

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

EKO KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ALP EREN ŞAHİN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

EKO KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ALP EREN ŞAHİN

Prof.Dr. Tamer SINMAZÇELİK

Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Taner YILMAZ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Güralp ÖZKOÇ

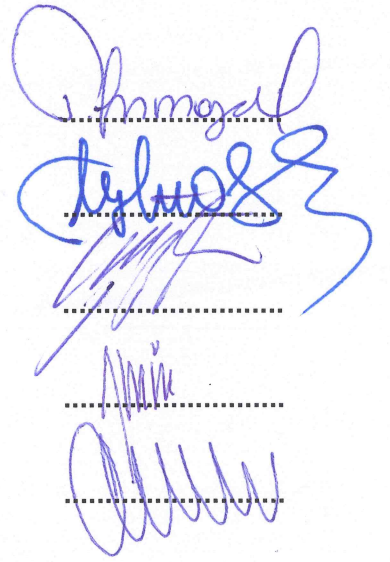
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Ahmet ÜNAL

Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniv.

Dr.Öğr.Üyesi Ekrem ALTUNCU

Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 13.06.2019

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 değerin 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 inorganik ve organik esaslı partiküller takviye edilmiş PPS ve PP matrisli kompozit numunelerin mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir.

Bu zorlu yolda bana her daim destek olan annem Pervin ŞAHİN ile babam Hüsni Ali ŞAHİN'e desteklerinden ötürü teşekkür ederim. Bu süreçte bana olan güven ve desteğini hiç eksik etmeyen, hep desteğini yanımda hissettiğim eşim Ece ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım

Yapmış olduğum çalışmalar sırasında elinden geldiği ölçüde bana yardımcı olan ve destek veren Arş. Gör. Y. Müh. Beysim ÇETİN'e, teşekkürü bir borç bilirim. Başta sayın rektörümüz Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ 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.

Haziran - 2019

Alp Eren ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Termoplastik Matrisli Kompozitler	4
1.2. Matris Malzemesi Poli(Fenilen Sülfid)	5
1.3. Matris Malzemesi Polipropilen	6
1.4. Takviye Malzemesi Midye Kabuğu	6
1.5. Takviye Malzemesi Perlit	7
1.6. Takviye Malzemesi Olivin	7
1.7. Takviye Malzemesi Fındık, Fıstık ve Ceviz Kabuğu	8
1.8. Eroziyon Aşındırıcı Partikül Alümina (Al ₂ O ₃)	8
1.9. Partikül Takviyeli Termoplastik Kompozitler ve Özellikleri	9
2. MALZEME VE YÖNTEM	28
2.1. Kullanılan Malzemeler	28
2.2. Kırma ve Öğütme Yöntemi İle Takviye Malzemelerinin Kırılıp Öğütülerek Elekten Geçirilme İşlemi	32
2.2.1. Kırma işlemi	32
2.2.2. Öğütme işlemi	32
2.2.3. Eleme işlemi	33
2.3. Ekstrüzyon ve Enjeksiyonlu Kalıplama Yöntemi İle Termoplastik ve Termoplastik Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi	34
2.3. Üretilen Termoplastik ve Termoplastik Esaslı Kompozit Numunelerin Karakterizasyonu Sırasında Kullanılan Test ve Analiz Yöntemleri	38
2.3.1. Mekanik testler	38
2.3.2. Tribolojik karakterizasyon için uygulanan test yöntemleri	40
2.3.3. Morfolojik analiz metotları	47
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
3.1. Midye Kabuğu ile Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu	50
3.1.1. Çekme testi sonuçları	50
3.1.2. Sertlik testi sonuçları	52
3.1.2. Yoğunluk testi sonuçları	52
3.2. Midye Kabuğu Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu	53
3.2.1. Bilya-disk Testi Sonuçları	53
3.2.2. Çizilme testi sonuçları	56
3.2.3. Eroziyon aşınma testi sonuçları	59
3.3. Patlatılmış Perlit Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu	64
3.3.1. Çekme Testi	64
3.3.2. Sertlik Testi	65

3.3.3. Yoğunluk testi sonuçları	66
3.4. Patatılmış Perlit Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu	67
3.4.1. Bilya-disk Testi Sonuçları	67
3.4.2. Çizilme testi sonuçları	70
3.4.3. Erozif aşınma testi sonuçları	74
3.5. Olivin Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu	83
3.5.1. Çekme testi sonuçları	83
3.5.2. Sertlik testi sonuçları	85
3.5.3. Yoğunluk testi sonuçları	86
3.6. Olivin Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu	86
3.6.1. Bilya-disk Testi Sonuçları	86
3.6.2. Erozif aşınma testi sonuçları	89
3.7. Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu	94
3.7.1. Çekme Testi	94
3.7.2. Sertlik Testi	96
3.7.3. Yoğunluk testi sonuçları	96
3.8. Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu	97
3.8.1. Bilya-disk Testi Sonuçları	97
3.8.2. Çizilme testi sonuçları	102
3.8.3. Erozif aşınma testi sonuçları	105
3.9. Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu	111
3.9.1. Çekme Testi	111
3.9.2. Sertlik Testi	112
3.9.3. Yoğunluk testi sonuçları	113
3.10. Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu	114
3.10.1. Bilya-disk Testi Sonuçları	114
3.10.2. Çizilme testi sonuçları	116
3.10.3. Erozif aşınma testi sonuçları	120
3.11. Ceviz Kabuğu ile Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu	126
3.11.1. Çekme Testi	126
3.11.2. Sertlik Testi	128
3.11.3. Yoğunluk testi sonuçları	129
3.12. Ceviz Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu	129
3.12.1. Bilya-disk testi sonuçları	129
3.12.2. Çizilme testi sonuçları	133
3.12.3. Erozif aşınma testi sonuçları	136
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	142
KAYNAKLAR	151
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	161
ÖZGEÇMİŞ	165

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1:	Polimer Yapı A) Amorf Yapı B) Yarı Kristalin Yapı	5
Şekil 2.1.	Takviye Malzemesi Öğütülmüş Midye Kabuğu Partikülleri (A) Sem Fotoğrafı, (B) Partikül Boyut Dağılımı	29
Şekil 2.2.	Takviye Malzemesi Mikronize Patlatılmış Perlit Partikülleri (A) Sem Fotoğrafı, (B) Partikül Boyut Dağılımı	30
Şekil 2.3.	Takviye Malzemesi Öğütülmüş Fındık Kabuğu Partikülleri (A) Sem Fotoğrafı, (B) Partikül Boyut Dağılımı	30
Şekil 2.4.	Takviye Malzemesi Öğütülmüş Fıstık Kabuğu Partikülleri (A) Sem Fotoğrafı, (B) Partikül Boyut Dağılımı	30
Şekil 2.5.	Takviye Malzemesi Öğütülmüş Ceviz Kabuğu Partikülleri (A) Sem Fotoğrafı, (B) Partikül Boyut Dağılımı	31
Şekil 2.6.	80 Mesh Boyutlu Alümina Seramik Sem Fotoğrafı	31
Şekil 2.7.	Retsch Sk100 Kırıcı	33
Şekil 2.8.	Retsch Pm200 Bilyalı Öğütücü	33
Şekil 2.10.	Dsm Xplore Marka Ekstrüzyon Cihazı	34
Şekil 2.11.	Dsm Xplore Marka Enjeksiyon Cihazı	35
Şekil 2.12.	Dsm Xplore Marka Enjeksiyon Cihazı İletim Ünitesi	36
Şekil 2.15.	Zwick Markalı Shore D Test Cihazı	39
Şekil 2.16.	Shimadzu Ag-X Markalı Universal Çekme Test Cihazı	39
Şekil 2.17.	Mettler Toledo Markalı Yoğunluk Ölçme Fonksiyonlu Hassas Terazi	40
Şekil 2.18.	Nanovea Bilya-Disk Test Cihazı	41
Şekil 2.19.	Çizilme İzi Profiline Ait Şematik Resim	43
Şekil 2.20:	Csm Mikro Çizilme Tester	43
Şekil 2.21.	Katı Partikül Erozyonu Aşınma Test Düzeneği	44
Şekil 2.22.	Katı Partikül Erozyonu Aşınma Test Düzeneği	44
Şekil 2.23.	Erozif Aşınmaya Uğramış Örnek Yüzeye Ait Optik Profilometre İle Oluşturulmuş Üç Boyutlu Yüzey Topoğrafyası Ve Aynı Görüntünün Orta Bölgesinden Kesit Alınmış Üç Boyutlu Görüntüsü	46
Şekil 2.24.	Erozif Aşınma İzine Ait Şematik Resim	46
Şekil 2.25.	Erozif Aşınma Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü Hesablanmış Örnek Yüzeyler	47
Şekil 2.26.	DeneySEL Çalışmalarda Kullanılan “Jeol Jcm-6000” Markalı Sem Cihazı	48
Şekil 2.27.	Nikon Smz 75t Stereo Mikroskop	48
Şekil 3.1.	Midye Kabuğu Takviyesinin Pps’in (A) Çekme Dayanımı Üzerine (B) Elastisite Modülü Üzerine Etkisi.	51
Şekil 3.2.	Midye Kabuğu Takviyesinin Sertlik Üzerine Etkisi.	52
Şekil 3.3.	Midye Kabuğu Partikülü Takviyesinin Yoğunluk Üzerine Etkisi.	52
Şekil 3.4.	Adhezif Aşınma Test Sonucu	54
Şekil 3.5.	Bilya-Disk Testi Süresince Sürtünme Katsayısı Değişimi.	54
Şekil 3.6.	Sürtünme Ortalama Sürtünme Katsayısı Değerleri, A) Rejim Kararlı İken B) Abrasif Aşınma Başladıktan Sonra.	54
Şekil 3.7.	Saf Pps’in Adhezif Aşınmaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları.	55

