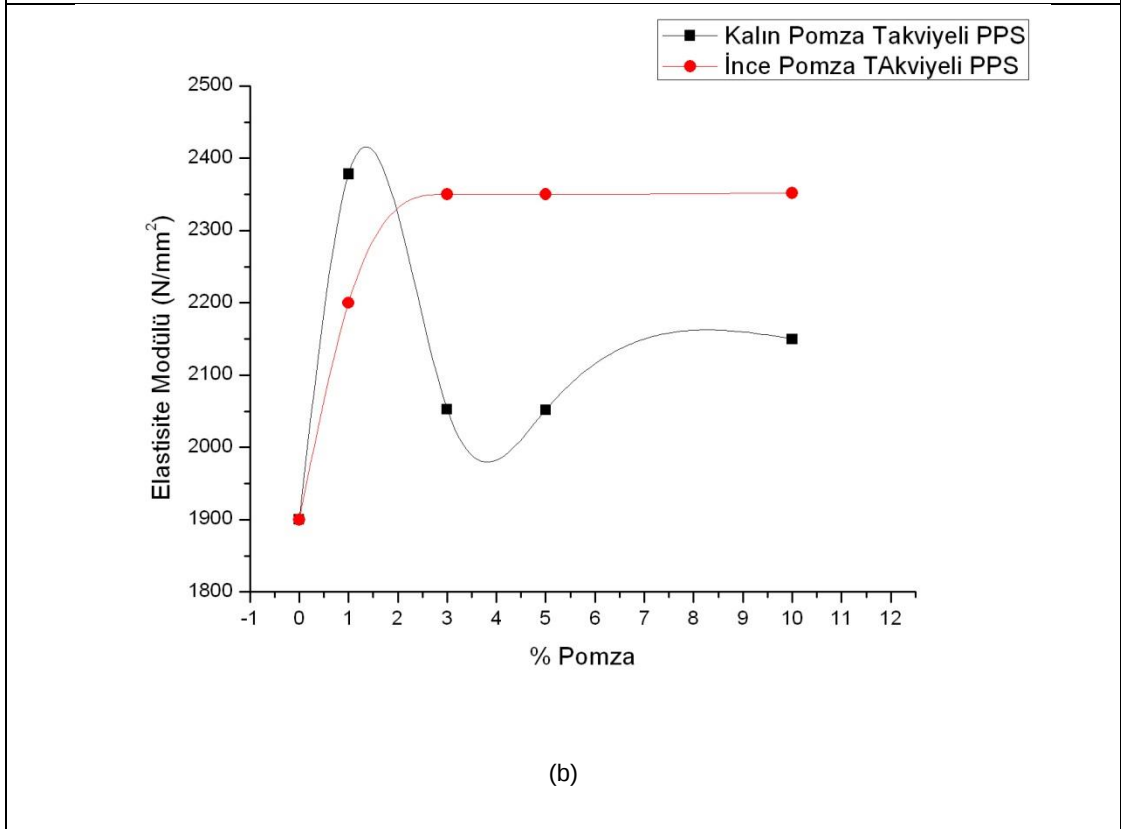
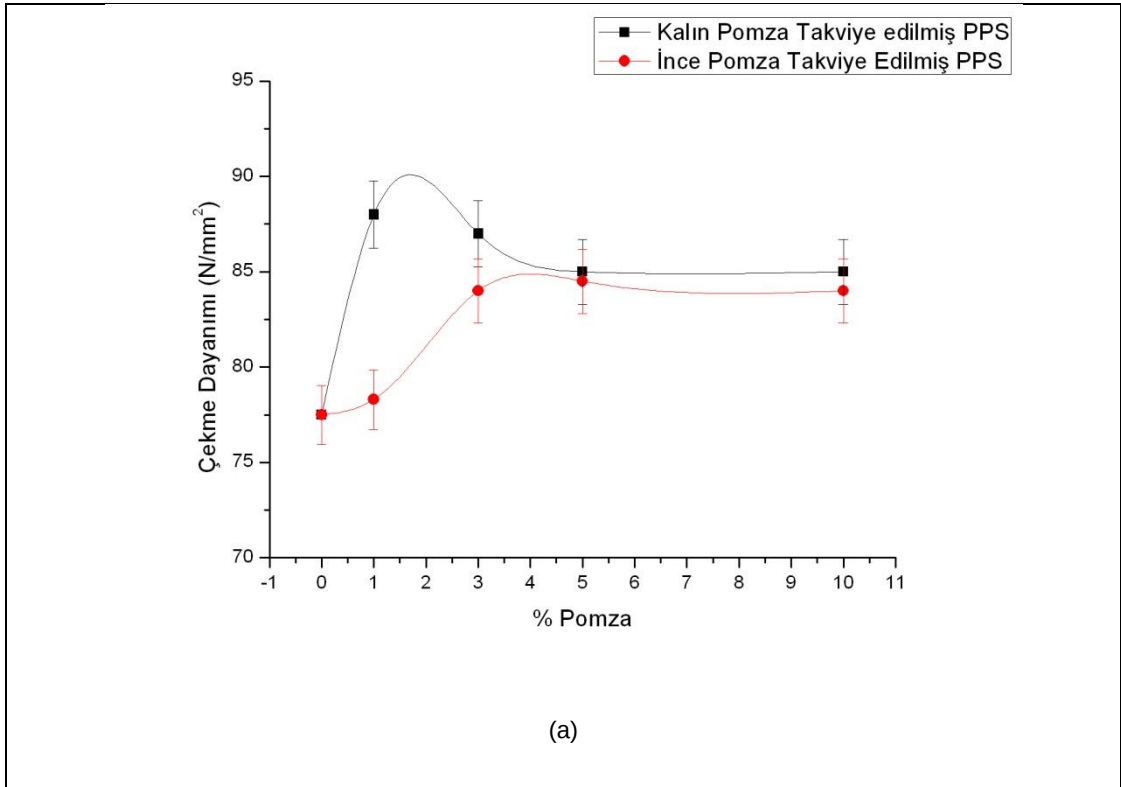
Farklı boyut ve oranlarda pomza tozu takviye edilerek üretilmiş olan PPS kompozitlerin mekanik özelliklerinin pomza ilavesi ile değişip değişmediğini, eğer değişim var ise ne yönde olduğunu tespit etmek için üretilen numunelere mekanik testler uygulanmıştır.

3.1.1. Çekme testi sonuçları

Tablo 2.2' de belirtilen farklı boyut ve oranlarda pomza partikülleri ile takviye edilen PPS kompozitlerin mekanik özelliklerini görmek amacı ile çekme testleri yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.1' de verilmiştir. Şekil 3.1-a'daki çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde büyük boyutlu pomza takviyesinin her oranda daha iyi çekme dayanımı sağladığı görülmektedir. Küçük partiküllerin efektif tutunma için daha fazla polimere gereksinim duyması ve bundan dolayı da küçük boyutlu partiküllerin çekme dayanımına katkısı büyük boyutlu partiküllere nazaran daha düşük olmaktadır bununla birlikte büyük boyutlu partiküller polimer içinde süreksizlikler meydana getirerek polimer tarafından taşınan yük miktarlarını azaltırlar[21, 53, 54]. Partikül takviye oranının etkisi irdelendiğinde küçük partiküllerin (180 mesh) kompozit içerisindeki oranı arttıkça %5 oranına kadar arttığı ancak %10 takviye oranında ise %5' e kıyasla düşüş sergilediği gözlenmiştir. Büyük boyutlu partiküllerin (80 mesh) %1 ve %3 takviye oranlarında en iyi çekme dayanımı sağladığı artan oranlarla birlikte dayanımda düşüş meydana geldiği görülmektedir. Ancak her iki partikül boyutu ve her bir takviye oranı ile elde edilen kompozitlerin çekme dayanımının saf PPS' ten yüksek olduğu gözlenmiştir. Partikül ile matris ara yüzeyinin kuvvetli olması çekme dayanımı üzerinde olumlu etki yapmakta ve takviye oranı arttıkça ara yüzey toplam alanı da arttığından dolayı partikül takviye oranında meydana gelen artış çekme dayanımını da olumlu yönde etkilemektedir. Ancak kompozit içerisinde ki partikül miktarının belirli bir limitin üzerinde artması ile birlikte partiküllerin toplanarak büyük bir partikül haline gelmesi mümkündür ve bu durumda istenilen durumun aksine çok sayıda ara yüzey

yerine bir tek tutunma yüzeyi meydana gelir. Yine kompozit içerisindeki partikül miktarının çok fazla olması halinde partiküller arası bağlantı zayıflatmakta ve partiküller arası gerilim transferi meydana gelmemektedir çünkü onları bir arada tutabilecek matris malzemesi miktarı azaldığından dolayı partikül matrise iyi yapışamayacak ve matris malzemesi üzerine gelen yükü de paylaşamayacaktır. Partikül-matris ara yüzeyinde gerilim transferi yetersiz kaldığından dolayı da yüksek oranlarda partikül takviyesi çekme dayanımı üzerine olumlu etki yapamayacaktır [25, 27, 55].

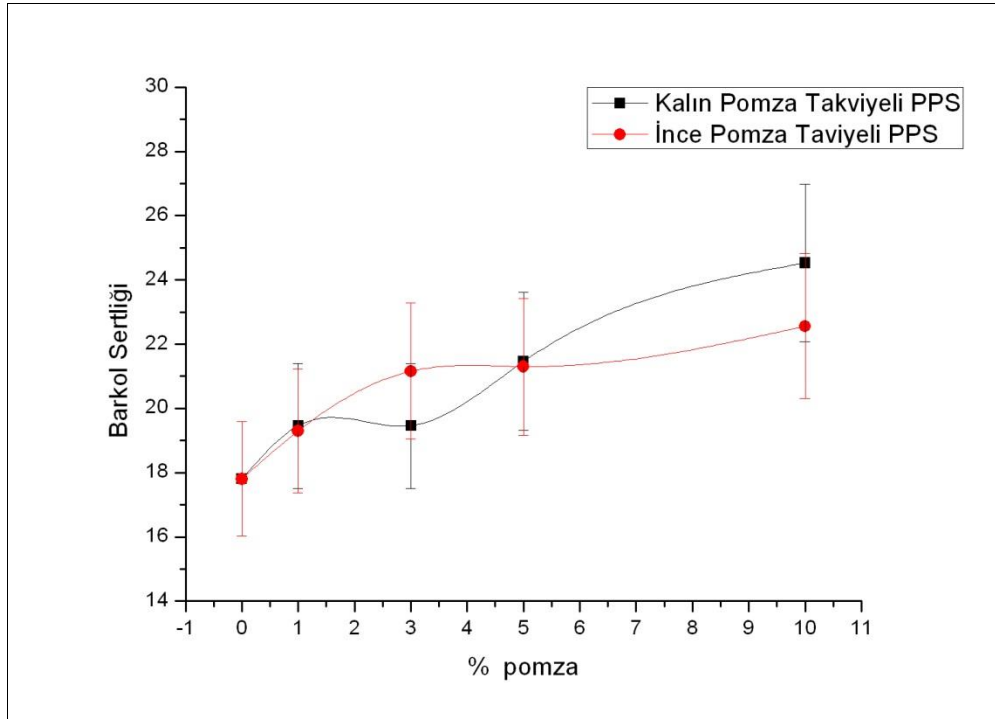
Şekil 3.1-b' de partikül takviyesinin elastisite modülü üzerine etkisi verilmiştir. Grafik incelendiğinde her iki partikül boyutunun ve her oranda partikül takviyesinin saf PPS' in elastisite modülünü başka bir ifade ile rijitliğini artırıcı yönde etki yapmıştır. Küçük partikül takviye oranı arttıkça %3' e kadar elastisite modülünün artış sergilediği, artan takviye miktarı ile birlikte modülün etkilenmediği ve sabit kaldığı görülmüştür. Büyük partikül takviyesinin elastisite modülünü önce arttırdı ardından %3 oranı ile birlikte bir düşüş sergileyip artan takviye ile birlikte elastisite modülünün değişmediği görülmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında partikül takviyesinin elastisite modülünü artırıcı yönde etkilediği görülmüştür [23, 26, 28, 56-58].



Şekil 3.1: Pomza takviyesinin PPS' in (a) çekme dayanımı üzerine (b) elastisite modülü üzerine etkisi.

3.1.2. Barkol Sertlik Testi

Pomza takviyesinin kompozit malzemenin sertlik değerleri üzerine etkisini görmek amacı ile barkol sertlik testleri uygulanmıştır. Test sonuçları şekil 3.2’ de verilmiştir. şekil 3.2 incelendiği zaman pomza takviyesi her iki boyutta ve her oranda sertlik değerini olumlu yönde etkilemiş, kalın partiküller ince partiküllere oranla daha yüksek iyileştirme meydana getirmişlerdir. Burada partikül miktarı arttıa batıcı u hem daha büyük oranda ihtimallerle takviye malzemelerine batmakta hem de partikül miktarı arttığı için partiküller matris içerisinde ilerleyemeyip sıkışmaktadır. Büyük partiküllerin sertliği arttırması ise batıcı ucun büyük boyutlu partikülleri küçük boyutlu partiküllere oranla daha zor itebilmesi olarak yorumlanabilir [5].



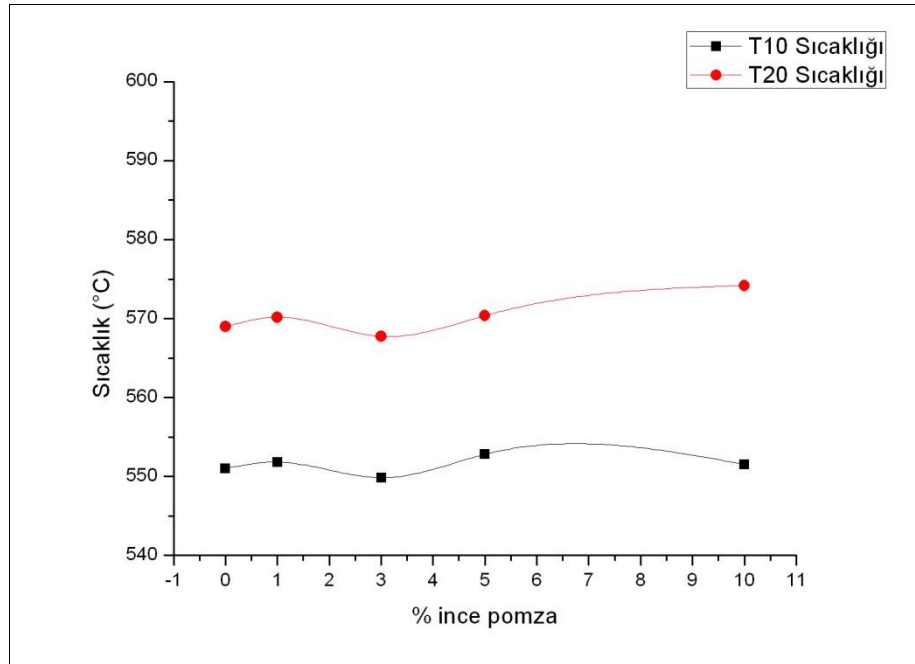
şekil 3.2: Pomza takviyesinin PPS polimerinin sertliği üzerine etkisi

3.2. Partikül Takviyesinin Termal ve Termomekanik  zellikler  zerine Etkisi

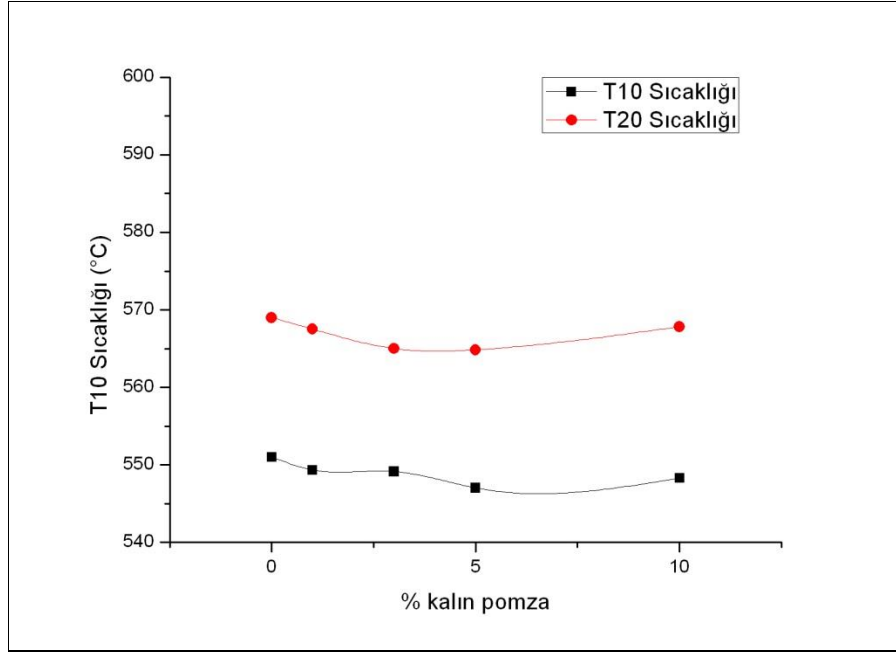
3.2.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA) yapılarak pomza tozu takviyesinin PPS polimerinin bozunma sıcaklığı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan TGA testleri sonucunda numunelerin T_{10} , T_{20} (%10 ve %20 kütle kaybının meydana geldiği sıcaklıklar.) ve