Şekil 3.8.	%10 Midye Kabuğu Partikülü Takviye Edilmiş Pps Kompozitin Adhezif Aşınmaya Maruz Yüzeylerine Ait Sem Fotoğrafları	56
Şekil 3.9.	Çizilme Testi Sonuçları; A) Çizilme Sertlik Değeri, B) Kalıntı Penetrasyon Derinliği.....	57
Şekil 3.10:	Bağıl Kesme Hacim Oranı	57
Şekil 3.11:	Ortalama Sürtünme Katsayısı	58
Şekil 3.12:	Saf Pps' E Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti İle Sürtünme Katsayısı Eğrisi Değişimi.....	58
Şekil 3.13.	%10 Midye Kabuğu Takviye Edilmiş Kompozite Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti Eğrisi Değişimi	59
Şekil 3.14.	Erozyon Oranı Sonuçları.....	61
Şekil 3.15.	Erozyon Hacmi Değerleri	62
Şekil 3.16:	Erozif Aşınma Sonucu Plastik Deformasyon Sonuçları	62
Şekil 3.17.	Erozif Aşınmaya Maruz Yüzeye Ait Ortalama Pürüzlülük Değerleri.....	62
Şekil 3.18.	%10 Midye Kabuğu Partikülü Takviye Edilmiş, 90° Partikül Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	63
Şekil 3.19.	%10 Midye Kabuğu Partikülü Takviye Edilmiş, 30° Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	64
Şekil 3.20.	Mikronize Patlatılmış Perlit Takviyesinin Pps' İn (A) Çekme Dayanımı Üzerine (B) Elastisite Modülü Üzerine Etkisi.	66
Şekil 3.21.	Mikronize Patlatılmış Perlit Partikülü Takviyesinin Sertlik Üzerine Etkisi.....	66
Şekil 3.22.	Mikronize Patlatılmış Perlit Partikülü Takviyesinin Yoğunluk Üzerine Etkisi.....	67
Şekil 3.23.	Adhezif Aşınma Testi Sonucu	68
Şekil 3.24.	Bilya-Disk Testi Süresince Sürtünme Katsayısı Değişimi	68
Şekil 3.25.	Ortalama Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	69
Şekil 3.26.	%40 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Pps Kompozitlerin Adhezif Aşınmaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları	70
Şekil 3.27.	%15 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Pps Kompozitlerin Adhezif Aşınmaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları	70
Şekil 3.28.	Çizilme Testi Sonucu; A) Çizilme Sertlik Değeri, B) Kalıntı Penetrasyon Derinliği.....	71
Şekil 3.29.	Bağıl Kesme Hacim Oranı	72
Şekil 3.30.	Ortalama Sürtünme Katsayısı	73
Şekil 3.31.	%15 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Pps'e Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti İle Sürtünme Katsayısı Eğrisi Değişimi.....	73
Şekil 3.32.	%40 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Pps Kompozite Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti Eğrisi Değişimi	74
Şekil 3.33.	Erozyon Oranı Sonuçları.....	76
Şekil 3.34.	Erozyon Hacmi Değerleri	77
Şekil 3.35.	Erozif Aşınma Sonucu Plastik Deformasyon Sonuçları	77
Şekil 3.36.	Erozif Aşınmaya Maruz Yüzeye Ait Ortalama Pürüzlülük Değerleri.....	77
Şekil 3.37.	%5 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Numunelere Ait 90° Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	79
Şekil 3.38.	%40 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Numunelere Ait 90° Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	80

Şekil 3.39.	%5 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Numunelere Ait 30° Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	81
Şekil 3.40.	%40 Patlatılmış Perlit Takviye Edilmiş Numunelere Ait 30° Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	83
Şekil 3.41.	Olivin Takviyesinin Pps' İn (A) Çekme Dayanımı Üzerine (B) Elastisite Modülü Üzerine Etkisi.	85
Şekil 3.42.	Olivin Takviyesinin Sertlik Üzerine Etkisi.....	85
Şekil 3.43.	Olivin Partikülü Takviyesinin Yoğunluk Üzerine Etkisi	86
Şekil 3.44.	Adhezif Aşınma Testi Sonucu	87
Şekil 3.45.	Bilya-Disk Testi Süresince Sürtünme Katsayısı Değişimi	88
Şekil 3.46.	Sürtünme Ortalama Sürtünme Katsayısı Değerleri	88
Şekil 3.47.	%10 Olivin Takviye Edilmiş Pps Kompozitlere Ait Adhezif Aşımaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları	89
Şekil 3.48.	Erozyon Oranı Sonuçları.....	91
Şekil 3.49.	Erozyon Hacmi Değerleri	91
Şekil 3.50.	Erozif Aşınma Sonucu Plastik Deformasyon Sonuçları	91
Şekil 3.51.	Erozif Aşınmaya Maruz Yüzeye Ait Ortalama Pürüzlülük Değerleri	92
Şekil 3.52.	%10 Olivin Takviye Edilmiş Numunelere Ait 90° Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	93
Şekil 3.53.	%10 Olivin Takviye Edilmiş Numunelere Ait 30° Çarpma Açısında Aşındırılmış Numunelere Ait Sem Fotoğrafları	94
Şekil 3.54.	Fındık Kabuğu Takviyesinin Pp' İn (A) Çekme Dayanımı Üzerine (B) Elastisite Modülü, Kopma Uzaması Üzerine Etkisi.	96
Şekil 3.55.	Fındık Kabuğu Takviyesinin Sertlik Üzerine Etkisi.....	96
Şekil 3.56.	Fındık Kabuğu Takviyesinin Yoğunluk Üzerine Etkisi.....	97
Şekil 3.57.	Adhezif Aşınma Testi Sonucu	98
Şekil 3.58.	Bilya-Disk Testi Süresince Sürtünme Katsayısı Değişimi	98
Şekil 3.59.	Ortalama Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	98
Şekil 3.60.	Saf Pp' Ye Ait Adhezif Aşımaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları	100
Şekil 3.61.	%3 Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozitlere Ait Adhezif Aşımaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları	100
Şekil 3.62.	%10 Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozitlere Ait Adhezif Aşımaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları	101
Şekil 3.63.	Çizilme Testi Sonucu; A) Çizilme Sertlik Değeri, B) Kalıntı Penetrasyon Derinliği.....	102
Şekil 3.64.	Bağlı Kesme Hacim Oranı	103
Şekil 3.65.	Ortalama Sürtünme Katsayısı	104
Şekil 3.66.	Saf Pp'ye Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti İle Sürtünme Katsayısı Eğrisi Değişimi.....	104
Şekil 3.67.	%10 Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozite Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti Eğrisi Değişimi	105
Şekil 3.68.	Erozyon Oranı Sonuçları.....	107
Şekil 3.69.	Erozyon Hacmi Değerleri	107
Şekil 3.70.	Erozif Aşınma Sonucu Plastik Deformasyon Sonuçları	108
Şekil 3.71.	Erozif Aşınmaya Maruz Yüzeye Ait Ortalama Pürüzlülük Değerleri.....	108
Şekil 3.72.	%10 Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş Numunelerin 90° Çarpma Açısında Aşındırılmış Yüzeylere Ait Sem Fotoğrafları	109
Şekil 3.73.	%10 Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş Numunelerin 30° Çarpma Açısında Aşındırılmış Yüzeylere Ait Sem Fotoğrafları	110

Şekil 3.74.	%1 Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş Numunelerin 30° Çarpma Açısında Aşındırılmış Yüzeylere Ait Sem Fotoğrafları	111
Şekil 3.75.	Fıstık Kabuğu Takviyesinin Pp' Nin (A) Çekme Dayanımı Üzerine (B) Elastisite Modülü (C) Kopma Uzaması Üzerine Etkisi.....	113
Şekil 3.76.	Fıstık Kabuğu Takviyesinin Sertlik Üzerine Etkisi.....	113
Şekil 3.77.	Fıstık Kabuğu Takviyesinin Yoğunluk Üzerine Etkisi.....	114
Şekil 3.78.	Adhezif Aşınma Testi Sonucu	115
Şekil 3.79.	Bilya-Disk Testi Süresince Sürtünme Katsayısı Değişimi	115
Şekil 3.80.	Ortalama Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	115
Şekil 3.81.	%10 Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozitlere Ait Adhezif Aşımaya Maruz Yüzeyin Sem Fotoğrafları	116
Şekil 3.82.	Çizilme Testi Sonucu; A) Çizilme Sertlik Değeri, B) Kalıntı Penetrasyon Derinliği.....	117
Şekil 3.83.	Bağıl Kesme Hacim Oranı	118
Şekil 3.84.	Ortalama Sürtünme Katsayısı	119
Şekil 3.85.	%3 Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozite Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti Eğrisi Değişimi	119
Şekil 3.86.	%10 Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozite Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti Eğrisi Değişimi	120
Şekil 3.87.	Erozyon Oranı Sonuçları.....	122
Şekil 3.88.	Erozyon Hacmi Değerleri	122
Şekil 3.89.	Erozif Aşınma Sonucu Plastik Deformasyon Sonuçları	123
Şekil 3.90.	Erozif Aşınmaya Maruz Yüzeye Ait Ortalama Pürüzlülük Değerleri.....	123
Şekil 3.91.	%10 Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş Numunelerin 90° Çarpma Açısında Aşındırılmış Yüzeylere Ait Sem Fotoğrafları	125
Şekil 3.93.	Ceviz Kabuğu Takviyesinin Pp'nin (A) Çekme Dayanımı Üzerine (B) Elastisite Modülü Kopma Uzaması Üzerine Etkisi	128
Şekil 3.94.	Ceviz Kabuğu Takviyesinin Sertlik Üzerine Etkisi.....	129
Şekil 3.95.	Ceviz Kabuğu Takviyesinin Yoğunluk Üzerine Etkisi.....	129
Şekil 3.96.	Adhezif Aşınma Testi Sonucu	130
Şekil 3.97.	Bilya-Disk Testi Süresince Sürtünme Katsayısı Değişimi	131
Şekil 3.98.	Ortalama Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	131
Şekil 3.99.	%10 Ceviz Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozitlere Ait Adhezif Aşınmaya Maruz Yüzeyine Ait Sem Fotoğrafları	132
Şekil 3.100.	Çizilme Testi Sonucu; A) Çizilme Sertlik Değeri, B) Kalıntı Penetrasyon Derinliği.....	133
Şekil 3.101.	Bağıl Kesme Hacim Oranı	134
Şekil 3.102.	Ortalama Sürtünme Katsayısı	135
Şekil 3.103.	%1 Ceviz Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozite Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti Eğrisi Değişimi	135
Şekil 3.104.	%10 Ceviz Kabuğu Takviye Edilmiş Pp Kompozite Ait Çizilme İzi Optik Profilometre Görüntüsü Ve Test Süresince Sürtünme Kuvveti Eğrisi Değişimi	136
Şekil 3.105.	Erozyon Oranı Sonuçları.....	138
Şekil 3.106.	Erozyon Hacmi Değerleri	138
Şekil 3.107.	Erozif Aşınma Sonucu Plastik Deformasyon Sonuçları	139
Şekil 3.108.	Erozif Aşınmaya Maruz Yüzeye Ait Ortalama Pürüzlülük Değerleri.....	139

Şekil 3.109. %10 Ceviz Kabuğu Takviye Edilmiş Numunelerin 90° Çarpma Açısında Aşındırılmış Yüzeylere Ait Sem Fotoğrafları	140
Şekil 3.110: %10 Ceviz Kabuğu Takviye Edilmiş Numunelerin 30° Çarpma Açısında Aşındırılmış Yüzeylere Ait Sem Fotoğrafları	141



TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Fortron 1200 I1 kodlu granül haldeki pps malzemesinin mühendislik özellikleri.....	28
Tablo 2.2. Lyondellbasell mopolen hp500 kodlu granül haldeki pp malzemesinin özellikleri.....	28
Tablo 2.3. Perlit tozunun fiziksel özellikleri.....	29
Tablo 2.4. Olivin tozunun fiziksel özellikleri	29
Tablo 2.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan alümina minerallerinin özellikleri	32
Tablo 2.6. Çalışma sürecinde kullanılan matris ve takviye malzemelerine ait fiyat tablosu.	32
Tablo 2.7. PPS için ekstrüzyon ve enjeksiyon üretim parametreleri	37
Tablo 2.8. PP için ekstrüzyon ve enjeksiyon üretim parametreleri	37
Tablo 2.9. Bilya-disk metodu ile adhezif aşınma testi parametreleri	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

T_g	: Camısı geçiş sıcaklığı
T_m	: Erime sıcaklığı
K_s	: Spesifik aşınma hacmi
Δm	: Kütle değişimi
ρ	: Malzeme yoğunluğu
L	: Test mesafesi
F_n	: Normal yük
V	: Aşınma hacmi
R	: Aşındırıcı dönme yarıçapı
D	: Aşınma izi genişliği
r	: Aşındırıcı top yarıçapı
L	: Lominal yük
w	: Çizilme izi genişliği
H_w	: Çizilme sertliği
S_p	: Bağıl kesme hacmi
V^-	: Toplam oyuk hacmi
V^+	: Yığın hacmi
E	: Erozyon oranı
m_e	: Aşındırıcı partikül kütlesi
E_p	: Plastik deformasyon oranı
V_p	: Yığın hacmi
V_T	: Yoplam oyuk hacmi

Kısaltmalar

Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
PA	: Poliamid
PA6	: Poliamid 6
PEEK	: Poli (Eter Eter Keton)
PP	: Polipropilen
PPS	: Poli (Fenilen Sülfid)
SEM	: Scaning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SiO_2	: Silisyum Oksit
SiC	: Silisyum Karbür
TGA	: Termogravimetrik Analiz
ZnO	: Çinko Oksit
NH_3	: Amonyak
H_2S	: Hidrojen Sülfür
$CaCO_3$	: Kalsiyum Karbonat
SiO_2	: Silisyum Oksit
Mg_2SiO_4	: Fosterit
Fe_2SiO_4	: Fayalit
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
PE	: Polietilen
PLA	: Polilaktik Asit
Ti_3SiC_2	: Titanyum Silikon Karpid

PTFE	: Teflon
UHMWPE	: Ultra High Molecular Weight Polyethylene(Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen)
Ag ₂ S	: Gümüş Sülfid
CuS	: Bakır Sülfür
SnS	: Kalay Sülfür
Ti6Al4V	: Titanyum 6Aliminyum 4Vanadyum



EKO KOMPOZİTLERİN ÜRETİM VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Son yıllarda; polimer malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve bitmiş ürün maliyetinin düşürülmesi amacı ile takviye malzemesi olarak partikül malzemelerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte son ürünlerin ekonomik olmaları kadar, çevre dostu olması yönünde yürütülen çabalar da giderek artış göstermektedir. Bu çerçevede takviye elemanı olarak farklı organik kökenli (fındık, fıstık ve ceviz kabuğu) malzemeler ile inorganik esaslı (patlatılmış perlit, olivin ve midye kabuğu) takviye partikülleri poli(fenilen sülfid) (PPS) ile polipropilen (PP) matris malzemeleri takviye edilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik ve tribolojik özellikleri yapılan deneyler ile incelenmiştir.

Midye kabuğu takviyesinin PPS'in mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemediği, tribolojik özellikleri açısından bakınca ise adhezif aşınmasına olumsuz etki ederken erozif aşınma ve çizilme direncine olumlu yönde etkidiği görülmüştür. Patlatılmış perlit takviyesinin PPS'nin hem mekanik özelliklerini hem de tribolojik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Aynı şekilde olivin takviyesinin PPS'nin hem mekanik hemde tribolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir.

Öğütülmüş fındık kabuğu takviyesinin PP'nin mekanik özellikleri üzerine olumlu yönde etki ettiği gözlenmiştir. Tribolojik özellikler üzerine etkisi incelendiğinde fındık kabuğu takviyesi ile adhezif aşınma direncinin artış gösterdiği, çizilme direncinin olumsuz yönde etkilendiği, erozif aşınma direncinin ise aşındırıcı tanelerin çarpma açısına bağlı olarak düşük açılarda olumsuz etkilediği yüksek açılarda ise olumlu etkilediği gözlenmiştir. Fıstık kabuğu takviyesinin PP'nin hem mekanik özelliklerini hemde tribolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Ceviz kabuğu takviyesinin de PP'nin hem mekanik hemde tribolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik Kompozit, Ekonomik Kompozit, Mekanik ve Tribolojik Özellikler, Partikül Takviyeli Kompozit.

MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION OF ECO COMPOSITES

ABSTRACT

In recent years; The use of particulate materials as a reinforcing material for the purpose of improving the properties of polymer materials and reducing the cost of finished products. In addition, efforts to make the end products as environmentally friendly as the economic ones are increasing. In this context, reinforcing materials of different organic origin (hazelnut, peanut and walnut shell) and inorganic based (exploded perlite, olivine and mussel shell) reinforcing particles were reinforced with poly (phenylene sulfide) (PPS) and polypropylene (PP) matrix materials. Mechanical and tribological characterization of the samples were investigated by experiments.

It has been observed that the mussel shell reinforcement does not affect the mechanical properties of PPS positively and it has a positive effect on the erosive wear and çizilme resistance while it has a negative effect on adhesive wear. It has been observed that the expanded perlite reinforcement improves both the mechanical properties and tribological properties of PPS. Olivine reinforcement has been shown to affect both mechanical and tribological properties of PPS positively.

It has been observed that the ground nut shell reinforcement has a positive effect on the mechanical properties of PP. When the effect on the tribological properties were examined, it was observed that the adhesive wear resistance increased with the nut shell reinforcement, the çizilme resistance was negatively affected, and depending on the particle impact angle, the erosive wear resistance was adversely affected at low impingement angles and positively affected at high impingement angles. Due to the impact angle of the abrasive grains. It has been observed that peanut shell reinforcement positively affects both the mechanical and tribological properties of PP. It has been determined that walnut shell reinforcement positively affects both mechanical and tribological properties of PP.

Keywords: Ecologic Composites, Economic Composites, Mechanical and Tribological Properties, Particle Reinforced Composites.

GİRİŞ

Günümüz teknoloji ve ihtiyaçları neticesinde, gelişmiş makine parça ve ekipmanlarının üretilmesi ve kullanılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar göstermiştir ki; geleneksel endüstriyel malzemeler var olan ihtiyaçlar karşısında yetersiz kalmıştır. Bu sebeple geline noktasındaki ihtiyaçları karşılamak için özel proses ve yöntemler ile üretilen karma malzemeler ortaya çıkmıştır.

Polimer matrisler kompozit malzeme üretiminde en yaygın kullanıma sahiptir; ancak saf polimerlerin mekanik özellikleri gerek metaller gerekse seramiklere nazaran zayıf kalmaktadır. Fakat takviye edilmeleri durumunda ise metal ve seramiklere kıyasla düşük yoğunluklu, yüksek spesifik mukavemetli, spesifik modüllü ve rijit yapılı malzemelere dönüşebilmektedir.

Matris malzemesi olarak kullanılan polimerleri daha ayrıntılı ele aldığımızda; yüksek tokluk ve darbe dayanımı ile işlenebilmesi ve geri dönüşümünün kolay olması nedeniyle termoplastik polimerlerin termoset polimerlere oranla daha yaygın kullanım alanı bulduğu görülmektedir. 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. Termoplastik olan polifenilen sülfid (PPS) yüksek çalışma sıcaklıklarında dahi boyutsal kararlılığa sahip olması, mekanik özelliklerini koruması ve kolay işlenebilir olmasıyla birlikte kimyasal ve çözücülere karşı dayanıklı bir malzeme olmasından dolayı ideal bir matris malzemesidir. Termoplastik polimer matrislere bir diğer örnek ise dünyanın en yaygın kullanıma sahip polimerlerinden biri olan polipropilen (PP)'dir. Maliyetinin düşük oluşu, kolay kalıplanabilir olması, kimyasal ve çözücülere karşı dirençli olması, nem tutmaması ve mukavemet değerlerinin kısmen yüksek olması gibi sebeplerden dolayı kullanımı yaygın olan bir polimerdir.

Takviye malzemesi olarak kullanılan partiküllerden kısaca bahsedecek olursak; volkanik esaslı olan olivin ve perlit hem düşük maliyetli hem de porozitesi yüksek olmaları nedeniyle takviye olarak ideal bir karakter çizmektedir. Atıkları ciddi

anlamda çevre ve hava kirliliğine sebebiyet veren ve kendine belirgin bir kullanım alanı bulamayan deniz kabuklularının inorganik esaslı yapıları ve atık probleminin çözümü anlamında faydalı bir takviye malzemesi olarak ilgi çeken bir yapıya sahiptir. Son olarak odun esaslı yani organik kökenli olan fındık, fıstık ve ceviz kabuklarının verimli bir kullanım alanı olmadığı görülmekte, en fazla yakacak olarak kullanılmaktadır. Bu da geri dönüşü olmaksızın kabukların yok edilmesi anlamına gelmektedir. Bu çerçevede organik esaslı bu kabukların takviye elemanı olarak kullanılmasının hem ekolojik anlamda hem de ekonomik katkı anlamında olumlu sonuçlar vereceği öngörülmüştür.

Çalışmanın birinci bölümünde; genel bilgiler başlığı altında matris malzemesi olarak kullanılmış olan PPS ve PP ile takviye malzemesi olarak kullanılmış olan olivin, perlit, midye kabuğu, ceviz kabuğu, fındık kabuğu ve fıstık kabuğu erozif aşınma deneyinde aşındırıcı olarak kullanılmış olan alümina 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 matris ve takviye malzemeleri ile erozif aşınma deneyinde kullanılan aşındırıcı malzeme tanıtılmış, ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama ile üretim parametreleri ve üretilen numunelere uygulanan test yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde ise; yapılan mekanik ve 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 uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bununla birlikte bu malzemeler, zorlu çalışma koşulları altında yüksek yüklere ve çeşitli aşınma mekanizmalarına maruz kalmaktadır. Bu doğrultuda matris malzemesi olarak endüstriyel anlamda kendisine yaygın bir şekilde yer bulan polipropilen (PP) ve mühendislik polimerleri grubunda yer alan yüksek mühendislik özelliklerine sahip polifenilen sülfid (PPS) seçilmiştir. Takviye malzemesi olarak ise farklı organik ve inorganik esaslı partiküller tercih edilerek hem ekolojik çevreye uyumlu hem de ekonomik, son ürün maliyetinin düşük olması hedeflenmiştir. Üretilen kompozit numunelere çekme testi uygulanarak mekanik özellikleri, bilya-disk testi ile adhezif aşınma davranışı, çizilme testi ile

birlikte yüzey çizilme özellikleri partikül erozyon testi ile de eroziv aşınma davranışları incelenmiştir. Böylece endüstriyel uygulanabilirlikleri irdelenmiştir.



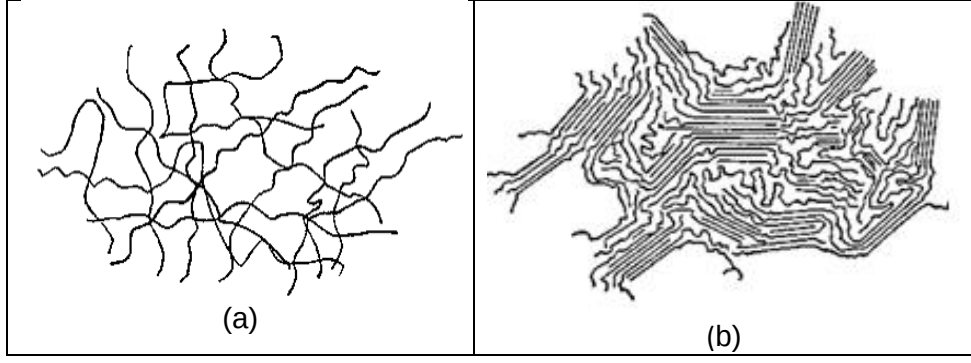
1. GENEL BİLGİLER

Bu bölüm altında tez konusu ile ilgili genel bilgilendirmelere ve literatürde yapılmış olan çalışmalara yer verilecektir.

1.1. Termoplastik Matrisli Kompozitler

Günümüz endüstrisinde üretilen polimerlerin oran olarak takribi %85'ini termoplastikler oluşturmaktadır. Termoplastikler; yüksek darbe dayanımı ile yüksek tokluk değerlerine sahip olmaları, kolay şekillendirilebilir ve tekrar işlenebilir olmaları nedeniyle giderek termosetlerin yerini almaktadır. Aynı zamanda termoplastik kompozitlerin sahip oldukları yüksek spesifik mukavemet ve spesifik rijitlik, gelişmiş kırılma tokluğu ve artan darbe dayanımı gibi özellikleri nedeniyle bu malzemelere olan rağbet giderek artmaktadır. Bununla birlikte sağlamış olduğu özellikler ve maliyet mukayesesi yapıldığında termoplastiklerin termosetlere kıyasla ürün maliyetleri daha düşüktür. Termoplastikler amorf ve yarı kristalin olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Amorf yapıdaki moleküller rastgele düzen alır, yarı kristalin yapıdakiler 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 gösterir. Aynı zamanda amorf termoplastikler camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda işlenir. 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 içermektedir. 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 işlenebilir. 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 kırılır [1-6].

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



Şekil 1.1: Polimer yapı a) amorf yapı b) yarı kristalin yapı [1,7]

- Üretim döngüsünün kısalığı ve kolay şekillendirilebilir olmaları,
- Tekrarlı şekilde işlenebilir ve geri dönüşüme yatkın olmaları,
- Termosetler ile performans maliyet karşılaştırması yapıldığında daha ekonomik olmaları,
- Uzun süreli depo ömrüne sahip olmaları,
- Kimyasallara karşı dirençli olmaları,
- Termosetlere oralarıyla kaynak edilebilme kabiliyetlerinin yüksek düzeyde olmaları,
- Yüksek kopma ve kırılma dayanımı ile yüksek tokluğa sahip olmalarıdır [1-6]

1.2. Matris Malzemesi Poli(Fenilen Sülfid)

Poli(fenilen sülfid), sülfür atomlarının bağlı olduğu aromatik fenil halkalarından oluşan bir organik polimerdir [1,6]. PPS yarı kristalin yapıya sahiptir. Bu bağlamda boyutsal olarak stabil olan ve dengeli akış özellikleri sergileyen bir polimerdir. Ayrıca PPS, yüksek sıcaklık direncine sahip olmakla birlikte kimyasal ve sıvılara karşı da dirençlidir. PPS' in camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık 90°C ve erime sıcaklığı yaklaşık 285°C civarındadır. Sürekli servis sıcaklığı 220°C ile 240°C civarındadır. PPS; yüksek sıcaklıklarda çalışabilme ve boyutsal kararlılığını koruyabilme, kimyasallara karşı dirençli olması ve çözünmemesi, kolay işlenebilir bir polimer olması ve çok iyi mekanik özellikler sergileme gibi özellikleri sayesinde nedeni ile kendisine otomobil ve havacılık sanayinde giderek artan bir yer edinmektedir [1,6,8-11]. Saymış olduğumuz avantajlarının yanı sıra kopma uzamasının düşük olması, gevrek davranış sergilemesi ve maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajlara da sahiptir. Bundan dolayı fiber ya da partikül takviyesi ile doğasından gelen bu olumsuzluklar ortadan kaldırılabilmekte ve viskozitesi düşük olmasıyla yüksek oranlarda partikül ya da fiber takviyesi yapılabilir [1,9,11].

PPS polimerinden kalıpla, ekstruderle 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 [1,6].

1.3. Matris Malzemesi Polipropilen

Polipropilen ham petrol türevlerinden olan "Naphta" maddesinden elde edilen propilen moleküllerinin polimerizasyonu ile elde edilen termoplastik bir polimerdir. Düşük yoğunluğunun olması, sünek ve darbe dayanımının yüksek olması, su ve kimyasallara karşı dirençli olması polipropilenin endüstriyel kullanım alanlarını arttırmıştır. Bununla birlikte geri dönüştürülebilir ve kolay proses edilebilir olması da polipropilene olan ilgiyi artıran temel sebepler arasında yer almaktadır. Ayrıca 0-100°C gibi geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahiptir. Erime sıcaklığı ise yaklaşık 160°C civarındadır. Saymış olduğumuz bu avantajlarına paralel olarak polipropilen; otomotiv, ev mobilya ve aletleri, oyuncak endüstrisi, depolama tankları, yiyecek paketlenme, medikal ekipmanları gibi birçok uygulama alanında artan bir şekilde kullanılmaktadır [12-17].

1.4. Takviye Malzemesi Midye Kabuğu

Kabuklu deniz canlılarının atık kabukları dünya genelinde ciddi anlamda çevresel bir sorun teşkil etmektedir. Yok edilmesi ya da ortadan kaldırılması oldukça zordur ve bununla birlikte istif edildikleri taktirde bölgede hem insan sağlığına zararlı hem de kötü kokulu gazların çevreye salınmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni ayıklandıktan sonra içinde kalan organik kısımların ortam sıcaklığı ile birlikte bozulmaya başlamasıdır. (NH₃, H₂S gibi gazlar meydana gelmektedir.) Bu kötü kokulu ve sağlığa zararlı gazların salınımı dışında atık kabukların istiflendiği nemli çöp alanları sinekler, böcekler ve fareler için hem yaşam hem de üreme alanı oluşturmaktadır. Bu çevresel sıkıntılar göz önüne alındığında bu kabukların bir şekilde değerlendirilerek ortadan kaldırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle inşaatlarda kullanılarak, hayvan besilerine katılarak, toprak gübresi olarak kullanarak ortadan kaldırma çalışmalarına başlanmıştır. Deniz kabuklularının kabuk kısmının yapısı incelendiğinde yapının %95'ini CaCO₃ oluştururken kalan %5'lik kısmı ise organik ve diğer karışımların oluşturmaktadır. CaCO₃, en yaygın kullanılan geleneksel dolgu malzemelerinden biridir. Bu çerçevede midye kabuğu da zengin bir

CaCO₃ kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Yine yapılan literatür çalışmalarında; midye kabuğunun yapısında yer alan CaCO₃'ün alışlagelmiş kalsit formundaki CaCO₃'ya kıyasla daha sert ve rijit yapılı olan aragonit formunda CaCO₃ bulunduğu bilinmektedir [18-22].

1.5. Takviye Malzemesi Perlit

Perlit; ısıyla genleşme özelliği olan, genleştiğinde ise çok hafif ve gözenekli hale gelen, asidik karakterli, inci parlaklığında SiO₂ esaslı volkanik bir kayadır. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığında inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesinden dolayı inci anlamına gelen perle kelimesinden türetilmiştir. Perlit kelimesi, hem ham perlit için hem de genleşmiş perlit için kullanılmaktadır. Ayrıca obsidian ve pechistein (pitchstone) gibi su ihtiva eden ve ısıtılınca genleşen volkanik camlara da bazen perlit denilmektedir. Perlit üretildiği gibi ham olarak kullanılmasının yanı sıra genleştirilerek de kullanılmaktadır. Ham perlit, cinsine göre 750 ile 1200 °C arasında bir sıcaklığa ani olarak ısıtılınca, içindeki suyun buhar halinde çıkmasıyla mısır gibi patlayarak hacmi 5 ile 30 misli artar, geriye çok gözenekli ve hafif bir cam kalır. Bu olaya “intumesens”, oluşan urune de “genleşmiş perlit” denilmektedir. Kırılmış ve tane iriliğine göre ayrılmış ham perlitin gevşek birim hacim ağırlığı 1,05 - 1,20 g/cm³ iken genleşmiş perlitin hacim ağırlığı 0,03 - 0,06 g/cm³ e kadar düşebilir. Genleşmiş perlite ticari değer kazandıran en önemli özelliği de düşük yoğunluğudur. Bununla birlikte perlitin fiziksel esnekliği, kimyasal tepkimeye girmemesi, düşük ısı ve ses iletkenliği, ateşe karşı dayanıklı oluşu kullanım alanlarını giderek artırmaktadır. Kimyasal olarak inert yapıda olup pH değeri yaklaşık 7 civarındadır. Nitrat sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısıyla kimyasal olarak oldukça saftır ve insan sağlığı açısından tehlike teşkil etmemektedir. Sahip olduğu bu özellikler ile birlikte inşaat sektöründe ısı ve ses yalıtım malzemesi olarak, su filtre sistemlerinde filtre malzemesi olarak, ziraat ve bahçecilikte su tutucu olarak, demir çelik üretiminde ingotların naklinde vb. birçok endüstriyel uygulamada giderek artan bir kullanıma sahip olmaktadır [23-25].