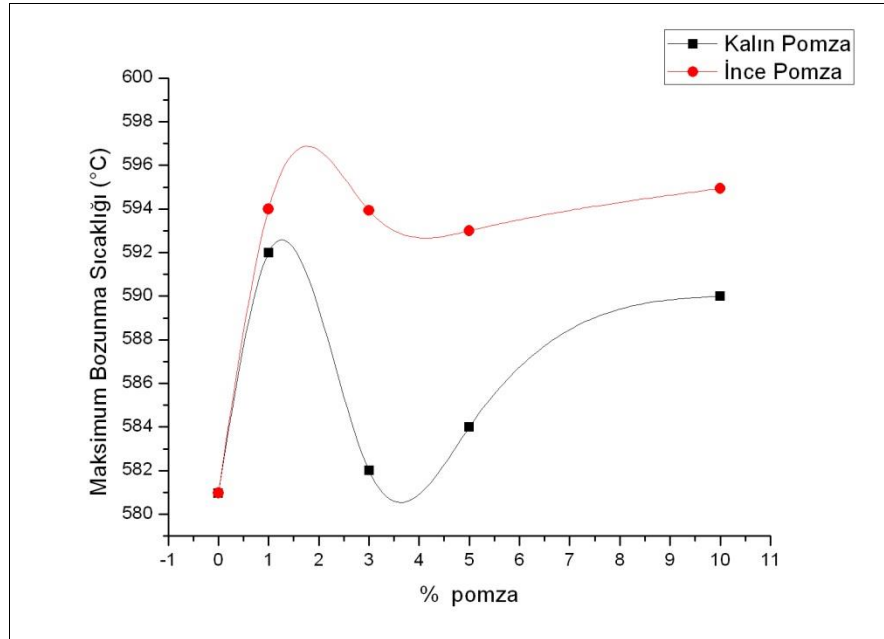
malzeme kaybının en yüksek olduğu başka bir ifade ile bozunmanın en yüksek seviyede olduğu sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Şekil 3.3 ve 3.4' te de görüldüğü gibi ince pomza takviyesinin T_{10} ve T_{20} sıcaklıkları üzerinde çok belirgin bir etkisinin bulunmadığı ancak kalın pomza takviyesinin düşürücü etki yaptığı tespit edilmiştir. Pomza takviyesinin maksimum bozunma sıcaklığı üzerine etkisi ise Şekil 3.5' te verilmiştir. Şekil 3.5 irdelendiğinde her iki boyuta sahip partikül takviyesinin de parçalanma sıcaklığını yükselttiğini ancak küçük partiküllerin büyük partiküllere göre daha iyi iyileştirme meydana getirdiği görülebilmekle birlikte %1' in üzerinde takviye oranının belirgin bir değişime yol açmadığı gözlenmiştir. Takviye malzemesinin bozunma sıcaklığını olumlu ya da olumsuz yönde etkilemesi takviye malzemesinin matris malzemesine göre termal olarak daha fazla ya da daha az dengeli olması ile alakalıdır. Daha dengeli bir hale sahipse artırıcı değilse düşürücü yönde etki göstermektedir [32, 34, 36].



Şekil 3.3: İnce pomza takviyesinin PPS malzemesinin T_{10} ve T_{20} sıcaklıkları üzerine etkisi



Şekil 3.4: Kalın pomza takviyesinin takviyesinin PPS malzemesinin T_{10} ve T_{20} sıcaklıkları üzerine etkisi

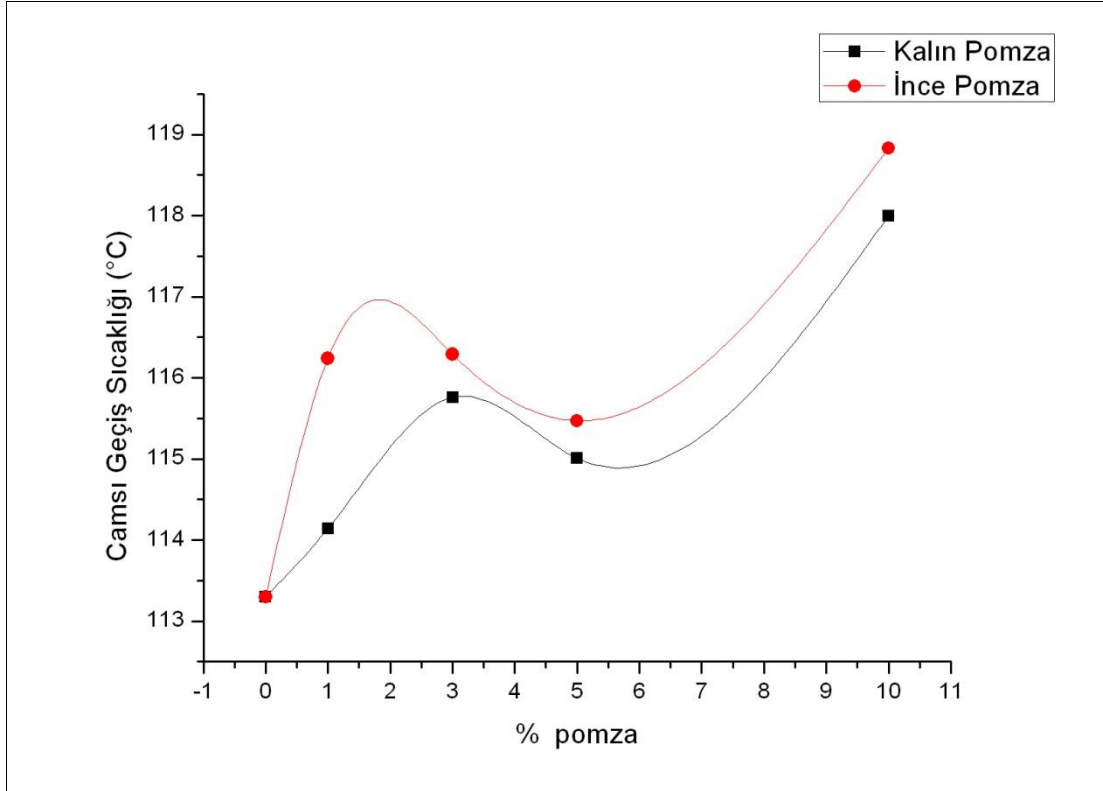


Şekil 3.5: Pomza takviyesinin PPS malzemesinin maksimum bozunma sıcaklığı üzerine etkisi

3.2.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK)

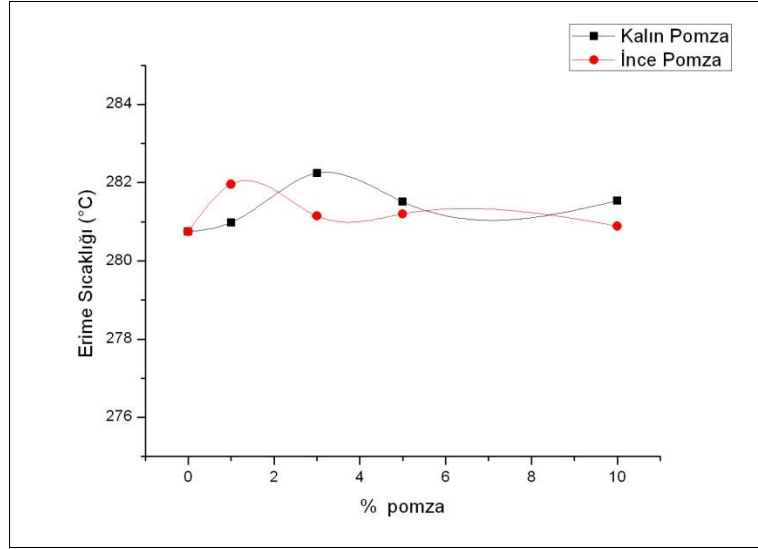
Diferansiyel taramalı kalorimetre kullanılarak pomza takviyesinin PPS' in camısı geçiş sıcaklığı (T_g), Erime sıcaklığı (T_m) ve kristalinite üzerine etkisi irdelenerek elde edilen sonuçlar Şekil 3.6, 3.7 ve 3.8' de verilmiştir. Şekil 3.6 irdelendiğinde hem kalın pomzanın hem de ince pomzanın kompozit içerisindeki oranı arttıkça camısı

geçiş sıcaklığını artırdığı görülmekle birlikte ince pomza takviyesinin her karışım oranı için kalın pomza takviyesine göre daha yüksek camsı geçiş sıcaklığı meydana getirdiği gözlenmiştir. Bu durum takviye edilen pomza partikülleri ile PPS polimerinin bağları arasında etkileşim meydana gelmesi ve pomzanın PPS'in sert ve yumuşak fazlarının ayrılmasına müdahale etmesi sonucu oluşmuştur şeklinde yorumlanabilir [35].



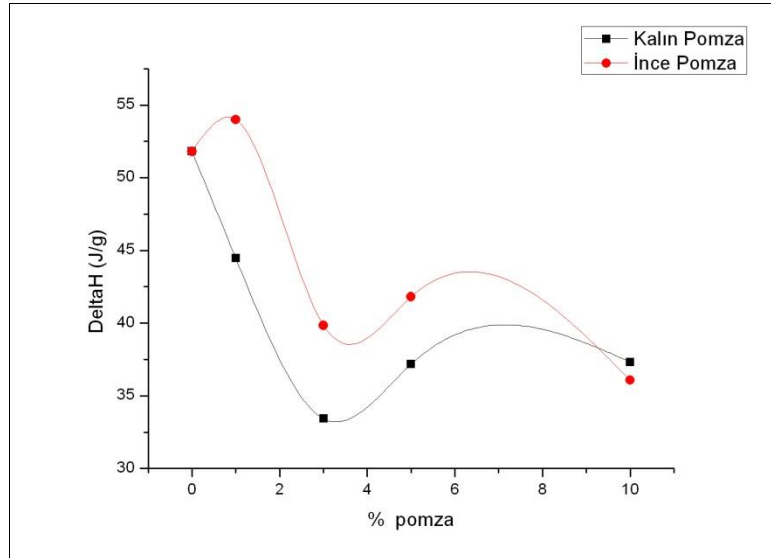
Şekil 3.6: Pomza takviyesinin PPS polimerinin camsı geçiş sıcaklığı üzerine etkisi

Şekil 3.7 irdelendiğinde ne kalın pomza takviyesinin ne de ince pomza takviyesinin PPS malzemesinin erime noktası üzerinde önemli bir etkide bulunmadığı görülebilmektedir.



Şekil 3.7: Pomza takviyesinin PPS polimerinin erime sıcaklığı üzerine etkisi

Şekil 3.8 irdelendiği zaman görülecektir ki ince pomza takviyesi %1 oranında PPS matris içine ilave edildiği zaman kristaliniteyi artırmakta ancak takviye oranı %1 değerini aştığı takdirde artan takviye miktarı ile birlikte kristalinite düşüş sergilemektedir. Kalın pomza takviyesi ise her takviye oranında kristaliniteyi düşürücü yönde etki etmekte ve takviye oranı arttıkça kristalinite düşüş sergilemektedir. Partikül takviyesi ile birlikte takviye edilen partiküllerin polimer bağları arasına girerek etkileşim kurmalarına engel olması olarak yorumlanabilmektedir [35,59].

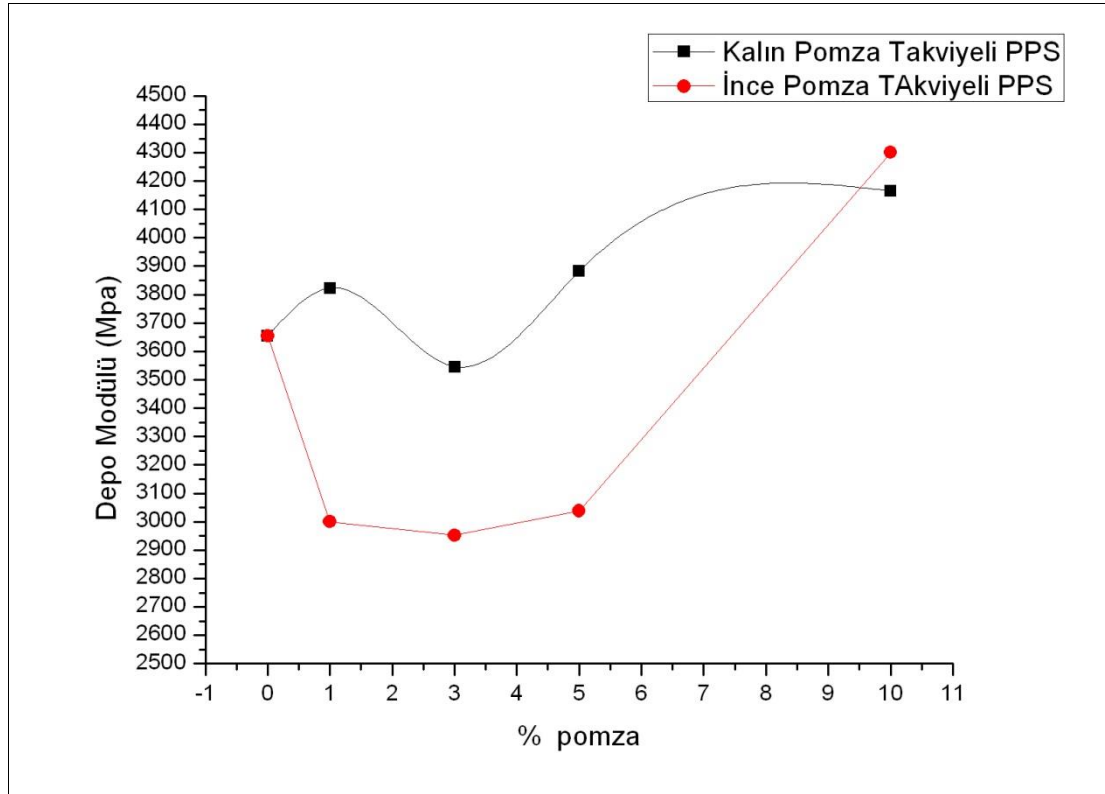


Şekil 3.8: Pomza takviyesinin PPS polimerinin kristalinitesi üzerine etkisi

3.2.3. Dinamik mekanik termal analiz (DMTA)

Dinamik mekanik termal analiz neticesinde alınmış olan depo modülü(E') sonuçları Şekil 3.9' de görüldüğü gibi ince pomza takviyesi %5 takviye oranına kadar depo modülünde düşürücü yönde etki yaparken %5 takviye oranından itibaren pomza takviyesi depo modülünü artırıcı yönde etki etmiştir. Kalın pomza takviyesinin depo modülü üzerine etkisi incelendiğinde ise %3 partikül takviyesinin depo modülünü düşürdüğü ancak artan takviye miktarı ile birlikte depo modülünün de arttığı görülmüştür. Depo modülü üzerinde partikül boyutunun etkisi incelendiğinde ise kalın partiküllerin depo modülünü daha çok artırdığı görülebilmektedir.