1.6. Takviye Malzemesi Olivin

Olivin genel bir terim olarak Fosterit (Mg₂SiO₄) ve Fayalit'in (Fe₂SiO₄) katı çözelti karışımlarını içeren orta silikat grubunu anlatmakla beraber %85 fosterit içeren mineralleri tanımlamak için kullanılır. Olivin genellikle yeşil ve koyu yeşil renkte olup

oldukça sert bir mineraldir. Güneş ışınları ve atmosferik şartlar ile rengi açık yeşile dönüşür. Sertliği Mohs'un kıstasına göre 6,5-7,0'dır. Yoğunluğu da içerdiği Fe miktarına göre 3,22 ile 4,40 gr/cm³ arasında değişmektedir. Erime sıcaklığı 1200-1900°C arasında değişkenlik göstermektedir. Olivinin endüstriyel kullanımı incelendiğinde universal minerallere kıyasla çok yenidir. Gerek insan sağlığı açısından serbest silis içeren minerallerin kullanımının yasaklanması gerekse sahip olduğu yüksek sıcaklık direnci olivini demir çelik üretim fabrikalarında fırın tuğlası, döküm sanayinde maça ve kalıp kumu, yüzey temizleyici partikül, ısı ve ses yalıtımına sahip tuğla malzemesi gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kendisine artan bir şekilde kullanım alanı bulmaktadır [26-30].

1.7. Takviye Malzemesi Fındık, Fıstık ve Ceviz Kabuğu

Lignoselülozik malzemeler geleneksel takviyelere nazaran düşük maliyet, düşük yoğunluk, yüksek toksitlenme direnci tekrar tekrar kullanılabilir olmaları, çevre dostu olmaları ile birlikte endüstriyel anlamda kabul edilebilir seviyede mukavemet ve yüksek spesifik özellikleri gibi artıları ile ön plana çıkmaktadır. Fındık, fıstık ve ceviz en yaygın kullanılan lignoselülozik esaslı kabuğa sahip kuruyemişlerdir ve bu kuruyemişler ayıklandığı zaman ağırlıkça %45-%70 oranında kabuk atık ortaya çıkmaktadır. Günümüz uygulamaları incelendiğinde; bu kabukların ısınma amaçlı sobalarda yakıldığı, kömür yapımı için karbürleştirildiği, organik gübre olarak ve hayvan yemi gibi ekonomik değeri yüksek olmayan kullanım alanlarında değerlendirilmeye çalışıldığı görülmektedir. Oysa odun talaşı ile benzer kimyasal yapısı olması ancak odun talaşına kıyasla daha sert ve gevrek bir yapısının olması ve tamamen atık ve düşük maliyete sahip olması bio esaslı ekolojik takviye olarak kullanımını ortaya çıkarmıştır [31-38].

1.8. Eroziyon Aşındırıcı Partikül Alümina (Al₂O₃)

Mineral içerikli bir sarf malzemesi olan alüminyum oksit, saflığına göre derecelendirilir. Piyasada alüminyum oksit, corund, corondum ve alümina isimleriyle de adlandırılan bu malzeme saflık derecesine göre beyaz, kahverengi ve pembe renkte bulunur. Alüminyum oksit minerali, alüminyum metalinin oksijene karşı yüksek duyarlılıkta olmasından dolayı meydana gelmektedir. Yüksek sertlikleri ve dayanım ömürlerinin yüksek olması sebebiyle yüzey işleme sektöründe tercih edilirler. Yüzey pürüzlendirme veya boya çıkarma işlemleri için en çok kullanılan malzemedir. Alüminyum oksit yüksek sertlikleri ve küboid yapılarından dolayı

özellikle kaplama öncesi pürüzlendirme işleminde yoğun olarak kullanılmaktadır. Alüminyum oksit küboid bir kumlama yada raspa sarf malzemesidir. Küboid malzemelerin aşındırma özelliği yüksektir. Bu sebepten dolayı alüminyum oksit yüzeyin pürüzlendirilmesi işlemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yüzey profilinin çok önemli olmadığı uygulamalarda hızlı bir temizleyici olarak da kullanılmaktadır. Paslanmaz malzemelerin kumlanmasında özellikle beyaz alüminyumoksit tercih edilmektedir. Çünkü saf en yakın yapı beyaz alüminyumoksitlerde mevcuttur. Paslanmaz çelikler, titanyum ve alüminyum alaşımları, bakır ve pirinç alaşımları ve hatta porselen esaslı malzemelerin kumlamasında tercih edilen beyaz alüminyum oksit, kahverengi alüminyum oksite kıyasla çok daha az toz çıkararak daha temiz bir yüzey kalitesi sunmaktadır. Kahverengi alüminyum oksit ise serbest halde demir içerdiği için yüzeyin paslanmazlık özelliğini zedelemektedir. Ayrıca yoğun kullanımda yüzeyin renginde değişime de yol açabilmektedir. Bu nedenlerle kahverengi alüminyum oksit paslanmazlığın ve yüzey rengi kalitesinin şart olmadığı durumlarda tercih edilmelidir. Alüminyumoksit, cam kumlama makinelerinde ve elle yapılan cam kumlama uygulamalarında hızlı kumlama olanağı sağlaması ve diğer sarf malzemelerine nazaran (silis kumu, cam kumu, garnet gibi) daha yüksek sertlik ve daha az toz çıkışı sağladığı için yoğun olarak tercih edilmektedir [39].

1.9. Partikül Takviyeli Termoplastik Kompozitler ve Özellikleri

Termoplastikler ısıtıldıkları zaman yumuşarlar ve bunun neticesinde malzemenin modül değerlerinde düşme ve polimerik yapıda sünme meydana gelir. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında ise eriyerek şekillerini kaybederler. Bu problemin üstesinden gelmek için yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür ki; mineral dolgu takviyesi termoplastiklerin modülünü ve sıcaklıkla deforme olma sıcaklığını artırmaktadır [1, 6, 40].

Genel olarak polimer malzemelere partikül takviyesi yapmanın maliyet düşürmek amacı ile yapıldığı düşünülse de bu durum artık istisna olmuştur. Bugün yapılan çalışmalar incelendiğinde, partikül takviyesi ile elde edilen kompozit malzemenin arzu edilen özelliklerinin 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. Başka bir deyişle eğer takviye malzemesi matris

malzemesine kıyasla daha düşük maliyete sahipse maliyeti düşürmek için polimerin sahip olduğu özellikler yitirilmeden katılabilecek en yüksek oranda takviye yapılmalıdır. Eğer takviye malzemesi matris malzemesine kıyasla daha yüksek maliyete sahipse tatmin edici özellikler sağlayacak kadar az miktarda katılmalıdır [1, 6, 40].

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 kompozit malzemeyi elde edebilmektir. Mekanik özellikler açısından malzemenin; eğilme ve çekme modülü, akma dayanıcı, darbe dayanımı gibi özellikleri araştırılmaktadır [40]. Yapılan literatür çalışmaları neticesinde partikül takviyesinin malzemelerinin modül (çekme ve eğilme) ve mukavemet özellikleri üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. İslam ve diğ. hindistan cevizi kabuğunu öğütürerek polipropilen matrisi takviye etmişlerdir. Fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde hindistan cevizi kabuğu takviyesinin artan takviye miktarı ile birlikte çekme dayanımı ve kopma uzamasının negatif yönde etkidiğini bulmuşlardır. Ancak eğilme dayanıcı ve modülü ile elastisite modül değerlerini olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir [41]. Thio ve diğ. polipropilene üç farklı boyutta CaCO_3 takviyesi yaparak takviye partikül boyutunun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda her boyutta partikül takviyeli kompozitlerin saf PP'ye kıyasla yüksek modül değerleri sergilediğini bulmuşlardır. Ancak akma dayanımının olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir. Yine yapmış oldukları bu çalışmada kopma uzamasının düşük takviye oranlarında artış sergilediğini ancak artan takviye ile birlikte azaldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları darbe testi neticesinde ise 0,7 μm boyuta sahip partikül takviye edilen kompozit numunelerin en iyi sonucu verdiğini, daha büyük ya da küçük partiküllerin ise ya çok az iyileşmeye sebep olduğunu ya da önemsenecek bir değişime sebebiyet vermediğini açıklamışlardır [42]. Zuiderduin ve diğ. farklı oran ve boyutta CaCO_3 takviye edilmiş PP kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri numunelere çekme ve çentik darbe testlerini uygulamışlardır. Yaptıkları testler neticesinde artan takviye miktarı ile birlikte çentik darbe enerjisi ve elastisite modül değerinin arttığını bulmuşlardır. Ancak akma dayanımının olumsuz yönde etkilendiğini belirtmişlerdir. Yine aynı çalışma çerçevesinde optimum partikül büyüklüğünün 0,7 μm olduğunu belirtmişlerdir [43]. Mark yaptığı çalışmada alümina seramik parçacıkları takviye edilmiş polibenzoksazin matrisli kompozit numuneler üretmiş ve ürettiği numuneleri