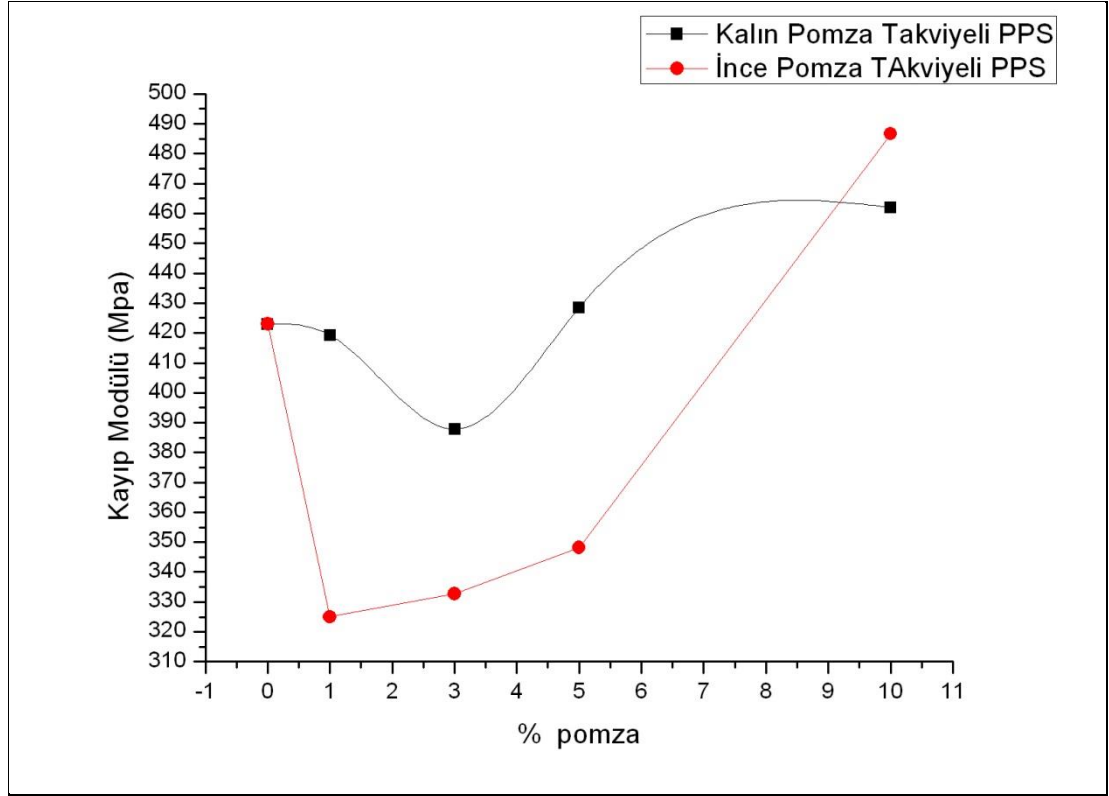
Bu durum partikül yüzeyi ile polimer bağları arası van der waals bağı oluşması ve viskoelastik matris içerisine gömülü olan takviye elemanının konsantrasyonunun artışı ile meydana gelen mekanik sınırlama sayesinde matrisin uğradığı deformasyonun azalmasına bağlanabilmektedir [34, 36, 60, 61].



Şekil 3.9: Pomza takviyesinin PPS polimerinin depo modülü üzerine etkisi

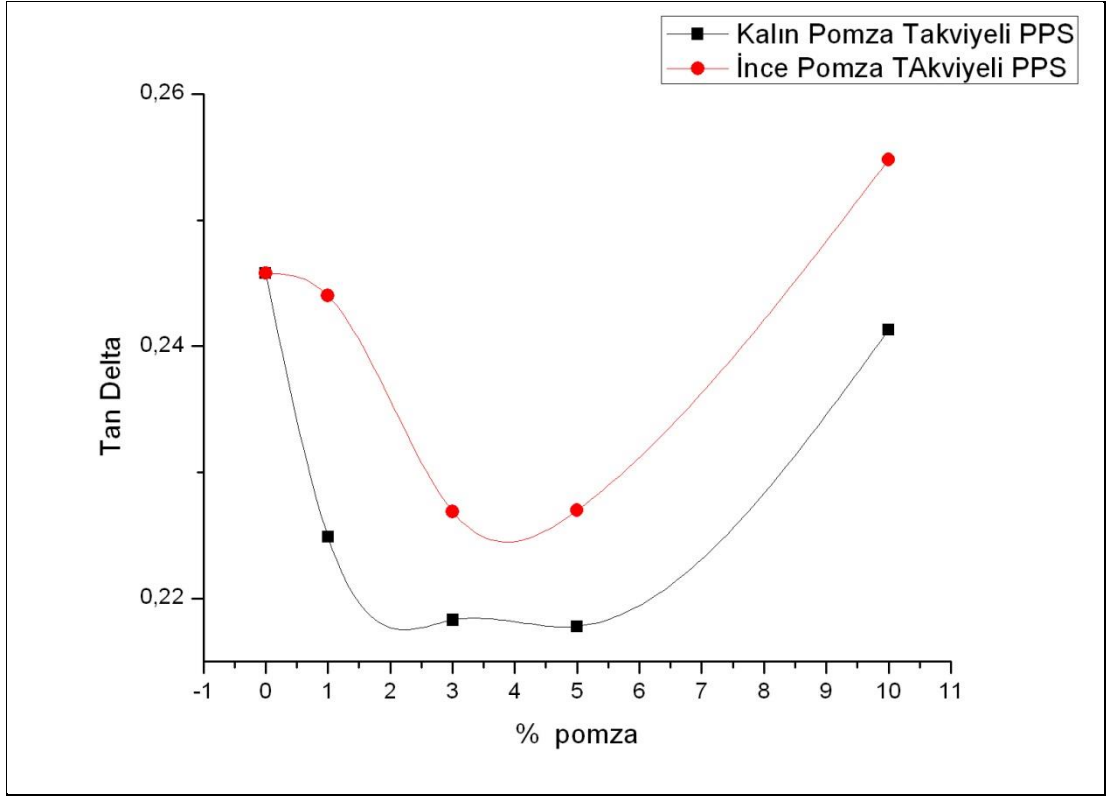
Şekil 3.10' da görüldüğü üzere ince pomza takviyesi kayıp modül(E'') üzerinde %1 oranında takviye edildiğinde saf PPS' e göre düşürücü yönde etkide bulunmuş ancak artan takviye oranı ile birlikte kayıp modül değeri de artış sergileyerek %10

takviye oranında saf PPS' ten daha yüksek kayıp modül değerine sahip olmuştur. kalın pomza takviyesinde ise takviye oranı arttıkça kayıp modül değerinin arttığı görülmektedir. Kayıp modül değeri üzerinde takviye boyutunun etkisi incelendiğinde ise ince pomza takviye edilmiş numunelerin daha düşük kayıp modül değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10: Pomza takviyesinin kayıp modül değeri üzerine etkisi

Şekil 3.11' de tan delta sonuçları verilmiştir. Veriler incelendiğinde ince pomza takviyesinin % 10 takviye oranına kadar düşüş sergilediği %10 takviye oranında ise artış sergilediği görülebilmektedir. Bu sonuçlar neticesince ince pomza partikülleri ile PPS matris ara yüzey ilişkisinin arttığı ancak %10 takviye oranı ile birlikte ise düştüğü yönünde yorumlanabilir. Kalın pomza takviyesinde de ince takviyesi ile benzer trendde etkileşim olduğu görülebilmektedir. Partikül boyutunun etkisi göz önüne alınacak olursa eğer, her oran için ince pomza takviyeli numunelerin tan delta değerleri kalın pomza takviyeli numunelerin tan delta değerlerinden düşük olduğu yani daha iyi ara yüzey etkileşimine sahip oldukları sonucuna varılabilmektedir.



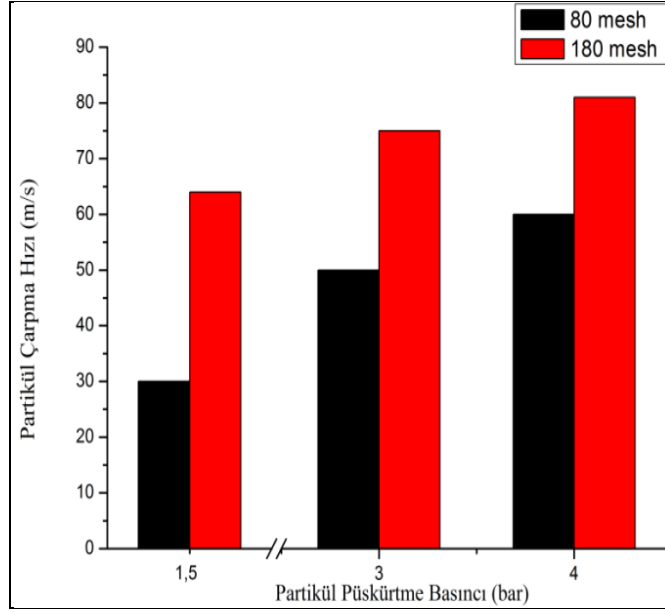
Şekil 3.11: Pomza takviyesinin PPS polimerinin tan delta değeri üzerine etkisi

3.3. Partikül Takviyesinin Erozif Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi

3.3.1. Aşındırıcı partikül püskürtme basıncının erozyon oranı üzerine etkisi

Pomza takviyeli PPS kompozitin erozif davranışı üzerine aşındırıcı partikül püskürtme basıncının etkisini irdelemek amacı ile 1,5, 3 ve 4 bar püskürtme basınçlarında 80 ve 180 mesh boyutlu garnet partikülleri kompozit numuneleri aşındırmak üzere numunelerin üzerine püskürtülmüştür.

Püskürtme basıncının partiküllerin numunelere çarpma hızlarına etkisi ve çarpma hızları Tablo 3.1 ve Şekil 3.12' de verilmiştir. Tablo 3.1 Şekil 3.12 incelendiğinde püskürtme basıncının artmasına paralel bir şekilde partiküllerin numuneye çarpma hızları da artış göstermektedir.

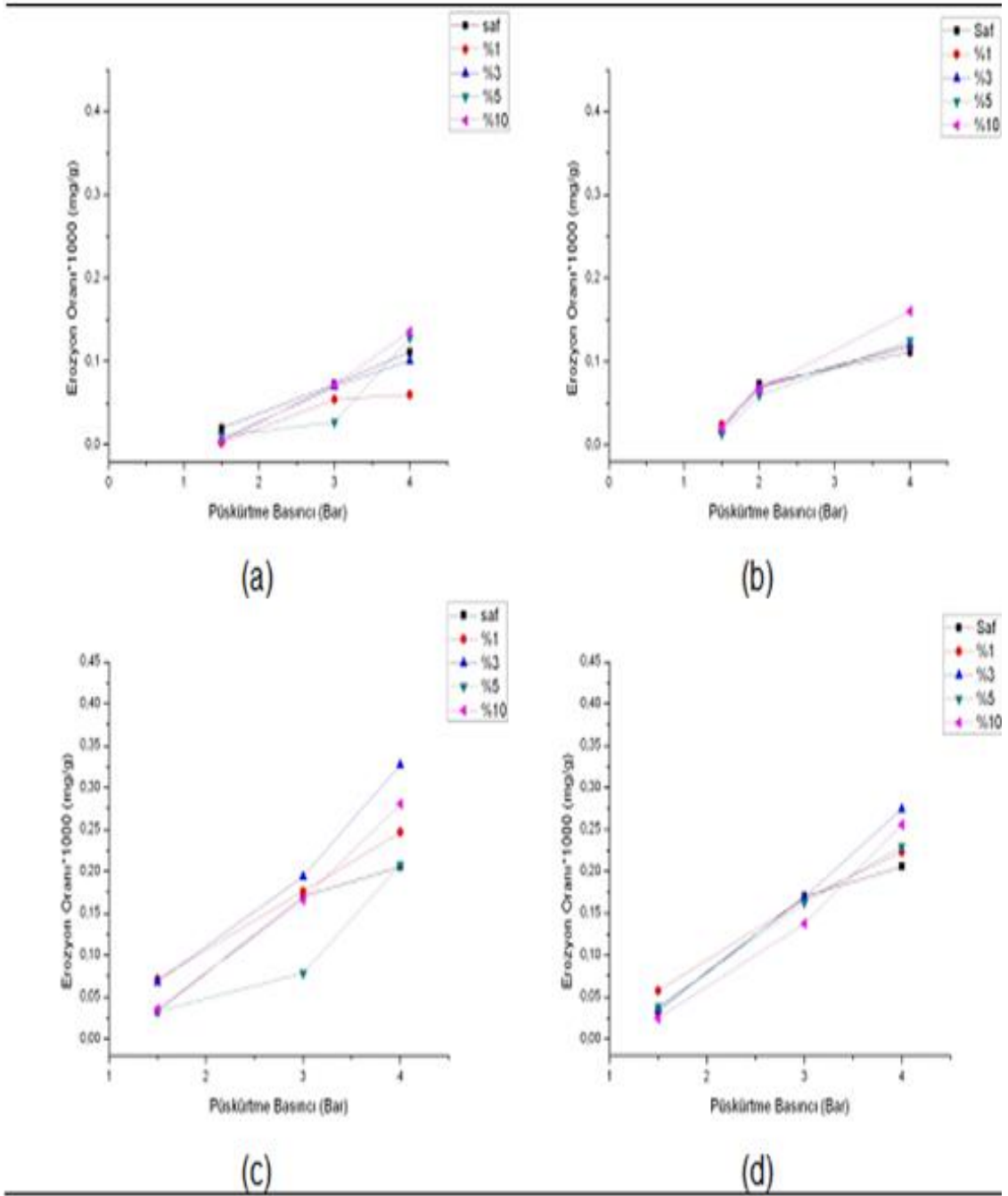


Şekil 3.12: Püskürtme basıncının partikül çarpma açısı üzerine etkisi

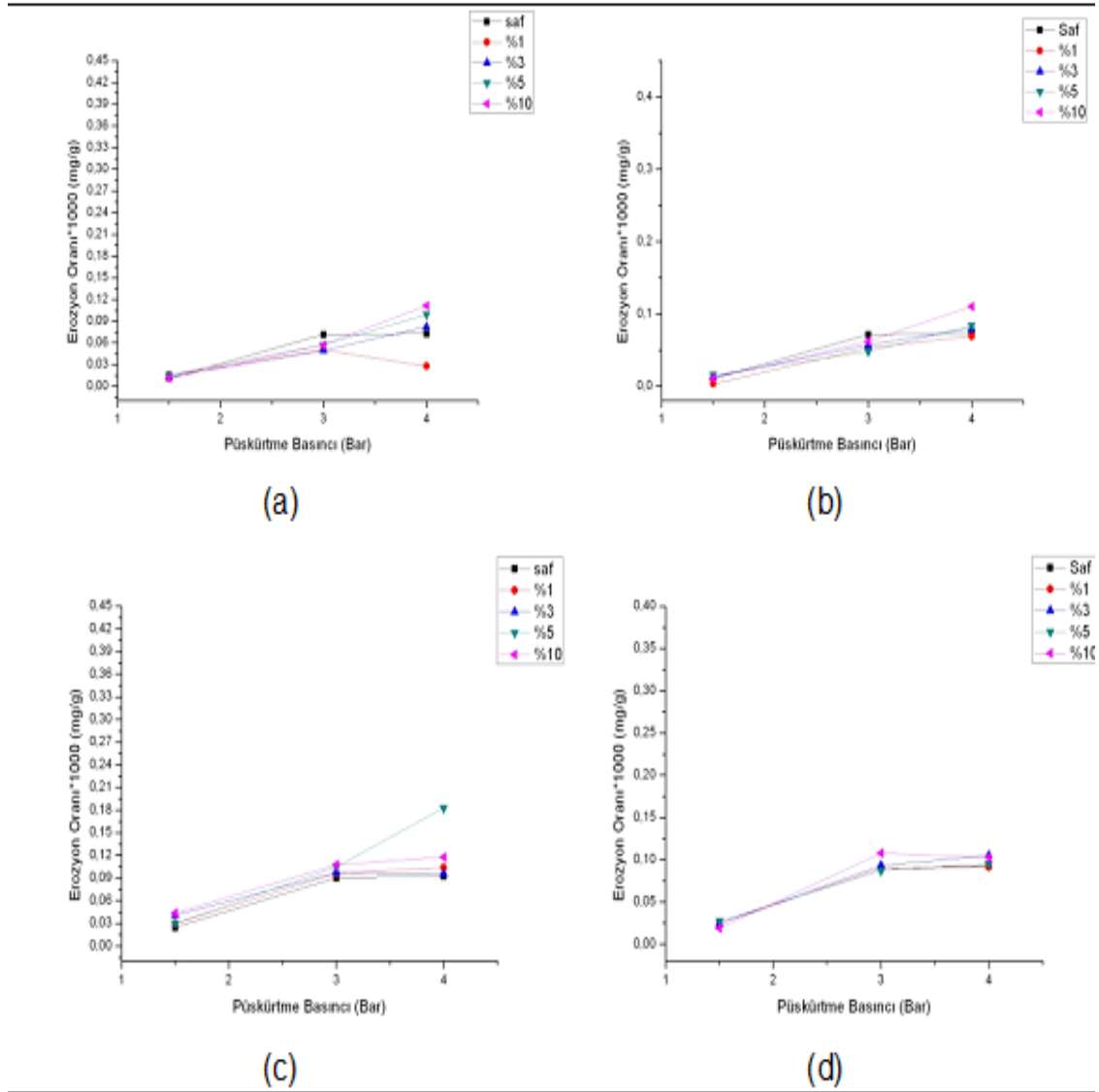
Tablo 3.1: Üç farklı basınçta püskürtülen garnet partiküllerinin hedef malzemeye çarpma hızları

Partikül boyutu	Hızlar (m/s)		
	1,5 bar	3 bar	4 bar
80 mesh	30	50	60
180 mesh	64	75	81

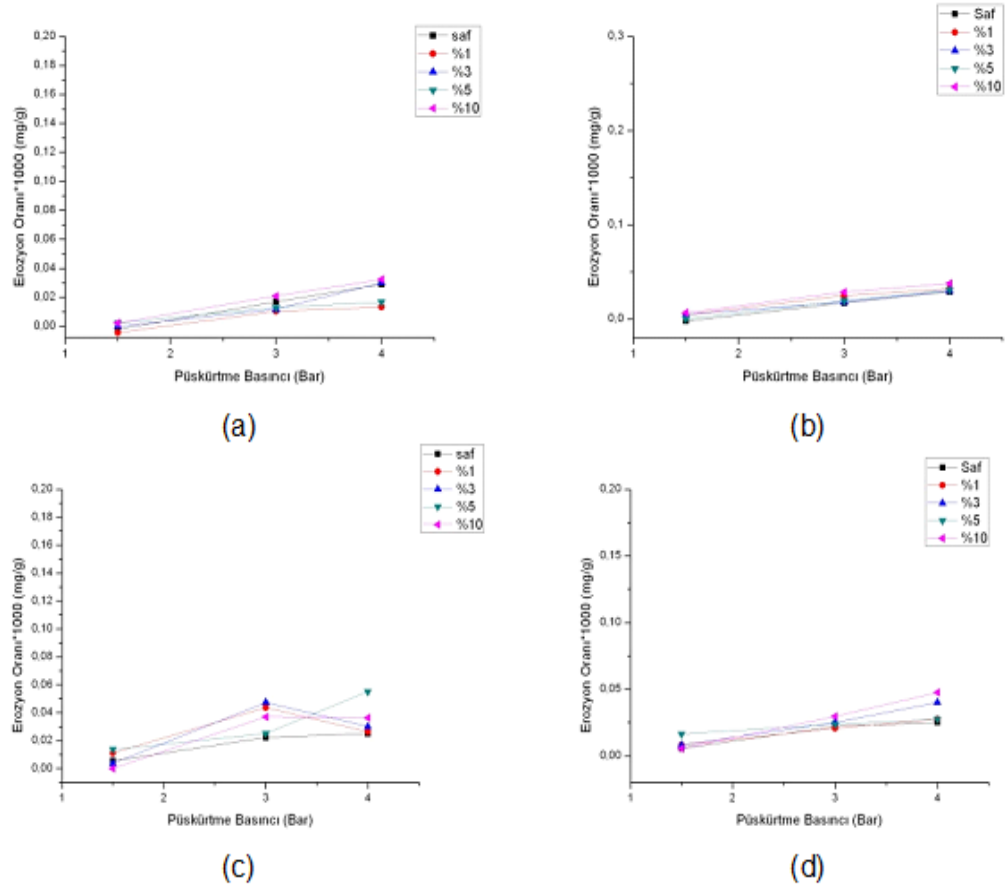
Erozyon oranı üzerine püskürtme basıncının etkisini göstermek amacı ile aşağıda Şekil 3.13 30 ° partikül çarpma açısında, Şekil 3.14 45° partikül çarpma açısında Şekil 3.15 60° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı üzerine püskürtme basıncının etkisini vermektedirler.



Şekil 3.13: 30° partikül çarpma açısında (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine basınç etkisi



Şekil 3.14: 45° partikül çarpma açısında (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine basınç etkisi



Şekil 3.15: 60° partikül çarpma açısında (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine basınç etkisi

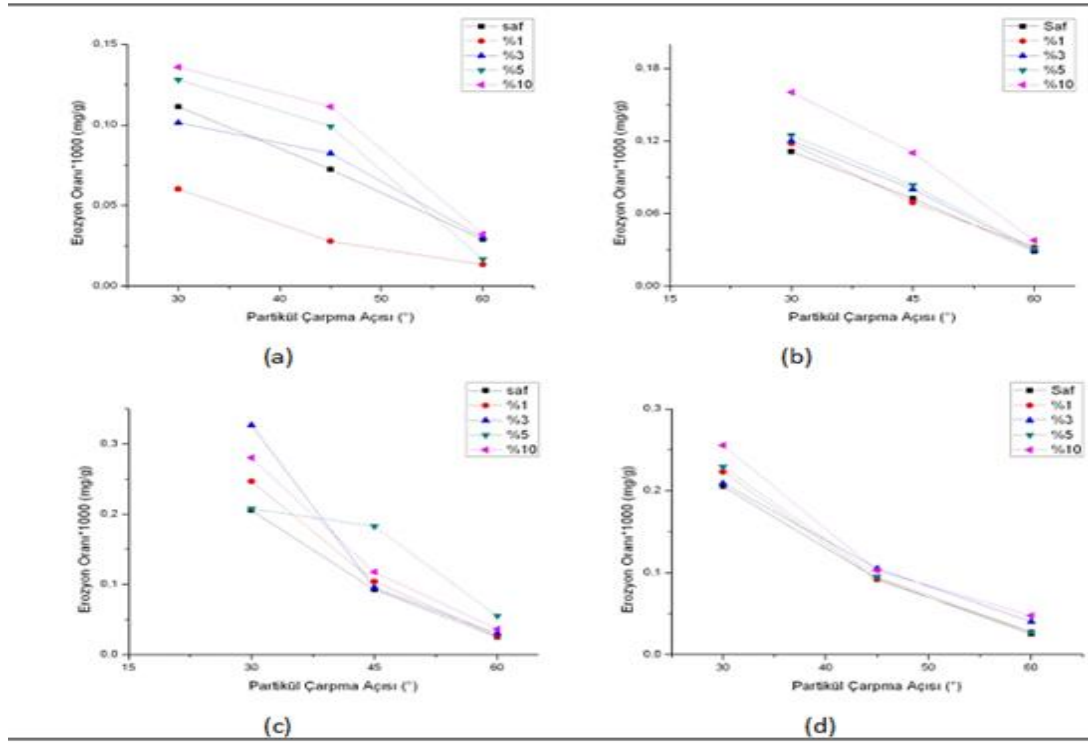
Grafikler incelendiği zaman açık bir Şekilde görülmektedir ki her bir partikül çarpma açısında, her bir takviye boyutunda ve oranında maksimum erozyon oranı 4 bar püskürtme basıncında görülmüştür. Bu durum artan püskürtme basıncı ile püskürtülen partiküllerin kinetik enerjilerinin artması ile ilişkilendirilebilir.

3.3.2. Partikül çarpma açısının erozyon oranı üzerine etkisi

Üretmiş olduğumuz kompozit PPS matrisli olduğundan dolayı yapılan literatür çalışmaları sonucu ya sünek ya da yarı sünek aşınma karakteristiği sergilemesi beklenilmektedir. Bu doğrultuda sünek mi yoksa yarı sünek aşınma karakteristiği sergileyeceğini tespit etmek amacı ile numuneler 30°, 45° ve 60° partikül çarpma açılarında numunelere püskürtülerek aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda partikül çarpma açısının etkisini göstermek amacı ile 4 bar püskürtme basıncında elde edilen veriler Şekil 3.16' de verilmiştir. Burada basınç

olarak 4 bar seçilmesinin en önemli nedeni en efektif ve en yüksek erozyon oranının bu basınçta meydana gelmiş olmasıdır.

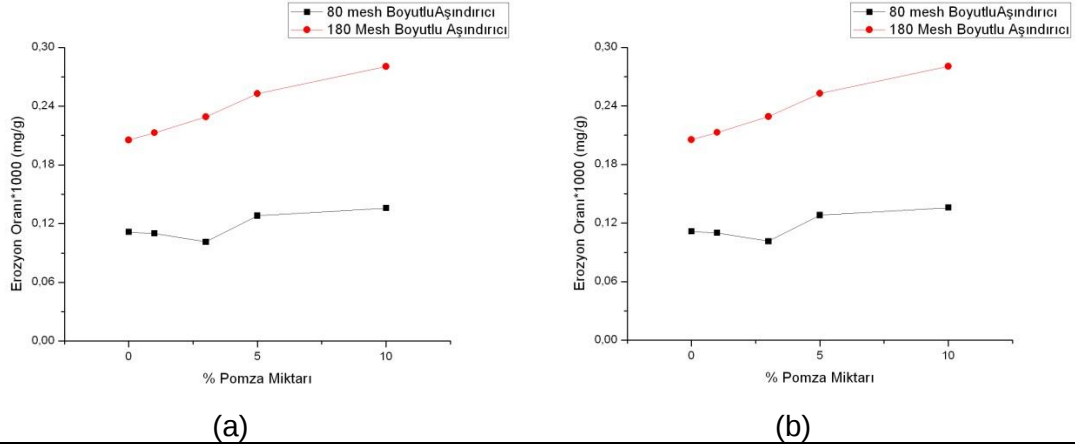
Şekil 3.16 incelendiğinde görülmektedir ki maksimum erozyon oranları 30° ve 45° partikül çarpma açılarında meydana gelmektedir. Bu sonuç neticesinde üretilen kompozitlerin yarı sünek aşınma davranışı sergilediği sonucuna varılabilmektedir.



Şekil 3.16: 4 bar partikül püskürtme basıncı ile (a) ince partikül takviyeli kompozit, 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (b) kalın partikül takviyeli kompozit 80 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (c) ince partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı, (d) kalın partikül takviyeli kompozit 180 mesh boyutlu garnet aşındırıcı parametreleri altında erozyon oranı üzerine partikülün hedef numuneye çarpma açısının etkisi

3.3.3. Takviye oranının erozyon oranı üzerine etkisi

Şekil 3.17-a' da kalın partikül takviyeli kompozit numunelerin Şekil 3.17-b' de ince partikül takviyeli kompozit numunelerin takviye oranı ile birlikte değişen erozyon oranları verilmiştir. Her iki grafikte incelendiğinde açık bir şekilde görülmektedir ki kompozit içerisindeki takviye ister ince olsun ister kalın olsun, kompozit içerisindeki oranı arttıkça numuneler daha fazla erozyon oranına maruz kalmaktadırlar.

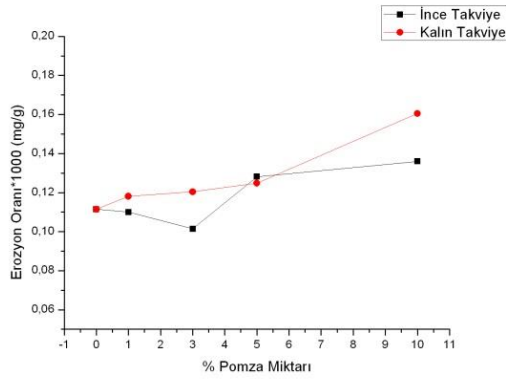


Şekil 3.17: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısı deney parametresi altında partikül takviye oranının erozyon oranı üzerine etkisi (a) kalın pomza takviyeli kompozit, (b) ince pomza takviyeli kompozit.

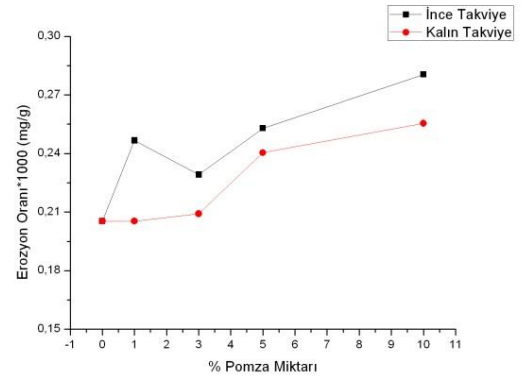
3.3.4. Aşındırıcı partikül ve takviye boyutunun erozyon üzerine etkisi

Erozyon oranı üzerinde aşındırıcı partiküllerin boyutunun etkisinin olup olmadığı bununla birlikte kompozit yapısına katılan partiküllerin boyutunun erozyon oranı üzerinde etkisi olup olmadığını irdelemek amacı erozyon oranının en yüksek seviyede görüldüğü parametre olan 4 bar püskürtme basıncı ve 30° partikül çarpma açısı parametreleri altında 80 ve 180 mesh boyutlu aşındırıcı garnet partiküller ile ince (0-100 mikron) ve kalın (100-400 mikron) boyutlu takviye ile üretilen numunelerin erozyon davranışları irdelenmiştir.

Şekil 3.18-a' da 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış numunelerin Şekil 3.18-b' de 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış numunelerin erozyon oranları verilmiştir. Şekil 3.18-a ve 3.18-b incelendiğinde erozyon oranı üzerinde takviye malzemesinin boyutu aşındırıcı partikülün boyutuna bağımlı bir şekilde etkindir. Şekil 3.18-a' da 80 mesh boyutlu garnet ile gerçekleştirilen deneyde kalın pomza takviye edilmiş numuneler ince pomza ile takviye edilmiş numunelerden daha yüksek erozyon oranı sergiler iken, 3.18-b' de 180 mesh boyutlu garnet ile gerçekleştirilen deneyde ince pomza takviye edilmiş numuneler daha yüksek erozyon oranı sergilemişlerdir.

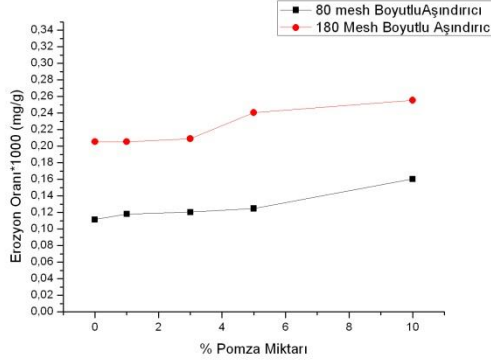


(a)

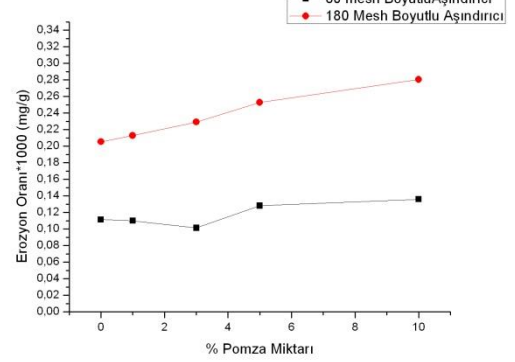


(b)

Şekil 3.18: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısı deney parametresi altında takviye partikül boyutunun erozyon oranı üzerine etkisi (a) 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış numuneler, (b) 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış numuneler.



(a)



(b)

Şekil 3.19: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısı deney parametresi altında aşındırıcı garnet minerali boyutunun erozyon oranı üzerine etkisi: (a) Kalın pomza takviyeli numuneler, (b) İnce pomza takviyeli numuneler

Aşındırıcı partikül boyutunun etkisini irdelemek amacı ile 4 bar püskürtme basıncı ve 30° partikül çarpma açısı parametresinde hem ince hem de kalın pomza takviye edilmiş kompozit numuneler 80 ve 180 mesh boyutlu garnet partikülleri ile aşındırılmıştır. Şekil 3.19-a kalın pomza takviyeli numunelerin aşındırılması sonucu elde edilen sonuçları yansıtırken Şekil 3.19-b ince pomza takviyeli numunelerin aşındırılması sonucu elde edilen sonuçları yansıtmaktadır. Her iki grafik de incelendiğinde açık bir Şekilde görülmektedir ki takviye boyutu ve oranı ne olursa olsun 180 mesh boyutlu garnet partikülleri 80 mesh boyutlu garnet partiküllerinden daha yüksek erozyon oranı meydana getirmiştirler. Yani küçük boyutlu partiküller büyük boyutlu partiküllerden daha yüksek erozyon meydana getirmiştirler.