eğme testine tabi tutmuştur. Elde ettiği test sonuçlarına göre alümina takviyesinin eğilme modülünü artırdığını eğilme mukavemetini ise %2 takviye oranına kadar olumsuz yönde etkilendiğini bulmuştur. Ancak artan takviye miktarı ile birlikte arttığını belirtmiştir [44]. Park ve diğ. karbon nano tüp ile bakır tozu karışımı takviye edilmiş düşük yoğunluklu polietilen hibrit kompozit numuneler üretmişler ve yapmış oldukları takviyenin mekanik özelliklere etkisini görmek için çekme testi uygulamışlardır. Yapmış oldukları çekme testi sonuçlarına göre nano karbon tüp-bakır tozu karışımı takviyesinin düşük yoğunluklu polietilenin elastisite modülünü 7,8 kat çekme dayanımını ise 1,22 kat kadar artırdığını belirtmişlerdir [45]. Botlhoko ve diğ grafit ve grafen oksit takviyesinin polilaktik asit/ poli (ε-koprolaton) blendi üzerine etkisini incelemişler ve grafit takviyesinin kopma uzamasını %43,8 oranında artırdığını bulmuşlardır. Modül ve çekme dayanımında ise kayda değer bir değişim görülmediğini belirtmişlerdir. Grafen oksit takviyesinin ise malzemeyi gevrek bir yapıya soktuğunu ve bununla birlikte elastisite modülü ile çekme dayanımı değerlerinin olumsuz yönde etkilendiğini belirtmişlerdir [46]. Tabi ve diğ. polilaktik asit matrise polietilen glikol talk takviyesi yaparak mekanik özellikleri incelemişlerdir. Yaptıkları testler neticesinde en iyi sonucu %10 oranında polietilen ve glikol ilavesiz saf talk takviyesinin verdiğini talk partiküllerinin çekirdeklenme ajanı gibi davrandığını belirtmişlerdir [47]. Essabir ve diğ. argan fındığı kabuğunu yüksek yoğunluklu polietilen matrise takviye olarak kullanmışlar ve farklı oranlarda takviye etmişlerdir. Yapmış oldukları mekanik testler neticesinde young modülünün %58' e kadar arttığını bununla birlikte malzemenin sünek karakterden gevrek bir yapıya dönüştüğünü ifade etmişlerdir. En iyi mukavemet değerinin %5 takviye oranında tespit edildiğini, bütün sonuçlar gözetildiğinde %20 takviye oranının optimum takviye miktarı olduğuna kanaat getirmişlerdir [48]. Essabir ve diğ. PP matris içerisine badem kabuğu takviyesi yaparak mekanik özellikleri incelemişler ve %30 oranında badem kabuğu takviyesinin saf PP'ye oranla %35 daha yüksek elastisite modülüne sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ancak badem kabuğu takviyesi ile birlikte çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin olumsuz yönde etkilendiğini belirtmişlerdir [49] Tagliavi ve diğ. vinil ester içine cam küre takviyesi yaparak üretmiş oldukları kompozitlerin eğilme özelliklerini incelemişlerdir Bunun için de üç nokta eğme testi uygulamışlardır. Yaptıkları test sonuçlarını incelediklerinde modül ve spesifik modül değerlerinin saf polimerden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ancak dayanımın ise olumsuz yönde etkilendiğini belirtmişlerdir. Yine yaptıkları çalışma sonucunda bu özelliklerin cam kürelerin et kalınlıklarından bağımsız olduğunu ancak kompozit içerisinde yer alan cam kürelerin hacim miktarlarına bağımlı olduğunu tespit

etmiştirlerdir [50]. Varbeek polietilene magnezyum mikası takviyesi yaparak partikül boyutunun elastisite modülü üzerinde bir etki yapmadığını ancak çekme dayanımının 240 µm ve daha büyük boyutlu partikül takviyesi ile olumlu yönde değiştiğini belirtmiştir. [51]. Ishiaku ve diğ. polikaprolakton matris içine kütleli olarak farklı oranlarda olmak üzere kurutulmuş ve kurutulmamış olarak iki çeşit sagu nişastası takviyesi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda takviye oranı arttıkça çekme dayanımının negatif yönde etkilendiğini, ancak; modül üzerinde kurutulmuş olan partiküllerin olumlu yönde, kurutulmamış partiküllerin olumsuz yönde etki ettiğini açıklamışlardır [52]. Dong ve diğ. macadamia fıncığı kabuğu takviye edilmiş polyester reçine matrisli kompozitlerin eğilme mukavemeti üzerine çalışmışlar ve yaptıkları çalışma sonucunda artan fıncık kabuğu yüzdesi ile eğilme modül değerinin arttığını bulmuşlardır. Ancak eğilme mukavemetinde önemli bir iyileşme gözlenmediğini belirtmişlerdir [53]. Maldas ve diğ. üç farklı boyutta ceviz ve yer fıncığı takviye edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın devamında ise kabuklara modifikasyon yaparak etkisini gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda kabuk takviyeli kompozitlerin saf HDPE'ye kıyasla daha iyi mekanik özellik sergilediğini bununla beraber en iyi mekanik özelliklerin ise 200 mesh boyutunda ve %3 maleik anhidrit ile modifiye edilen kabuk partikülleri ile elde edildiğini belirtmişlerdir [54]. Han-Seung Yang ve diğ. polipropilen (PP) matrise kütleli olarak farklı oranlarda partikül haline getirilmiş piriç kabuğu unu takviye etmişlerdir. Deneysel sonuçlar neticesinde, partikül oranı arttıkça malzemenin daha gevrek bir hale büründüğünü belirtmişlerdir. Bu duruma paralel olarak da modül değerinin arttığını belirtmişlerdir. Ancak artan partikül oranı ile partikül-matris ara yüzey mukavemetinin azalması sebebi ile çekme mukavemetinin düştüğünü açıklamışlardır [55]. Wang ve diğ. yaptıkları çalışmada poliamid (PA) matrise partikül halde zirkonyum oksit (ZnO) takviye etmişler ve yaptıkları deney sonuçlarına göre partikül takviyesinin kütleli olarak %10 oranına kadar ilave edildiğinde çekme dayanımını olumlu yönde etkilediği ancak bu orandan sonra artan takviye miktarı ile birlikte çekme dayanımının olumsuz etkilendiğini, aynı zamanda takviye oranının artışı ile malzemenin sertliğinin de arttığını belirtmişlerdir [56]. Yan Li ve diğ. partikül halde midye kabuğu kalsiyum karbonat (CaCO_3) takviyesinin polipropilen (PP) matrisli kompozit üzerine etkisini çalışmışlar ve karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde, hem CaCO_3 takviyesinin hem de midye kabuğu takviyesinin kopma uzamasını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ancak midye kabuk takviyeli kompozitlerin CaCO_3 takviyeli kompozitlere kıyasla daha çok uzadıklarını tespit etmişlerdir. Bununla beraber midye kabuğu tozu takviyeli

kompozitlerin mekanik özelliklerinin ticari CaCO_3 takviyeli kompozitlerden daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir [57]. Ayrılmış ve diğ. maleik anhidrit ile modifiye edilmiş ve edilmemiş olarak ceviz kabuğu tozlarının PP kompozitlerin mekanik ve termal özellikler ile su absorpsiyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde ceviz kabuğu takviyesinin elastisite modülünü artırdığını ancak mukavemet değerlerini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bununla birlikte ceviz kabuklarının modifiye edilmesinin modül değerini çok etkilemediğini ancak mukavemet değerlerini önemli oranda artırdığını tespit etmişlerdir. Ceviz kabuğu takviyesi erime sıcaklığını ve kristalinite miktarını düşürücü yönde etki ederken su absorpsiyonunu da arttırmıştır ancak klasik odun talaşı takviyesine kıyasla daha az su absorbe ettiği sonucuna varmışlardır [58]. Zahedi ve diğ. ceviz kabuğu takviye edilmiş PP kompozitlere modifiye edilmiş aktif kil ve maleik anhidrit takviyesinin mekanik özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları eğme ve çekme testleri sonucunda, %3 aktif kil ile %6 maleik anhidrit aşılanmış PP içeren kompozit kombinasyonunun en iyi dayanımı sergilediğini belirtmişlerdir. %3 aktif kil ve %4 maleik anhidrit aşılanmış PP içeren kompozit numunelerinin ise en kötü sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda çekme özellikleri üzerine aktif kil takviyesinin belirgin bir etkisi olduğunu maleik anhidrit aşılanmış polipropilenin etkisinin belirsiz kaldığını gözlemlemişlerdir [59]. Ma ve diğ. matris malzemesi olarak mısır nişastası, takviye malzemesi olarak ise 1-5 μm aralığında boyuta sahip kömür külü kullanmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda ise çekme mukavemeti değerlerinin saf mısır nişastası ile kıyaslandığı zaman üç katına çıktığını ancak kopma uzaması değerlerinin oldukça düştüğünü saptamışlardır. Ayrıca partikül takviyesinin belirli orandan sonra topaklanmaya neden olarak olumlu etki yapmak yerine mekanik özelliklerde olumsuz sonuçlara sebep olduğunu açıklamışlardır [60]. Syed ve diğ. partikül haline getirilmiş hint safranı takviye edilmiş PP matrisli kompozitler üretmişler ve ürettikleri malzemelerin mekanik özellikleri üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın neticesinde partikül oranı arttıkça topaklanma oluştuğunu ve bu durumun az da olsa çekme dayanımında düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca takviye miktarı kütleli olarak %40 olduğu zaman kopma uzaması değerinin %99 düşüş sergilediğini ancak elastisite modülünün artan takviye miktarı ile birlikte artış sergilediğini açıklamışlardır [61]. Ünal ve diğ. PA6 matris ile talk ve kaolin takviyeli kompozit üreterek talk ve kaolin takviyesinin mekanik özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde hem talk hem de kaolin takviyesinin çekme dayanımı ve elastisite modülü üzerine olumlu yönde etki ettiklerini tespit etmişler ve kaolinin çekme dayanımı üzerine talka göre

daha olumlu etki ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca her iki takviye türünün darbe dayanımı ve süneklik değerlerini düşürdüğü sonucuna varmışlardır [62]. Yang ve diğ. pirinç kabuğu takviyesinin PP üzerine etkisini incelemek amacı ile kütlece farklı takviye oranlarında kompozitler üreterek mekanik özelliklerini ve su emme davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda pirinç kabuğunun elastisite modülünü artırdığını ancak dayanım değerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Bununla beraber pirinç kabuğu takviyesinin PP'nin su emme miktarını artırdığını ancak tolere edilebilir seviyede olduğunu belirtmişlerdir [63]. Lee ve diğ. matris olarak polyvinil alkol (PVA) ve takviye olarak da kahve telvesi ve karbon karası kullanarak kompozit üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitleri özellikleri bakımından mukayese ederek kahve telvesinin endüstriyel anlamda kullanılabilir olup olmadığını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde kahve telvesi takviye edilmiş kompozitlerin karbon karası takviye edilmişlere kıyasla daha iyi mekanik ve optik özellikler sergilediğini bununla beraber daha yüksek bir oranda koku absorbe edebildiğini belirtmişlerdir [64]. Mohandesi ve diğ. polietilen tereftalat matris malzemesine farklı boyut ve kütsel oranlarda kuvars kumu takviyesi yaparak takviye miktarı ile takviye boyutunun mekanik özellikler üzerine etkisini çalışmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucu, artan takviye oranı ile birlikte elastisite modülünün arttığını, bununla birlikte takviye miktarının %10'a kadar basma ve çekme mukavemetin olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Ancak takviye oranının %10'unun üzerinde olması durumunda partiküllerin birbirleri ve matris ile olan bağı zayıflattığı hem basma hem de çekme dayanım değerlerinin düştüğünü belirtmişlerdir. Başka bir ifade ile partikül ile matris ara yüzeyi tutunmasının yetersiz kaldığı şeklinde açıklamışlardır [65]. Ahmad ve diğ. epoksi reçine matris içine farklı yüzey şekillerine sahip partikül silika takviyesi yaparak partikül şeklinin (köşeli, kübik, uzatılmış) kompozitin mekanik özellikleri üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda partikül şekli ne olursa olsun artan takviye miktarı ile birlikte çekme ve eğilme mukavemetinin arttığını aynı zamanda elastisite ve eğilme modüllerinin de arttığını belirtmişlerdir. Takviye edilen partikülün etkisini irdelediklerinde ise matris/partikül temas yüzeyinin artmasına bağlı bir sonuç olarak uzatılmış partiküllerin en iyi mukavemet değerini verdiğini açıklamışlardır [66]. Sheng ve diğ. kütlece %30 oranında Moso bambu ağacı talaşı takviyeli PVC matrisli kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmek üzere bambu ağacı talaşlarını potasyum permanganat ile işleme tutarak ürettikleri kompozitlerin özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde potasyum permanganat modifiyesinin kompozitlerin çekme dayanımını ve elastisite modülünü artırdığını

bununla birlikte kopma uzaması değerin de arttığını tespit etmişlerdir. Termal test sonuçlarına bakıldığında ise kristalinite miktarı ve camsı geçiş sıcaklığının arttığı erime sıcaklığının ise belirgin bir şekilde etkilenmediğini belirtmişlerdir [67]. Zahedi ve diğ. küttelece %50 kanola sapı ve paulvnia takviye edilen PP kompozitlere 3 farklı oranda nano kil katarak mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde nano kil takviyesinin eğilme mukavemeti ve modülünü arttırdığını, darbe dayanımını ise olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Yine yapmış oldukları karşılaştırmada paulvnia bitkisinin kanola sapından daha iyi özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir [68]. Bari ve diğ. atık çay tozları ile PP matrisli kompozit üretmişlerdir. Çalışma sürecinde farklı oranlarda (%10, 20, 30, 40) çay tozu takviyesi yapmışlar, çalışmanın ikinci ayağında ise çay tozlarına silan kaplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Silanlı çay tozlarına grafen oksit modifikasyonu yeni kompozit numuneler üretmişlerdir. Sonuçlar irdelendiğinde, hem yalnız silan kaplanarak üretilen numunelerin hem de grafen modifikasyonu yapılan numunelerin hiçbir işleme tabi tutulmadan takviye edilen çay tozlarında daha iyi sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. En iyi karışım oranını ise silan kaplı çay tozlarının %40 oranında kullanıldığı ve %2 grafen oksit içeren kompozit numunelerde elde etmişlerdir [69]. Kwon ve diğ. bi fenol epoksi polimeri ile iki farklı boyutta (0,24 ve 1,56 μm) silika partiküllerini tek olarak ya da farklı karışım oranlarında karışık şekilde polimer içine sabit hacimsel oranlarda ilave ederek partikül boyutunun mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, malzemenin eğilme modül değeri üzerine partikül karışımı içerisinde yer alan farklı boyutlu partiküllerin oranının bir etkisi olmadığını, ancak eğilme mukavemeti ve kırılma tokluğunun küçük partiküllerin karışım içerisindeki oranı arttıkça arttığını tespit etmişlerdir [70]. Cho ve diğ. vinil ester reçine içine farklı oran ve boyutlu cam küre ve küresel alümina takviyesi etmişlerdir. Partikül boyutu ve oranının malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisini irdelenmiştir. Mikron mertebesinde yapılan partikül takviyesinde partikül oranının partikül boyutuna nazaran malzemenin mekanik özellikleri üzerinde daha etkin olduğunu ve partikül oranı arttıkça elastisite modülünün arttığı sonucuna varmışlardır. Takviye edilen partikül nano boyutlarda olur ise hem partikül oranının hem de partikül boyutunun elastisite modülü üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir. Takviye tane boyutu küçüldükçe elastisite modülünün arttığı sonucuna varmışlardır. Aynı çalışma çerçevesinde %3 ve üzeri takviyelerde nano partikül takviyesi hariç partikül boyutu küçüldükçe ve takviye oranı arttıkça çekme dayanımının da arttığı sonucuna varmışlardır [71]. Kim ve diğ. kömür santrallerinin dip küllerini modifiye ederek ve etmeyerek PP ve PE kompozitler üretmişlerdir. Yaptıkları analizler

neticesinde tehlikeli metal barındırmadığı partikül boyutunun ise partikül oranından daha etkin olduğunu, bununla birlikte partikül oranı arttıkça mekanik özelliklerin olumsuz yönde değiştiğini belirtmişlerdir. Ancak yüzey uyumlaştırıcıların olumlu yönde etki ettiğini belirtmişlerdir. Deneme ürünü olarak ürettikleri park güvenlik ürünlerinin geleneksel ürünler ile eş performans sergilediğini belirterek ürünün endüstriyel kullanılabilir olduğunu kanıtlamışlardır [72]. Sohn ve diğ. yol kenarlarına atık olarak düşen batı çınarı ağacının talaşlarını kullanarak PP matrisli kompozit üretmişler ve ürettikleri numunelere çekme, eğme ve darbe testleri uygulamışlardır. Çalışmanın ikinci ayağında ise talaş tozları sadece alkali kaplama yapılarak ve alkali kaplama sonrası silan kaplama yapılarak kullanılmıştır. Karışım oranını %20, partikül boyutunu da 60 mesh olarak seçmişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda en iyi sonuçları silan kaplı partikül takviyesi ile elde ettiklerini belirtmişler ve batı çınarının PP matris içerisine takviye olarak kullanılabilir bir takviye olduğuna vurgu yapmışlardır [73]. Tian ve diğ. PLA matris içerisine farklı oranlarda (%10, 20, 30, 40, 50) perlit ve aktif kül takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlere uyguladıkları mekanik ve termal testler neticesinde kompozitlerin saf PLA'ya kıyasla daha iyi özellikler sergilediğini, bununla beraber perlitin endüstriyel anlamda kullanılabilir bir takviye malzemesi olduğunu belirtmişlerdir [74]. Das ve diğ. PP matris malzemesi hafif agrega akviye malzemesi olarak kullanarak ürettikleri kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kompozit içerisindeki takviye miktarı arttıkça kompozitin elastisite modülünün artış gösterdiğini, çekme mukavemetinin ise düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir [75]. Hamester ve diğ. PP matris içerisine istiridye ve midye kabuğu takviyesi yaparak kompozit numuneler üretmişlerdir. Üretmiş oldukları kompozit numunelerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettikleri test sonuçlarına göre mekanik ve termal özelliklerin geleneksel CaCO_3 ile hemen hemen aynı sonuçları verdiğini belirterek kullanılabilir olduğunu tespit etmişlerdir [76]. Yan ve diğ. PP matrise midye kabuğu tozunu takviye olarak kullanmışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda midye kabuğundan elde edilen tozun aragonit kristal yapılı CaCO_3 olduğunu tespit etmişlerdir. Üretilen kompozitlerin klasik CaCO_3 ile üretilen kompozitlere kıyasla daha yüksek akma uzaması akma dayanımı çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri sergilediğini belirtmişler ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir olduğuna vurgu yapmışlardır [77].

Malzemelerin tribolojik özellikleri incelenirken bu çalışma çerçevesinde üretilen numunelere uygulanacak çizilme, adhezif aşınma ve erozif aşınma test metodları

olduğu için polimer matrisli kompozitlerin yüzey çizilmesi, adhezif aşınma davranışları ve erozif aşınma davranışları üzerine yapılan çalışmalar taranmış ve irdelenmiştir. Farahani ve diğ. gümüş nano partikül takviye ederek polimer kaplaması yapmışlar ve yaptıkları kaplamanın çizilme özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sırasında çizilme test metodunu kullanmışlar çizici ucun batma derinliği ile kalıntı penetrasyon derinliğine bakmışlardır. Çalışma sonunda ise artan küreme sıcaklığı ile birlikte çizilme direncinin artış gösterdiğini tespit etmişlerdir [78]. Sobhani ve diğ. PP matris içerisine kalsit takviyesi yaparak üretmiş oldukları kompozit numunelerin çizilme davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda artan kalsit miktarı ile birlikte numunelerin çizilme dayanımının artış gösterdiğini, bu durumda Shore D sertlik test sonuçları ile desteklendiğini belirtmişlerdir. Bu durumda kalsitin daha rijit bir yapıya sahip olmasına bağlı olarak açıklamışlardır. Çalışmanın devamında çizilme yüzeylerinin yüzey kalitesini iyileştirme amacı ile kompozit içerisine HDPE ve slakson takviyesi gerçekleştirmişler ve yaptıkları SEM incelemeleri ile birlikte çizilme yüzey karakterlerinin bekledikleri gibi daha düzgün olduğunu belirtmişlerdir [79]. Xiang ve diğ. yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu PP'ye talk takviyesi yaparak talkın çizilme direncine etkisini incelemişlerdir. Ancak yaptıkları test sonuçları göstermiş ki, talk takviye edilmiş kompozitlerde meydana gelen çizilme izleri saf PP'ye kıyasla daha derin ve görünür bir şekilde oluşmuştur. Çalışmanın devamında bu durumu iyileştirmek amacı ile yağlayıcı ve çekirdeklenme ajanı ilavesi yaparak yeni kompozitler üretmişlerdir. Yağlayıcı ve çekirdeklenme ajanı ilavesi ile üretilen kompozitlerin çizilme direncinin olumlu yönde iyileştiğini tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları SEM görüntülemeleri ile birlikte talk takviyeli numunelerde çizilme yüzeylerinin daha pürüzlü ve oyuklu yapıya sahip olduğunu yani talk takviye edilen numunelerde çok belirgin bir şekilde kırık ve çatlak hasarlarının meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Bu durumun yağlayıcı ve çekirdeklenme ajanı takviyesi ile azaldığını vurgulamışlardır [80]. Mudalilar ve diğ. PE matris içerisine kil takviye ederek çizilme karakteristiğini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar neticesinde ise kil takviyesi ile birlikte yüzeyde meydana gelen deformasyon miktarının, yüzeyde meydana gelen çatlakların ve çizilme izi genişliğinin düşüş gösterdiğini açıklamışlardır. Bununla birlikte çizilen izlerin yüzeylerinin kalitesinin artış gösterdiğini tespit etmişlerdir [81]. Chu PP'ye talk ve kalsiyum silikat katarak farklı iki takviye ile PP matrisli kompozitlerin çizilme davranışları üzerine gerçekleştirdiği çalışma sonucunda, talk takviyesinin olumsuz etki yaparak çizilme direncini düşürdüğünü belirtmiştir. Ancak kalsiyum silikat takviyesinin yağlayıcı ve arayüzey iyileştirici ile uyumlu çalışarak çizilme direncini