3.3.5. Aşınmış yüzeylerin görüntü işleme yöntemi ile incelenmesi

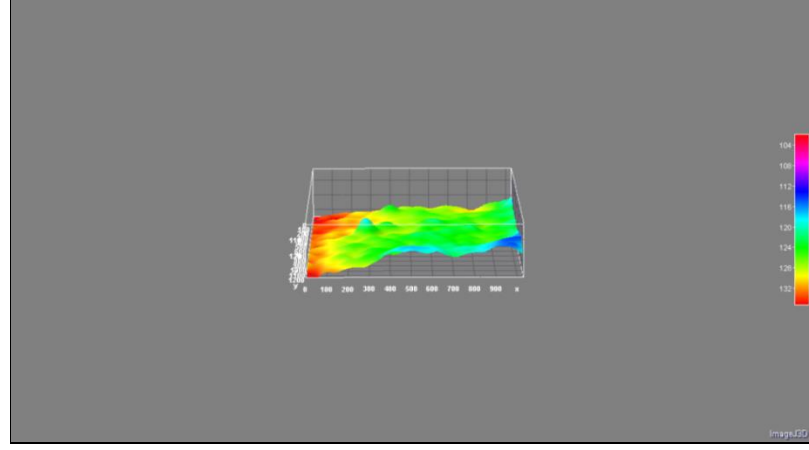
Farklı parametreler altında ve farklı boyutlu garnet partikülleri ile aşındırılmış kompozit numunelerin aşınmaya maruz kalmış yüzleri Leica S8 APO Stereo Mikroskop ile görüntülenmiş, alınan aşınmış yüzeylere ait görüntüler imageJ programına aktarılmıştır. Program yardımı ile aşınan yüzeylerde meydana gelen derinlik farkı nedeni ile oluşan kontrast farkı ile renklendirme yapılmıştır. Bu resimlerde pembe renkten kırmızı renge ilerledikçe aşınma izi derinliği arttığı sembolize edilmektedir.

Şekil 3.20' de püskürtme basıncının etkisini resmetmek amacı ile %10 ince pomza takviyeli numunelerin 30° partikül çarpma açısı parametresi ile birlikte 180 mesh boyutlu garnet partikülleri ile aşındırılması ile birlikte elde edilen yüzeylerin mikroskop fotoğrafları programa aktarılmış ve program yardımı ile aşınma yüzeyleri resmedilmiştir. Burada Şekil 3.20-a 1,5 bar, 3.20-b 3 bar, 3.20-c 4 bar püskürtme basıncı ile aşındırılmış yüzeylere ait görüntülerdir. Şekil 3.20' a bakıldığında görülmektedir ki partikül püskürtme basıncı arttıkça oluşan aşınma izleri derinliği de artmaktadır.

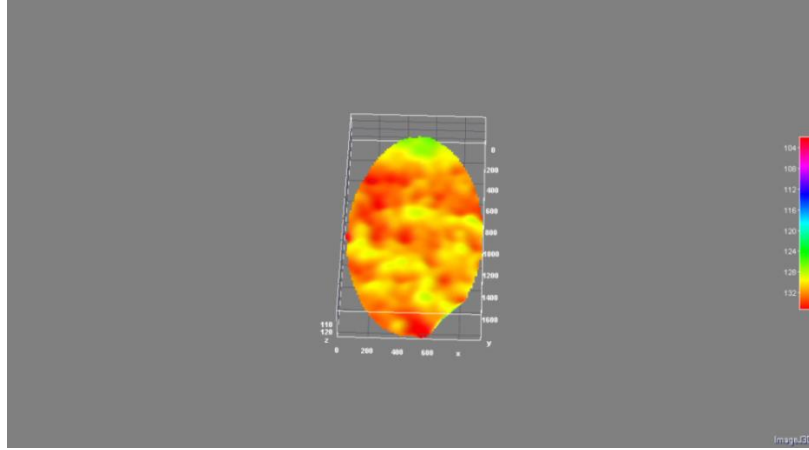
Şekil 3.21' de partikül çarpma açısının etkisini göstermek amacı ile 4 bar püskürtme basıncı ile 80 mesh boyutlu garnet partikülleri ile aşındırılmış %1 kalın pomza takviyeli numunelere ait görüntüler verilmiştir. Şekil 3.21-a 30°, Şekil 3.21-b 45° ve Şekil 3.21-c 60° partikül çarpma açıları meydana gelmiş aşınma yüzeylerine ait resimlerdir. Şekil 3.21 incelendiğinde görülmektedir ki 30° ve 45° partikül çarpma açıları oluşmuş aşınma izi eliptik ve derin karakteristik sergilerken, 60° partikül çarpma açısında oluşan aşınma izinin daha sığ ve krater şeklinde olduğu görülmektedir.

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23 aşındırıcı partikül boyutunun etkisini resmetmek amacı imageJ programında işlenmiş yüzey görüntüleridir. Şekil 3.22' de 4 bar püskürtme basıncı ve 30° partikül çarpma açısı ile aşındırılmış %10 ince pomza takviyeli numunelere ait görüntülerdir. 3.22-a 180 mesh boyutlu garnet partikülleri ile aşındırılırken, 3.22-b 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmıştır. Şekil 3.23' da 4 bar püskürtme basıncı ve 60° partikül çarpma açısı ile aşındırılmış %1 kalın pomza takviyeli numunelere ait görüntülerdir. 3.23-a 180 mesh boyutlu garnet partikülleri aşındırılırken, 3.23-b 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmıştır. Hem Şekil 3.22 hem

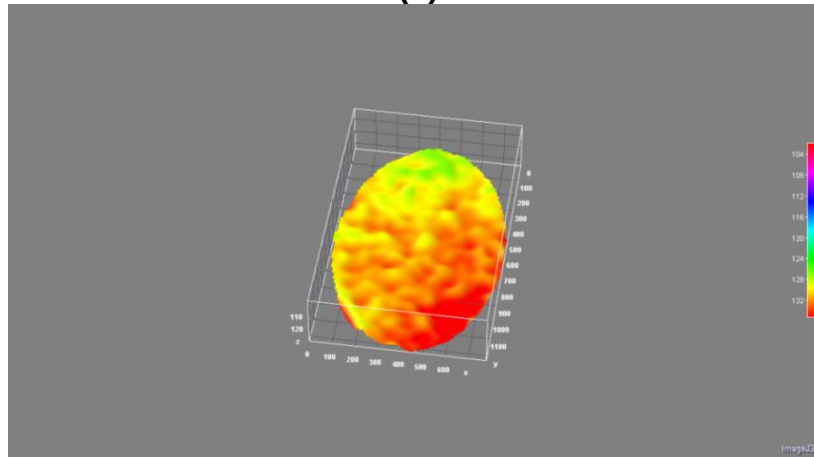
de Şekil 3.23 açık bir Şekilde göstermektedir ki 180 mesh boyutlu partiküller daha derin aşınma izleri meydana getirmektedir



(a)

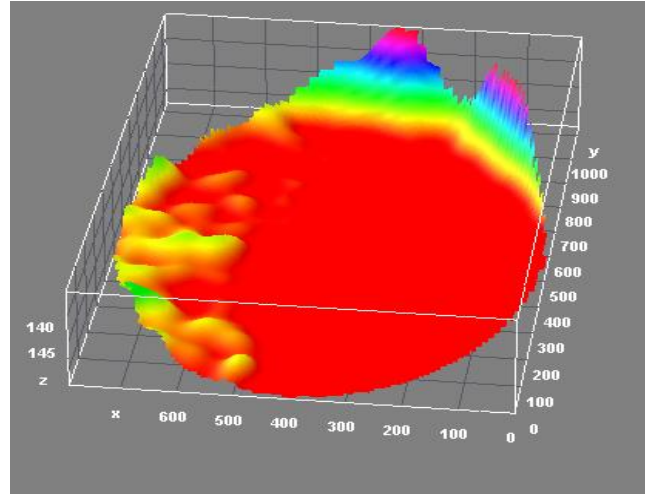


(b)

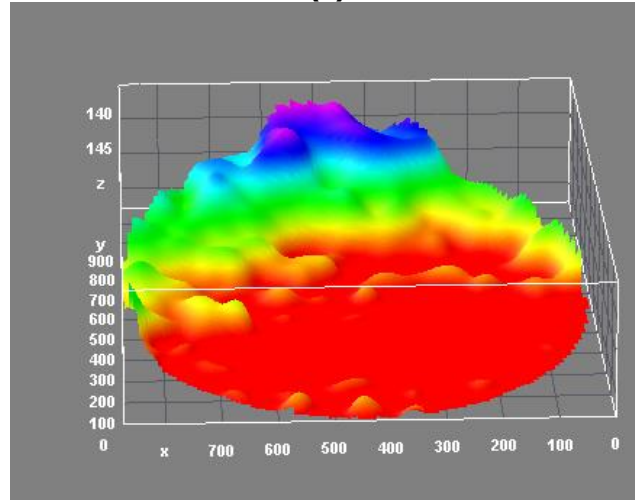


(c)

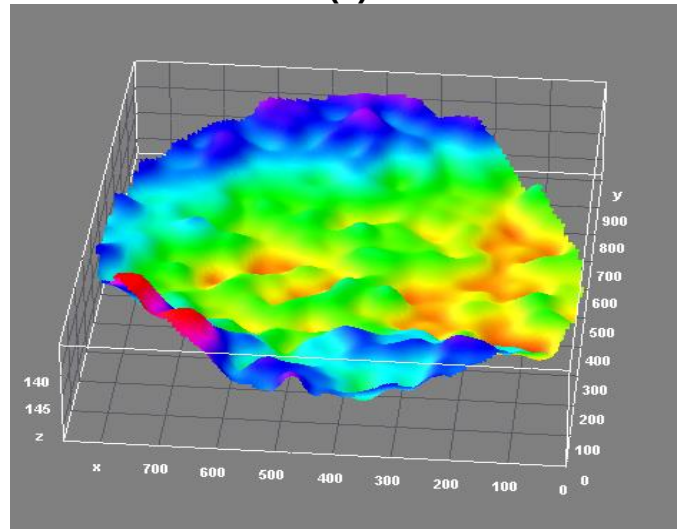
Şekil 3.20: Aşındırıcı partikül püskürtme basıncının etkisinin imageJ programı yardımı ile görüntülenmesi. (a) 1,5 bar püskürtme basıncı, (b) 3 bar püskürtme basıncı, (c) 4 bar püskürtme basıncı.



(a)

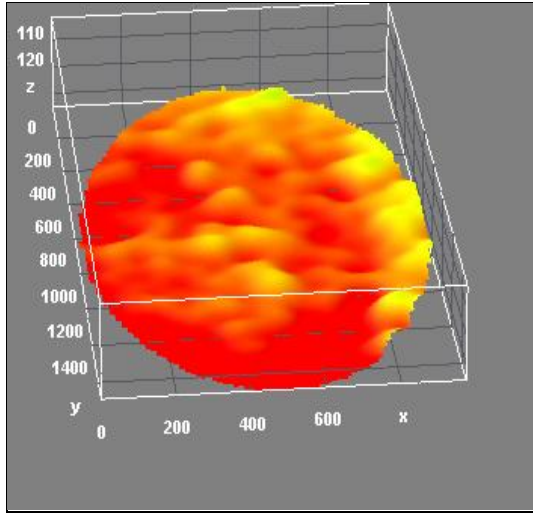


(b)

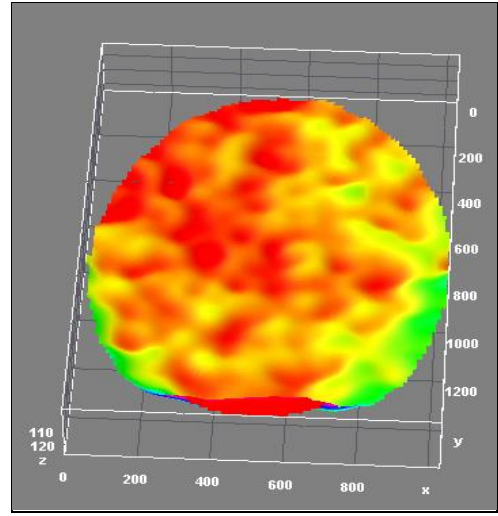


(c)

Şekil 3.21: Aşındırıcı partikül çarpma açısı etkisinin imageJ progamı yardımı ile görüntülenmesi: (a)30° partikül çarpma açısı, (b) 45° partikül çarpma açısı, (c) 60° partikül çarpma açısı etkisi.

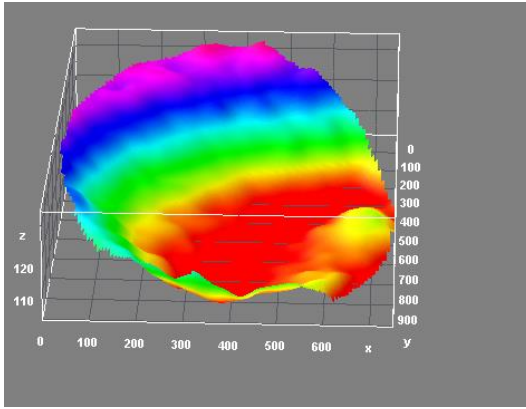


(a)

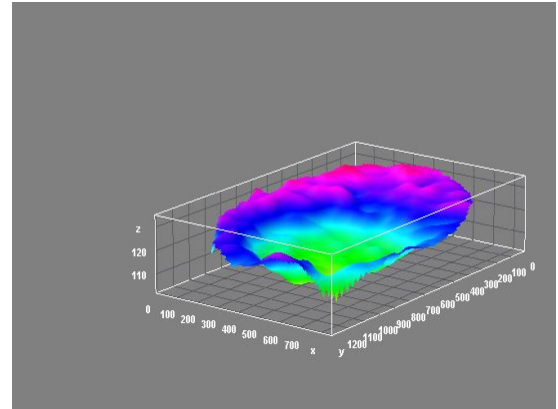


(b)

Şekil 3.22: Aşındırıcı partikül boyutunun etkisinin imageJ programı yardımı ile görüntülenmesi 4 bar 30° deney parametrelerinde aşındırılmış %10 ince pomza takviyeli PPS numuneler: (a) 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış, (b) 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış.



(a)



(b)

Şekil 3.23 Aşındırıcı partikül boyutunun etkisinin imageJ programı yardımı ile görüntülenmesi 4 bar 60° deney parametrelerinde aşındırılmış %1 kalın pomza takviyeli PPS numuneler: (a) 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış, (b) 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış.

3.4. Taramalı Elektron Mikroskop Görüntüleri(SEM)

Üretilen kompozitlerin iç yapısını irdelemek amacı ile oda sıcaklığında çentik darbe cihazında kırılan numune kesitlerinden SEM fotoğrafları çekilmiş ve ince pomza takviyeli kompozitlerin fotoğrafları Şekil 3.24' te kalın pomza takviyeli kompozitlerin fotoğrafları ise Şekil 3.25' de verilmiştir. Şekil 3.26 incelendiğinde %5 partikül takviye oranına kadar partiküllerin PPS içerisinde homojen ve homojene yakın bir dağılım sergilediği, ancak %10 takviye oranında kısmi topaklanma meydana geldiği gözlenmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde üretim sırasında eriyik haldeki kompozitin kalıbı iyi doldurduğu ve yapı içerisinde hava boşlukları oluşmadığı görülebilmektedir. Matris-takviye ara yüzey yapışması irdelendiğinde ise ince pomza ile PPS matrisin iyi yapışma sergilediği görülebilmektedir. Şekil 3.25 incelendiğinde ince pomzaya nazaran daha az homojen dağılım sergilediği bununla birlikte ekstrüderde karıştırma işlemi sırasında takviye malzemesinde kırılma ve ufalanmalar meydana geldiği görülebilmektedir. İnce pomza takviyeli numuneler ile kıyaslandığında yer yer hava boşluklarının oluştuğu gözlenmiştir.

Aşınma izlerinin SEM fotoğrafları incelenirken deneysel parametre olarak erozyon oranının maksimum düzeyde meydana geldiği 4 püskürtme basıncı ve 30° partikül çarpma açısında aşındırılmış numuneler seçilmiştir. Takviye oranı olarak ise saf PPS ile maksimum erozyon oranının meydana %10 takviye oranı tercih edilmiş ve her iki boyutlu aşındırıcı ile aşındırılan yüzeyler incelenmiştir.

Şekil 3.26' de 4 bar püskürtme basıncı 30° çarpma açısında püskürtülen 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılan saf PPS' in SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 3.26-a 250x büyütme oranı ile çekilmiş, 3.26-b ise 2500x büyütme oranı ile çekilmiş fotoğraflardır. Her iki fotoğraf da incelendiğinde görülmektedir ki orakla sürülmüş tarla gibi numune yüzeyinde derin oyuklar şeklinde aşınma izleri bulunduğu, aşındırıcı garnet partiküllerinin numune yüzeyine saplanıp kaldığı ve hatta saplanıp arkadan gelen partiküllerin etkisi ile parçalandığı görülebilmektedir.

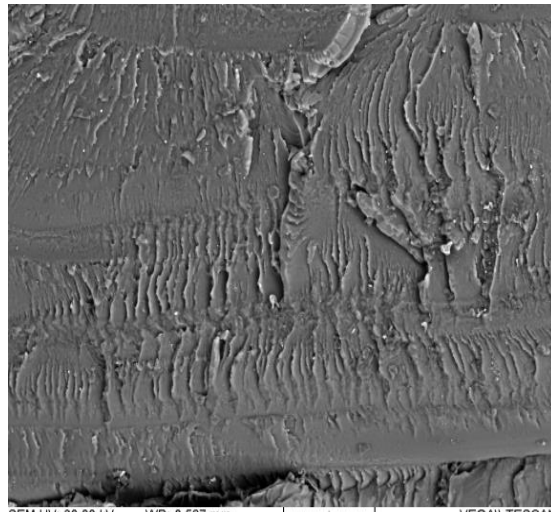
Şekil 3.27' da 4 bar püskürtme basıncı 30° çarpma açısında püskürtülen 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılan saf PPS' in SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 3.26-a 250x büyütme oranı ile çekilmiş, 3.27-b ise 2500x büyütme oranı ile çekilmiş fotoğraflardır. Fotoğraflar irdelendiğinde numune yüzeyinde parçalanmalar meydana gelmekle birlikte, derin oyuklar meydana gelmiştir. 80 mesh boyutlu partikül gibi 180 mesh boyutlu partiküllerinde numune yüzeyine saplanıp kaldığı görülebilmektedir.

Şekil 3.28' de 4 bar püskürtme basıncı 30° çarpma açısında püskürtülen 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılan ince pomza takviyeli PPS' in SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 3.28-a 250x büyütme oranı ile çekilmiş, 3.28b ise 2500x büyütme oranı ile çekilmiş fotoğraflardır. Fotoğraflar irdelendiğinde; numune yüzeyinde derin oyuklar meydana geldiği ve parçalanma olduğu görülmektedir. Aşındırıcı partiküllere yüzeye saplanıp kalmakla birlikte numune yapısında bulunan pomza partiküllerini yerinden çıkartıp kazımışlardır.

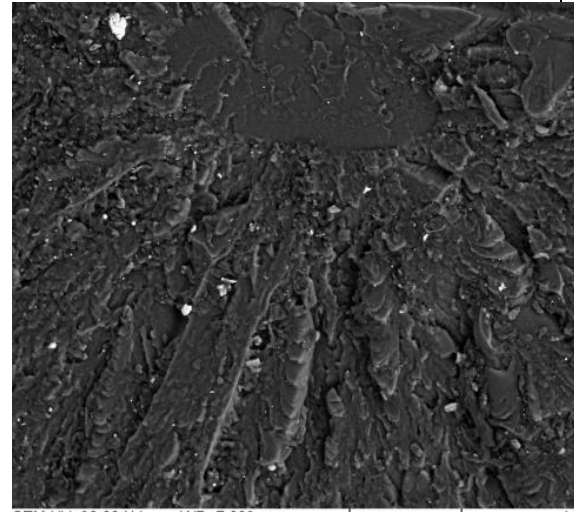
Şekil 3.29' de 4 bar püskürtme basıncı 30° çarpma açısında püskürtülen 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılan ince pomza takviyeli PPS' in SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 3.29-a 250x büyütme oranı ile çekilmiş, 3.29-b ise 2500x büyütme oranı ile çekilmiş fotoğraflardır. Fotoğraflar irdelendiğinde; matris malzemesinde parçalanmalar ve yırtık izlerinin mevcut olduğu görülmektedir. Aşındırıcı partiküller numune yüzeyine saplanıp kalmakla birlikte hem takviye partiküllerin ufalandığı hem de aşındırıcı partiküllerin ufalandığı görülmektedir. Yüzeyde oyuktan ziyade yırtılma ve/veya parçalanma izleri göze çarpmaktadır.

Şekil 3.30' da 4 bar püskürtme basıncı 30° çarpma açısında püskürtülen 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılan kalın pomza takviyeli PPS' in SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 3.30-a 250x büyütme oranı ile çekilmiş, 3.30-b ise 2500x büyütme oranı ile çekilmiş fotoğraflardır. Fotoğraflar irdelendiğinde; matris yüzeyinde aşınma izleri ve bu izler ile birlikte ortaya çıkmış olan pomza taneleri görülmektedir. Aynı zamanda yerinden çıkmış pomza tanelerinin boşlukları görülmektedir ve yer yer yüzeye saplanmış garnet taneleri göze çarpmaktadır.

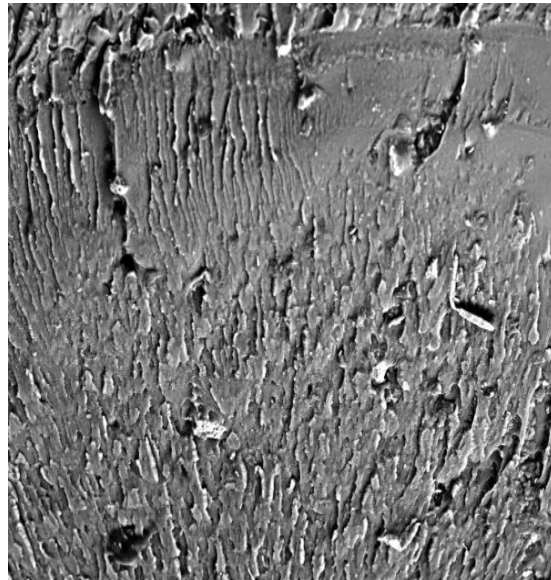
Şekil 3.31' da bar püskürtme basıncı 30° çarpma açısında püskürtülen 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılan kalın pomza takviyeli PPS' in SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 3.31-a 250x büyütme oranı ile çekilmiş, 3.31-b ise 2500x büyütme oranı ile çekilmiş fotoğraflardır. Fotoğraflar incelendiğinde numune yüzeyinde aşınma izleri ile birlikte gömülmüş numune içine gömülmüş aynı zamanda numuneye gömülmüş partiküller ile hem gömülen partiküllerde hem de takviye partiküllerinde kırılan ufalan partikül taneleri görülmektedir.



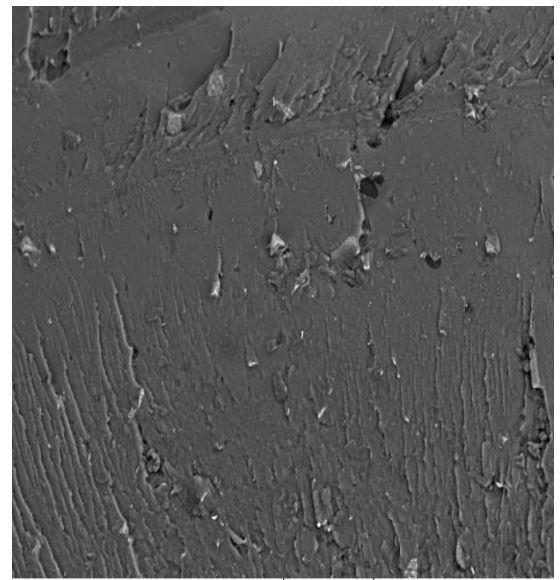
(a)



(b)

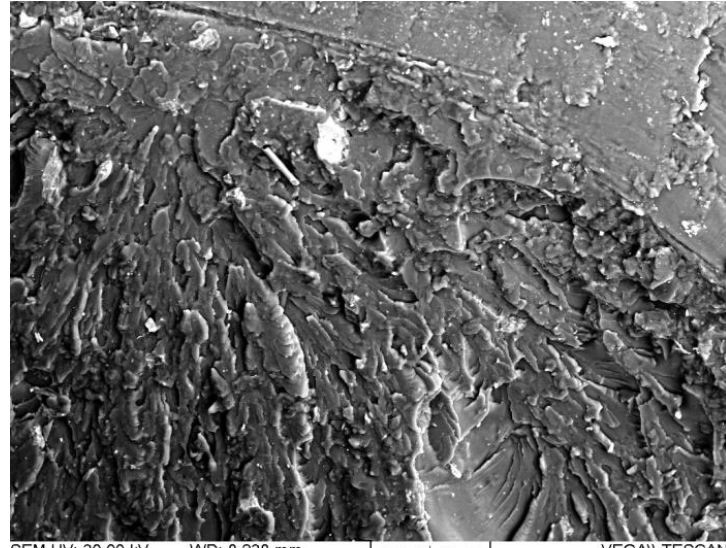


(c)



(d)

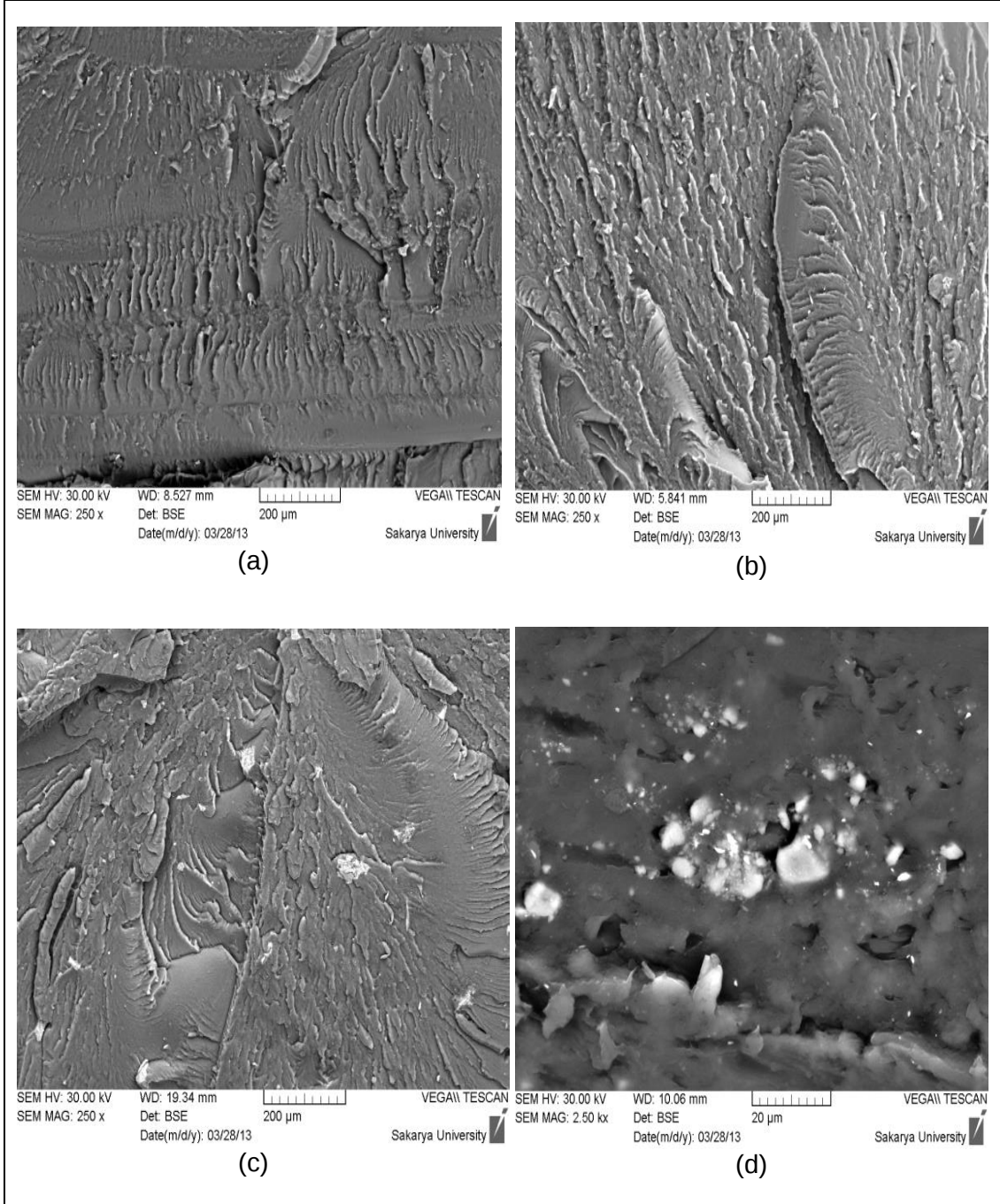
Şekil 3.24: Saf PPS ve pomza takviyeli kompozitlerin SEM fotoğrafları (a) Saf PPS, (b) %1 ince pomza takviyeli kompozit, (c) %3 ince pomza takviyeli kompozit, (d) %5 ince pomza takviyeli kompozit, (e) %10 ince pomza takviyeli kompozit.



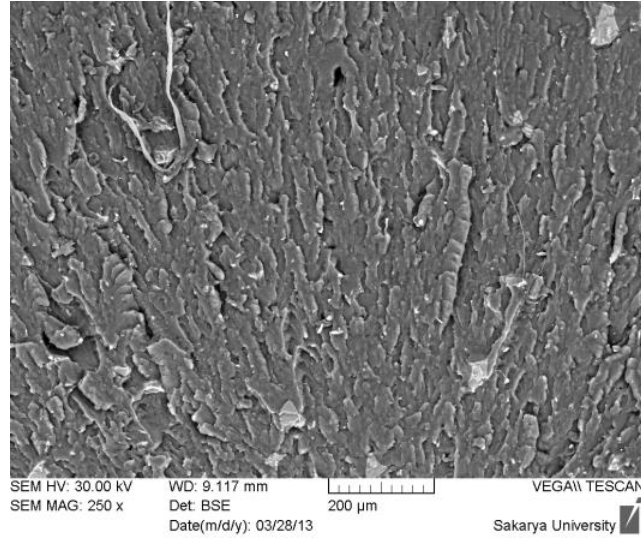
SEM HV: 30.00 kV WD: 8.238 mm
SEM MAG: 250 x Det: BSE
Date(m/d/y): 03/28/13
200 μ m
VEGA\\ TESCAN
Sakarya University

(e)

Şekil 3.24: Saf PPS ve pomza takviyeli kompozitlerin SEM fotoğrafları (a) Saf PPS, (b) %1 ince pomza takviyeli kompozit, (c) %3 ince pomza takviyeli kompozit, (d) %5 ince pomza takviyeli kompozit, (e) %10 ince pomza takviyeli kompozit. (Devamı)

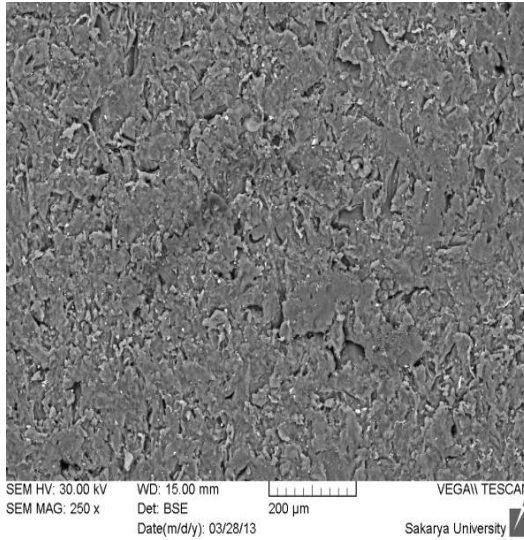


Şekil 3.25: Saf PPS ve pomza takviyeli PPS kompozitlerin SEM fotoğrafları (a) Saf PPS, (b) %1 kalın pomza takviyeli kompozit, (c) %3 kalın pomza takviyeli kompozit, (d) %5 kalın pomza takviyeli kompozit, (e) %10 kalın pomza takviyeli kompozit.

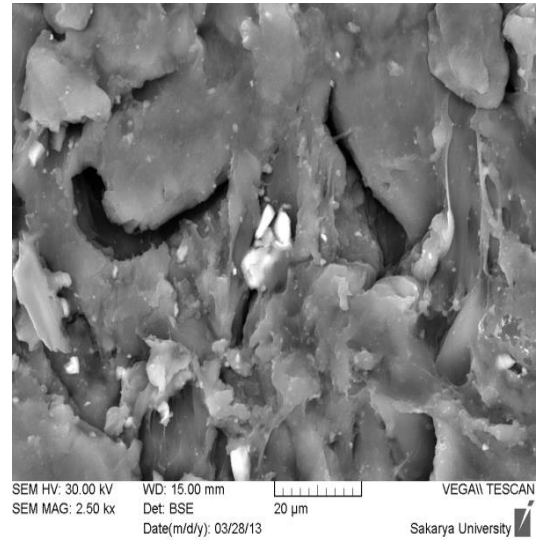


(e)

Şekil 3.25: Saf PPS ve pomza takviyeli PPS kompozitlerin SEM fotoğrafları (a) Saf PPS, (b) %1 kalın pomza takviyeli kompozit, (c) %3 kalın pomza takviyeli kompozit, (d) %5 kalın pomza takviyeli kompozit, (e) %10 kalın pomza takviyeli kompozit. (Devamı)

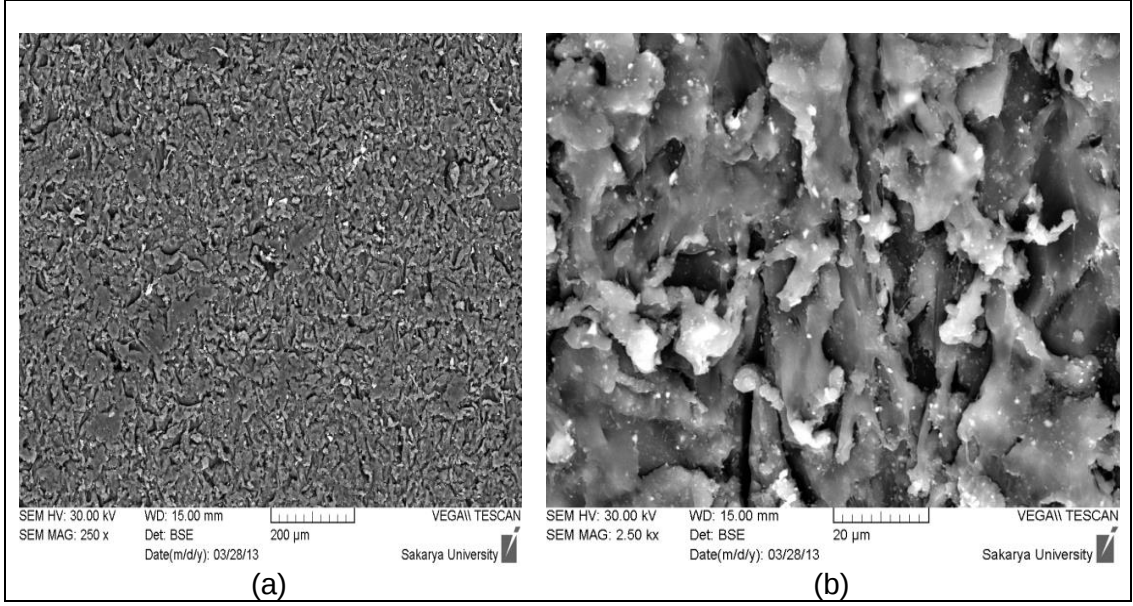


(a)

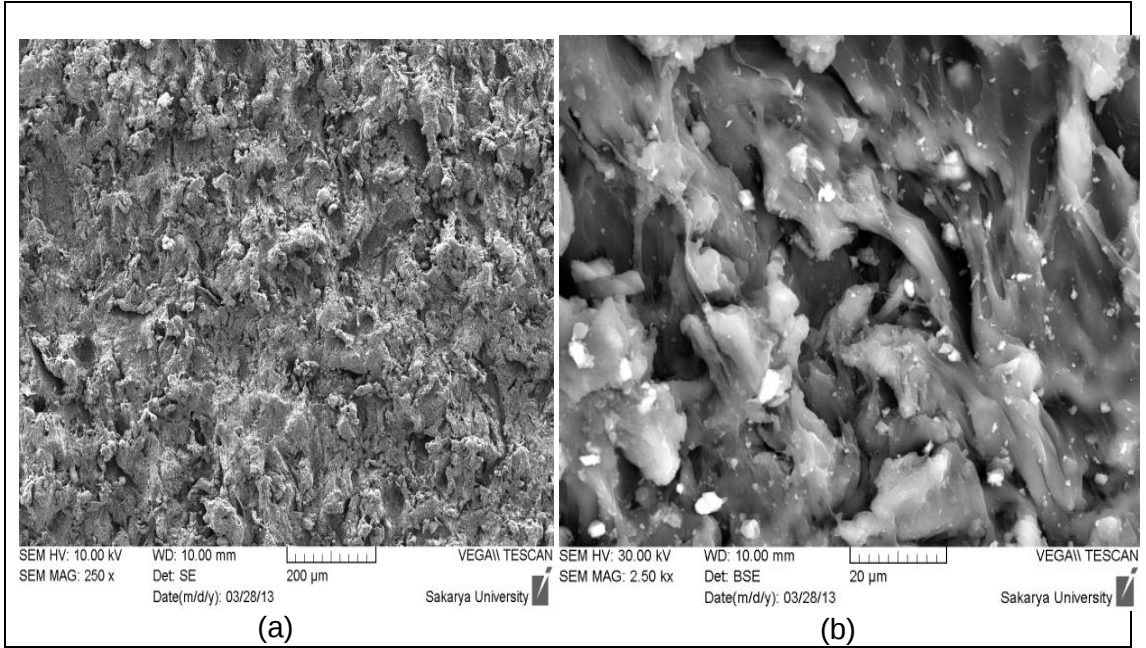


(b)

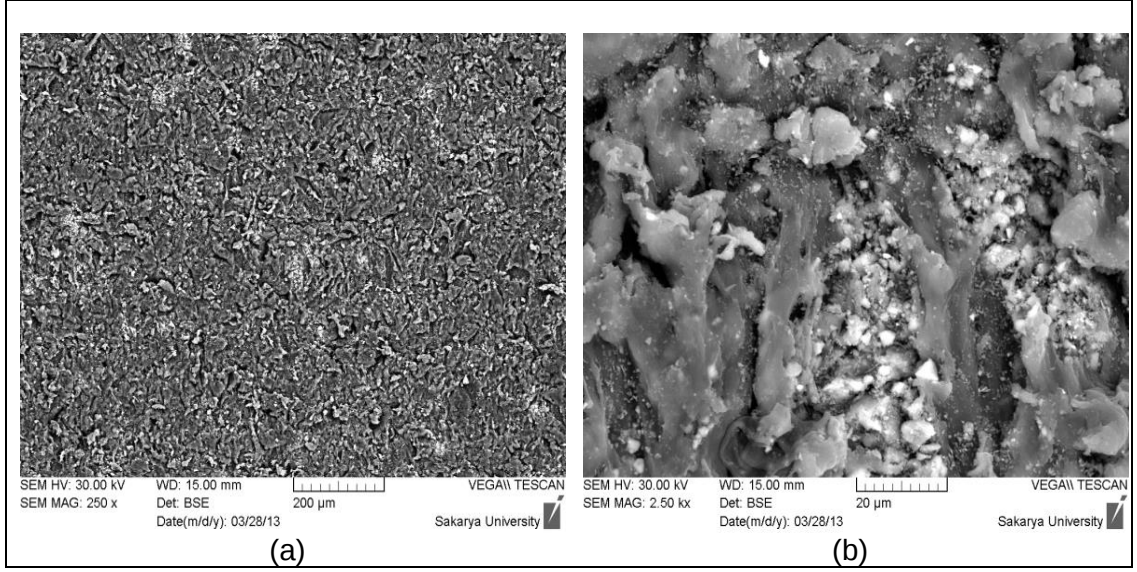
Şekil 3.26: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış saf PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme



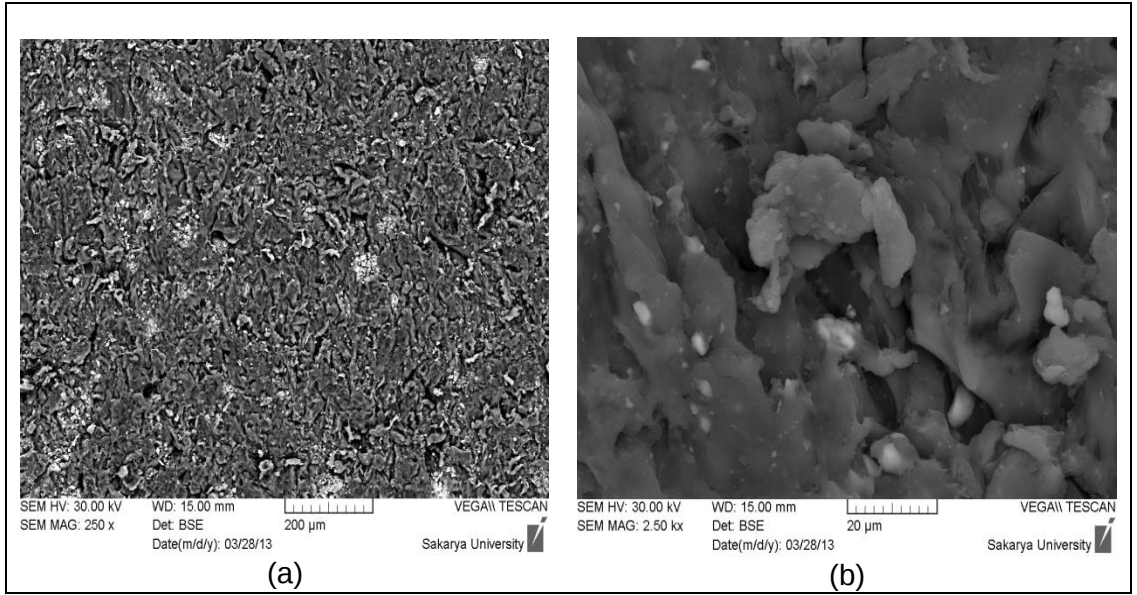
Şekil 3.27: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış saf PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme



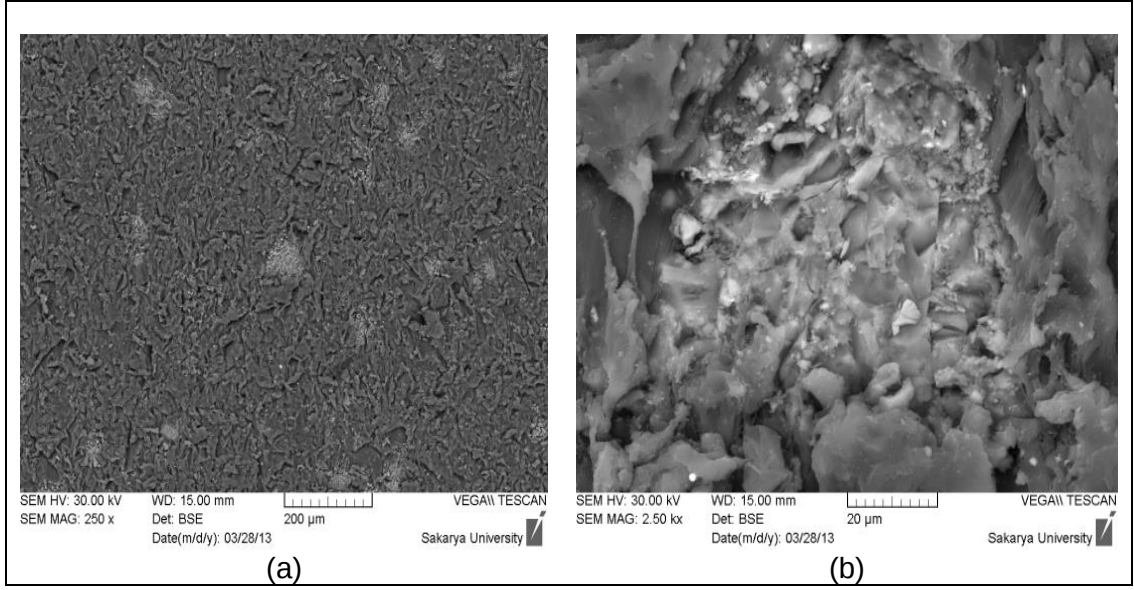
Şekil 3.28: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 ince pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme



Şekil 3.29: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 ince pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme



Şekil 3.30: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 80 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 kalın pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme



Şekil 3.31: 4 bar püskürtme basıncı 30° partikül çarpma açısında 180 mesh boyutlu garnet ile aşındırılmış %10 kalın pomza takviyeli PPS numunenin SEM fotoğrafı (a) 250x büyütme, (b) 2500x büyütme

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma dahilinde ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemi ile pomza partikülü takviyeli PPS kompozitler üretilmiş olup pomza takviyesinin PPS polimerinin mekanik termal ve tribolojik özellikleri üzerinde ne şekilde etki yaptığı irdelenmiştir.

Üretim ve deneysel çalışmalar başlamadan önce yapılan literatür çalışmaları neticesinde düşük yoğunluklu ve ucuz olan pomza tozu, gözenekli yapısı sayesinde polimer matrise daha fazla tutunma yüzeyi oluşturur ve bu sayede çekme dayanımında artış olur düşüncesi ile üretimlere başlandı. Yapılan deneysel çalışmalarda da beklenildiği gibi çekme dayanımında iyileşme olduğu açık bir şekilde gözlemlendi. Çalışmanın devamında mekanik özellikler kadar polimerlerin çalışma alanlarına önemli kısıtlama getiren termal özelliklerin ne yönde etkilendiğini görmek amacı ile termal özellikler incelendi. En son olarak otomotiv, havacılık ve uzay uygulamalarında PPS kompozitler geniş yer bulduğundan ve burada erozif aşınmaya maruz kaldıklarından erozif aşınma deneyleri ile birlikte erozif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

- Pomza tozu takviyesi PPS polimerinin çekme dayanımını artırıcı yönde etki etmiş bununla birlikte elastisite modülünde aynı şekilde artış sergilemiştir. Takviye pomza partiküllerinin boyutunun etkisi incelendiğinde çekme dayanımı kalın pomza takviyesi ile birlikte ince pomza takviyesine nazaran daha fazla artış sergilemiştir. Modül değeri ince pomza takviyeli kompozitlerde kalın pomza takviyeli kompozitlere nazaran daha yüksek çıkmıştır.
- Pomza tozu takviyesinin sertlik değeri üzerine etkisi incelendiğinde hem ince pomza takviyesinin hemde kalın pomza takviyesinin sertlik değerini artırıcı yönde etki ettiği ancak kalın pomza takviyeli numunelerin sertlik değerlerinin her bir takviye oranı ince pomza takviyeli numunelerden yüksek olduğu görülmüştür.
- Yapılan termogravimetrik analizler sonucunda T_{10} ve T_{20} sıcaklıkları üzerinde pomza takviyesinin çok belirgin bir etkisi olmadığı ancak maksimum bozunma sıcaklığının hem ince pomza takviyesi ile hemde kalın pomza

- takviyesi ile artış sergilediği görülmüştür. Ancak ince pomza takviyesinin kalın pomza takviyesine nazaran maksimum bozunma sıcaklığını daha çok artırdığı görülmüştür.
- Diferansiyel taramalı kalorimetre'den elde edilen sonuçlar neticesinde pomza takviyesinin camsı geçiş sıcaklığı üzerinde artırıcı yönde etki yaptığı, her karışım oranı için ince pomza takviyeli numunelerin camsı geçiş sıcaklıklarının kalın pomza takviyeli numunelerin camsı geçiş sıcaklığından yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Erime noktası üzerinde pomza takviyesinin çok belirgin bir etkisinin bulunmadığı, kristalinite üzerinde ise kalın pomza takviyesinin düşürücü, ince pomza takviyesinin %1 takviye oranında artırıcı artan takviye oranı ile birlikte düşürücü yönde etki yaptığı tespit edilmiştir.
- Dinamik mekanik termal analiz sonucunda ince pomza takviyesinin %5 takviye oranına kadar depo modül üzerinde düşürücü etki ettiği ancak %10 takviye oranında depo modül değerinin saf PPS' in depo modül değerinden yüksek olduğu, kalın pomza takviyesi ile yalnızca %3 takviye oranının depo modülünü düşürmüş, artan takviye oranı ile depo modül değerinin arttığı görülmüştür. ince pomza takviyesinin %1 takviye oranında düşürücü yönde etki ettiği, artan takviye oranı ile birlikte artış gösterdiği ve %10 takviye oranında saf PPS' ten daha yüksek kayıp modül değeri elde edilmiştir. Kalın pomza takviyesi ise artan takviye oranı ile birlikte kayıp modül değerini artırmıştır. Tan delta değeri üzerinde pomza takviyesi düşürücü yönde etki sergilemiş olup her iki boyutlu pomza takviyesi yapılmış numunelerin % 10 takviye oranında saf PPS' den daha yüksek tandelta değerine sahip oldukları görülmüştür.
- Eroziyon aşınma deneyleri neticesinde artan püskürtme basıncı ile birlikte meydana gelen erozyon oranının arttığı bununla birlikte üretilen kompozitlerin yarı sünek aşınma davranışı sergileyerek 30° ve 45° partikül çarpma açılarında maksimum erozyon oranı meydana gelmiştir. Takviye boyutunun erozyon oranı üzerinde çok belirgin etkisi görülmeyp aşındırıcı boyutuna bağımlı olarak ince pomza takviyeli kompozitlerin 180 mesh boyutlu aşındırıcıda daha fazla aşındığı, kalın pomza takviyeli kompozitlerin 80 mesh boyutlu aşındırıcı ile aşındırıldığında daha çok eroziyon aşınma sergilediği görülmüştür. Takviye oranının eroziyon aşınma üzerinde ki etkisi ise takviye oranı arttıkça erozyon oranı değerinin artış gösterdiği yönündedir. Aşındırıcı partikül boyutunun etkisi incelendiğinde ise 180 mesh boyutlu garnet partiküllerinin her takviye oranı ve boyutu ile deney parametresi altında 80 mesh boyutlu garnet partikülünden daha fazla erozyon oranı meydana getirdiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar neticesinden bu çalışmadan çıkarılacak öneriler şu şekilde sıralanabilirler.

- Pomza takviyesi PPS polimerinin çekme dayanımı ve sertlik gibi mekanik özelliklerin artırılması amacı ile takviye edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu doğrultuda farklı polimer malzemeler için pomza takviye işlemi ile birlikte üretilmiş olan kompozit malzemenin mekanik özellikleri iyileştirilebilir aynı zamanda yoğunluğu düşürülerek ağırlıktan kazanç sağlanabilir ve maliyet önemli ölçüde düşürülebilir.
- Pomza takviyesi ile birlikte polimer malzemelerin termal olarak daha kararlı bir yapıya sahip olmaları yönünde çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Erozif aşınma deneyleri sonucunda görülmüştür ki pomza takviyeli PPS kompozit 30° ve 45° partikül çarpma açılarında maksimum erozyon oranına sahip olmaktadır. Bu nedenle mekanik ve/veya termal özellikleri karşılaması nedeni ile edinmiş olduğu kullanım alanlarında yapılan dizaynlarda erozif aşınmaya maruz kalacak parça ve kısımların 30° ve 45° çarpma açısı ile partikül erozyonuna maruz kalmayacak şekilde dizayn edilmesi çalışmaları üzerinde durulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Parlevliet P. P., Bersee H. E. N., Beukers A, Residual stresses in thermoplastic, composites—A study of the literature—Part I: Formation of residual stresses, *Composites*, 2006, **37**, 1847–1857.
- [2] Sala G., Cutolo D., The pultrusion of powder-impregnated thermoplastic composites, *Composites Part A*, 1997, **28A**, 637-646.
- [3] Sayman O., Çallioğlu H., An elastic-plastic stress analysis of thermoplastic composite beams loaded by bending moments , *Composites Structures*, 2000, **50**, 199-205.
- [4] Ning H., Vaidya U., Janowski G. M., Husman G., Design, manufacture and analysis of a thermoplastic composite frame structure for mass transit, *Composites Structures*, 2007, **80**, 105-116.
- [5] Çoban O., Polimer Matrisli Kompozitlerde Partikül Takviyesinin Malzeme İç Yapısına, Mekanik ve Tribolojik Özelliklere Etkisi, Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 301643.
- [6] <http://materialsworld.utep.edu/>, (Ziyaret tarihi: 03.05.2013).
- [7] Schwartz C. J., Bahadur S., The role of filler deformability, filler–polymer bonding, and counterface material on the tribological behavior of polyphenylene sulfide (PPS), *Wear*, 2001, **251**, 1532-1540.
- [8] Chen Z., Li T., Yang Y., Liu X., Lv R., Mechanical and tribological properties of PA/PPS blends, *Wear*, 2004, **257**, 696-707.
- [9] Hu T., Juuti J., Jantunen H., RF properties of BST–PPS composites, *Journal of the European Ceramic Society*, **2007**, 27, 2923–2926.
- [10] McKen L. W., High-Temperature Polymers, The Effect of Creep and Other Time Related Factors on Plastics and Elastomers, 2nd edition, William Andrew, United States of America, 337-372, 2009.
- [11] Kitis M., Kaplan S. S. Advanced oxidation of natural organic matter using hydrogen peroxide and iron-coated pumice particles, *Chemosphere*, 2007, **68**, 1846–1853.
- [12] Ersoy B., Sariisik A., Dikmen S., Sariisik G., Characterization of acidic pumice and determination of its electrokinetic properties in water, *Powder Technology*, 2010, **197**, 129–135.
- [13] Felekoğlu B., A method for improving the early strength of pumice concrete blocks by using alkyl alkoxy silane (AAS), *Construction and Building Materials*, 2012, **28**, 305–310.

- [14] Nozahic V., Amziane S., Torrent G., Saïdi K., Baynast H. D., Design of green concrete made of plant-derived aggregates and a pumice–lime binder, *Cement & Concrete Composites*, 2012, **34**, 231–241
- [15] Bims Sanayicileri Derneği, Bims (Pomza), *Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye Toprak Sanayi Meclisi*, alt sektör raporu, 1-48, 2006
- [16] <http://www.kaleblokbims.com/kimya.php> (Ziyaret Tarihi: 03.05.2013)
- [17] <http://madencilikrehberi.wordpress.com> (Ziyaret tarihi: 03.05.2013)
- [18] Hight, R. *Abrasives*. Industrial Minerals and Rocks, 1983, **1**, 11-12
- [19] Wellborn, W. W. *Abrasives*. Synthetics cut natural products down to size. Industrial Minerals, 1996, **347**, 31-44.
- [20] Rothon N. R., *Particulate-Filled Polymer Composites*, 2nd ed., Smithers Rapra Press, UK, 2003.
- [21] Verbeek C.J.R., The influence of interfacial adhesion, particle size and size distribution on the predicted mechanical properties of particulate thermoplastic composites, *Material Letters*, 2003, **57**, 1919-1924.
- [22] Ishiaku U. S., Pang K. W., Lee W. S., Ishak Z. A. M., Mechanical properties and enzymic degradation of thermoplastic and granular sagu starch filled poly(ϵ -caprolactone), *European Polymer Journal*, 2002, **38**, 393-401.
- [23] Yang S. H., Kim H. J., Son J., Park H. J. Lee B. J., Hwang T. S., Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study, *Composite Structures*, 2004, **63**, 305–312.
- [24] Wang S., Ge S., Zhang D. Comparison of tribological behavior of nylon composites filled with zinc oxide particles and whiskers, *Wear*, 2009, **266**, 248–254.
- [25] Ma X. F., Yu J. G., Wang, N., Fly ash-reinforced thermoplastic starch composites, *Carbohydrate Polymers*, 2007, **67**, 32-39.
- [26] Syed M. A., Syed A. A., Development of a new inexpensive green thermoplastic composite and evaluation of its physico mechanical and wear properties, *Materials and Design*, 2012, **36**, 421–427
- [27] Mohandesi J .A., Refahi, A., Meresht, E. S., Berenji, S., Effect of temperature and particle weight fraction on mechanical and micromechanical properties of sand-polyethylene terephthalate composites: A laboratory and discrete element method study, *Composites*, 2011, **42**, 1461-1467.
- [28] Ahmad F. A., Jaafar M., Palaniandy S., Azizli K. A. M., Effect of particle shape of silica mineral on the properties of epoxy composites, *Composites Science and Technology*, 2008, **68**, 346–353.
- [29] Kwon S. C., Adachi T., Araki W., Yamaji A., Effect of composing particles of two sizes on mechanical properties of spherical silica-particulate-reinforced epoxy composites, *Composites: Part B*, 2008, **39**, 740–746.

- [30] Cho J., Joshi M. S., Sun C. T., Effect of inclusion size on mechanical properties of polymeric composites with micro and nano particles, *Composites Science and Technology*, 2006, **66**, 1941–1952.
- [31] Das A., Satapathy B. K. Structural, thermal, mechanical and dynamic mechanical properties of cenosphere filled polypropylene composites, *Materials and Design*, 2011, **32**, 1477–1484.
- [32] Seymour R. B., Carraher C. E., *Structure – Property Relationships in Polymers*, 1st edition, Plenum Press, United States of America, 1984.
- [33] Huang M. F., Yu J. G., Ma X. F., Studies on the properties of Montmorillonite-reinforced thermoplastic starch composites, *Polymer*, 2004, **45**, 7017–7023,
- [34] Goyal R. K., Kambale K. R., Nene S. S., Selukar B. S. , Arbuji S., Mulik U.P., Fabrication, thermal and electrical properties of polyphenylene sulphide/copper Composites, *Materials Chemistry and Physics*, 2011, **128**, 114–120.
- [35] Donate-Robles J., Marti'n-Marti'nez J. M., Addition of precipitated calcium carbonate filler to thermoplastic polyurethane adhesives, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 2011, **31**, 795–804.
- [36] Singh S., Mohanty A. K., Wood fiber reinforced bacterial bioplastic composites: Fabrication and performance evaluation, *Composites Science and Technology*, 2007, **67**, 1753–1763
- [37] Sinmazçelik T. and Sarı N., Erodent size effect on the erosion of polyphenylene sulphide composite, *Polym Composite*, 2009, **31**, 1-10
- [38] American Society for Metals, *Friction, Lubrication and Wear Technology*, (ASM handbook), ASM International, 1992, 18.
- [39] Curkovic L., Kumic I. and Kresimir G., Solid particle erosion behavior of high purity alumina ceramics, *Ceram Int.*, 2011, **37**, 29-35.
- [40] Harsha A. P. and Thakre A. A., Investigation on solid particle erosion behavior of polyetherimide and its composites, *Wear*, 2007, **262**, 807-818.
- [41] Tewari, U. S., Harsha, A. M., Hager A.M. and Friedrich, K. Solid particle erosion of carbon fibre-and glass fibre-epoxy composites, *Wear*, 2003, **63**, 549-557.
- [42] Bagci M., Imrek H., Solid particle erosion behaviour of glass fibre reinforced boric acid filled epoxy resin composites, *Tribology International*, 2011, **44**, 1704–1710.
- [43] Huang Z., Li Z.Z., Yuan X., The effect of reinforcing particles on the erosive wear behavior of particles reinforced silicone matrix composite coating, *Wear*, 2001, **249**, 1046–1050.
- [44] Karsli N. G., Yilmaz T., Aytac A., Ozkoc G., Investigation of erosive wear behavior and physical properties of SGF and/or calcite reinforced ABS/PA6 composites, *Composites: Part B*, 2013, **44**, 385–393.

- [45] Harsha A. P., Thakre A. A., Investigation on solid particle erosion behaviour of polyetherimide and its composites, *Wear*, 2007, **262**, 807–818.
- [46] Das S., Mondal D. P., Modi O. P., Dasgupta R., Influence of experimental parameters on the erosive–corrosive wear of Al–SiC particle composite, *Wear*, 1999, **231**, 195–205.
- [47] Srivastava V. K., Effects of wheat starch on erosive wear of E-glass fibre reinforced epoxy resin composite materials, *Materials Science and Engineering A*, 2006, **435–436**, 282–287.
- [48] Das S., Mondal D. P., Dasgupta R., Prasad B.K., Mechanisms of material removal during erosion–corrosion of an Al–SiC particle composite, *Wear*, 1999, **236**, 295–302.
- [49] Tian H. H., Addie G. R., Barsh E. P., A new impact erosion testing setup through Coriolis approach, *Wear*, 2007, **263**, 289–294.
- [50] Drensky G., Hamed A., Tabakoff W., Abot J., Experimental investigation of polymer matrix reinforced composite erosion characteristics, *Wear*, 2011, **270**, 146–151.
- [51] Wang Y.F., Yang Z. G., Finite element model of erosive wear on ductile and brittle materials, *Wear*, 2008, **265**, 871–878.
- [52] <http://www.xplore-together.com/> (Ziyaret Tarihi: 04.05.2013)
- [53] Verbeek C.J.R., Highly filled polyethylene/phlogopite composites, *Materials Letters*, 2002, **52**, 453–457.
- [54] Verbeek C.J.R., Effect of formulation variables on the mechanical properties of compression-moulded phlogopite/LLDPE composites, *Composites*, 2002, **33**, 589–593.
- [55] Fu S. Y., Feng X. Q., Lauke B., Mai Y. W., Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites, *Composites*, 2008, **39**, 933–961.
- [56] Ismail H, Edyham M. R, Wirjosentono B. Bamboo fibre filled natural rubber composites: the effects of filler loading and bonding agent, *Polym Testing* 2002, **21(2)**, 139–44.
- [57] Ismail H, Jaffri R. M. Physico-mechanical properties of oil palm wood flour filled natural rubber composites, *Polym Testing*, 1999, **18(5)**, 381–8.
- [58] Bose S, Mahanwar P. A. Effect of particle size of filler on properties of nylon-6. *J Min Mater Character Eng* 2004, **3(1)**, 23–31.
- [59] Jiang W, Qiao X., Sun K., Mechanical and thermal properties of thermoplastic acetylated starch/poly(ethylene-co-vinyl alcohol) blends, *Carbohydrate Polymers*, 2006, **65**, 139–143.

- [60] Dufresne A, Dupeyre D, Paillet M. Lignocellulosic flour-reinforced poly(hydroxybutyrate-covalerate) composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, **87**,1302–1315.
- [61] Pothana L. A, Oommenb Z, Thomas S. Dynamic mechanical analysis of banana fiber reinforced polyester composites, *Composites Science and Technology*, 2003, **63**, 283–93.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Şahin A. E.**, Yıldiran Y., Avcu E., Fidan S., Sınmazçelik T., Mechanical and Thermal Properties of Pumice Powder Filled PPS Composites, *3rd International Advances in Applied Physics and Material Science Congress (APMAS)*, Antalya, 24-28 April 2013.
- [2] Avcu E., Yıldiran Y., **Şahin A. E.**, Fidan S., Sınmazçelik T., The Influences of the Particle Impingement Angle and Velocity on the Surface Roughness, the Erosion Rate and the 3D Surface Morphology of the Solid Particle Eroded Ti6Al4V, *3rd International Advances in Applied Physics and Material Science Congress (APMAS)*, Antalya, 24-28 April 2013.
- [3] Yıldiran Y., Avcu E., **Şahin A. E.**, Fidan S., Yetiştiren H., Sınmazçelik T., Effect of Particle Impact Angle, Erodent Particle Size and Acceleration Pressure on The Solid Particle Erosion Behavior of 3003 Aluminum Alloy, *3rd International Advances in Applied Physics and Material Science Congress (APMAS)*, Antalya, 24-28 April 2013.
- [4] **Şahin A. E.**, Yıldiran Y., Avcu E., Fidan S., Sınmazçelik T., Günay V., Aşındırıcı Partikül Boyutu, Partikül Çarpma Açısı Ve Püskürtme Basıncının Alümina Seramik Malzemenin Katı Partikül Erozyonu Davranışına Etkileri, *14th International Materials Symposium (IMSP'2012)*, Denizli, 10-12 October 2012
- [5] Yıldiran Y., **Şahin A. E.**, Avcu E., Fidan S., Sınmazçelik T., Aşındırıcı Partikül Boyutu ve Püskürtme Basıncının Ti6Al4V Alaşımının Katı Partikül Erozyonu Davranışına Etkileri, *14th. International Materials Symposium (IMSP'2012)*, Denizli, 10-12 October 2012.
- [6] **Şahin A. E.**, Yıldiran Y., Fidan S., Avcu E., Sınmazçelik T., Aşındırıcı Partikül Karışımlarının Ti6Al4V Alaşımının Katı Partikül Erozyon Davranışına Etkileri, *IV. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı*, İstanbul, 12-14 Eylül 2012.
- [7] Yıldiran Y., **Şahin A. E.**, Avcu E., Fidan S., Sınmazçelik T., Aşındırıcı Partikül Karışımlarının Cam Keçe Takviyeli Polifenilen Sülfid Matrisli Kompozitlerin Katı Partikül Erozyon Davranışlarına Etkileri, *IV. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı*, İstanbul, 12-14 Eylül 2012.
- [8] Avcu A. , **Şahin A. E.**, Fidan S. , Sınmazçelik T. , Taşkiran İ., Bora M. Ö., Çoban O., Cam Keçe Takviyeli Polifenilen Sülfid Matrisli Kompozitlerin Katı Partikül Erozyon Davranışları: Partikül Çarpma Açısının ve Hızının Etkileri, *I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, İzmir, 17-19 Kasım 2011.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Artvin’ de doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Trabzon’ da tamamladı. 2007 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümün’ den 2011 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2012 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.