olumlu yönde geliştirdiğini belirtmiştir [82]. Dasari ve diğ. etilen-polipropilen kopolimer matrise kalsiyum silikat takviyesi yaparak üretmiş oldukları kompozit numunelere ait çizilme davranışını incelemişlerdir. Çalışma sırasında normal yük olarak 7N yük kullanmışlar ve çizilme hızını da 2 mm/s olarak gerçekteştirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler neticesinde ve kalsiyum silikat takviyesinin çizilme direnci üzerine olumlu etki ettiğini saptamışlardır. Çalışmanın ikinci ayağında ise bağlayıcı kullanarak bunun takviyenin çizilme direnci üzerine etkisini irdelemişlerdir. Bunun neticesinde bağlayıcı kullanımı ve takviye yüzeyinin kaplanması neticesinde çizilme direncinin daha da arttığını tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonunda ise en iyi çizilme direncini hem kaplanmış hem de uyumlaştırıcı ilave edilen kalsiyum silikat takviyeli kompozit numunelerin sergilediğini belirtmişlerdir [83]. Li ve diğ. jelatin filmlere nano boyutta Al_2O_3 takviye ederek üretmiş oldukları kompozit numunelere ait çizilme davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışma çerçevesinde %10 ile %50 arasında farklı oranlarda takviye ederek ürettikleri kompozitlerin çizildikten sonra oluşan izlerin genişlik ve derinliğini hesaplamışlamışlar, yüzey morfolojisine bakarak çizilme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma neticesinde artan takviye ile birlikte çizilme izine ait iz derinliği, iz içerisinde meydana gelen yırtılmalar ve yüzeyde meydana gelen deformasyonlar düşüş sergilerken boyutsal kararlılığın arttığı sonucuna varmışlardır. Sonuç olarak nano alümina partiküllerin çizilme direncini olumlu yönde etkidiğini belirtmişlerdir [84]. Haung ve diğ. PE matrise grafen oksit takviye etmişler ve bununla birlikte numuneleri radyasyon ve hızlı yaşlandırma işlemlerine tabi tutmuşlardır. Çalışmanın devamında test numunelerine çizilme testi yapmışlar ve numunelerin yüzeyinde meydana gelen çizilme izlerine ait derinlik ölçümü yaparak çizilme dirençlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda grafen oksit takviyeli numunelerin her koşulda saf PE'ye kıyasla daha yüksek çizilme direnci sergilediğini, ayrıca radyasyona tabi olan numunelerin çizilme direncinin iyileştiğini belirtmişlerdir. Ancak hızlı yaşlandırmaya maruz kalan numunelerin çizilme direncinin düşüş sergilediğini belirtmişlerdir [85]. Sepet ve diğ. yüksek yoğunluklu polietilenin çizilme direncini artırmak üzere nano boyutlu kil takviye edilmiş kompozitler üretmişler ve üretilen numunelere çizilme testi uygulamışlardır. Çizilen yüzeyleri SEM ile inceleyerek iz alanlarının morfolojisini incelemişlerdir. Yaptıkları inceleme neticesinde saf numunelerde tut-bırak (Stick-slip) kırışıklık izlerini tespit etmişlerdir. Ayrıca iz içerişinde yırtılma ve parçalanmış alanları fark etmişlerdir. Bu durumun artan takviye ile azaldığını tespit etmişlerdir. Çizilme sırasında plastik akışının azaldığını yani takviye tanelerinin polimer zincir hareketlerini kısıtladığını belirtmişlerdir. Bunun da matris ile takviyenin iyi bir arayüzey tutunmasının

göstergesi olarak açıklamışlardır [86]. Xing ve diğ. mikron altı boyutta silika takviyesinin epoksi reçinenin aşınma direnci üzerine çalışmışlardır. Çalışma çerçevesinde 120 ve 510 nm boyutlu partiküller kullanılarak üretilen kompozitleri pin on disk metodu ile aşınma testine tabi tutmuşlardır. Aşınan yüzeylerin değerlendirmesini ise SEM incelemeleri ile gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları değerlendirmede düşük oranlarda ve küçük boyutlu takviyelerin aşınma direnci üzerine daha efektif sonuçlar ve olumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bütün kompozitlerin aşınma direncinin saf epoksiye kıyasla daha iyi olduğunu artan yük ile birlikte aşınma miktarının da arttığını tespit etmişlerdir. Çalışmanın detaylarında ise büyük boyutlu partikül takviyesinde tane sınırlarında çatlaklar meydana geldiğini devamında çatlak sonucu malzeme yüzeyinden kopan talaşların abrazif aşındırıcı gibi davrandığını açıklamışlardır. Kompozitlerin saf epoksiden daha iyi direnç göstermesini takviyenin çatlak ilerlemesini engellediği yönünde belirtmişlerdir. Tane boyutu etkisine gelindiğinde ise küçük tanelerin arayüzey tutunmasının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Artan takviye ile aşınma direncinin düşüşünü ise aglomerasyon ile açıklamışlardır [87]. Ray yaptığı çalışmada vinil ester matrise %40-50 oranlarında uçan kül takviye ederek aşınma direnci üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmayı pin on disk testi ile gerçekleştirmiş ve test edilen numunelerde meydana gelen kütle kaybını ölçerek numunelerin aşınma miktarlarını kıyaslamıştır. Çalışma sonucunda artan mesafe ile birlikte numuneleri aşınma direncinin azaldığını ayrıca artan yük ile birlikte kompozit numunelerde saf polimerin aksine sürtünme katsayısının arttığını ancak aşınma dirençlerinin kompozit numunelerde saf polimere nazaran yüksek olduğunu tespit etmiştir. Kompozit numunelerin saftan daha iyi sonuç vermesi durumunu saf polimerin gelen enerjinin tamamına maruz kalması, kompozit numunelerde ise gelen enerjiyi partikül takviyesinin bölüşmesi şeklinde açıklamıştır. Çalışma sonucunda %40 takviyeli kompozitlerin %50 takviyeli numunelerden daha iyi aşınma direnci sergilediğini bu durumun oluşmasını da %50 takviye oranında daha güçlü arayüzey tutunması elde edildiğini ve üzerine gelen enerji ile birlikte yerinden kopan partikülün yanında matrinden de parça alıp götürdüğü şeklinde açıklamıştır. Açıklamanın devamında ise gevrek malzemelerde zayıf arayüzey tutunması sayesinde daha iyi enerji absorbe edilebildiği ve absorbe etme modlarının oluştuğunu belirtmiştir [88]. Hanumantharaya ve diğ. cam fiber takviyeli epoksi kompozite uçan kül ile partikül grafit takviyesi yaparak takviyelerin malzemenin kuru sürtünme davranışını incelemişlerdir. Çalışma sonunda partikül takviyesi ile kompozit numunelere ait aşınma direncinin artış sergilediğini aynı zamanda artan mesafe ile spesifik aşınma

oranı değerlerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu durumun da artan mesafe ile birlikte numunelerin aşınma ivmesinin düşüş sergilediği şeklinde açıklamışlardır [89]. Gupta ve diğ. Ti_3SiC_2 partikül takviyeli ultra yüksek yoğunluklu polietilen matrisli kompozitler üreterek aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma testlerinde pin on disk metodunu kullanmışlar ve aşındırıcı olarak alümina seramik ve aşınan malzeme ile eş malzeme kullanmışlardır. Deney sonucunda takviye ile birlikte numunelerde sertlik değerinin artış sergilediğini aşınma testinde ise alümina aşındırıcı kullanılan testlerde sürtünme katsayısının sabit kaldığını belirtmişlerdir. Artan takviye ile birlikte aşınma oranı değerinin arttığını belirtmişlerdir. Eş malzeme ile gerçekleştirdikleri testlerde ise artan takviye ile birlikte sürtünme katsayısının düştüğünü, aşınma oranının da azaldığını tespit etmişlerdir. Deney sonrası yaptıkları SEM incelemeleri neticesinde %20 ve üzeri takviye oranlarında partiküllerin esasında yaş kütle içerisinde iyi dağıldığını ancak sıcak preslemeden sonra faz sınırlarının ayrıştığını belirtmişlerdir. Bunun neticesinde de matristen ayrılan partiküllerin abrasif aşındırıcı gibi davrandıkları şeklinde açıklama getirmişlerdir [90]. Kumar ve diğ. polyester matris içerisine hardal bitkisi atığı ile çam ağacı lifi takviyeli kompozitler üretmişler, devamında bu kompozitlere %20, 30 ve 40 oranlarında sisal takviye ederek hibrit kompozitler olacak şekilde 9 farklı numune üretmişlerdir. Üretmiş oldukları numunelerin mekanik özellikleri ile aşınma dirençleri üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda hibrit kompozitlerin yalnızca ağaç lifli olan kompozitlerden daha iyi sonuçlar verdiğini, hibrit kompozitlerin kendi içerisinde mukayesesini yaptıklarında ise sisal katkısının çam ağacı ile birlikte takviyesinin hardal atıkları ile birlikte kullanımına nazaran daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Aşınma test sonuçlarını daha detaylı incelediklerinde hızın belirgin bir etkisi olmadığını her test hızında malzemelerin benzer trendde davrandığını ve her bir malzeme kombinasyonu için artan takviye ile birlikte aşınma direncinin de arttığını belirtmişlerdir. Bu durumu matris takviye arayüz tutunmasının kuvvetli oluşu ve partiküllerin aşındırıcı uca karşı bariyer görevi görmesi şeklinde açıklamışlardır [91]. Samat ve diğ. alüminyum döküm sonucu ortaya çıkan cüruf atıkların değerlendirilmesi amacı ile PP matrise takviye etmişlerdir. Çalışma sürecinde %10-40 oranlarında alüminyum partikül takviyesi gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri pin on disk tipi deney cihazında 25N yük altında dönme yarıçapı 7 cm olarak 87 rpm dönme hızında gerçekleştirmişler. Deneysel çalışma sonucunda bütün kompozit numunelerin saf PP'ye nazaran daha iyi aşınma direnci sergilediğini bu durumu da takviye malzemesinin aşındırıcı pimin yüzeyden malzeme kaldırmasına engel olması şeklinde açıklamışlardır. Devamında yapmış oldukları SEM incelemeleri ile

de yüzeylerde saplı olarak görüntüledikleri partiküller ile de ispatlamışlardır. Çalışma sonucunda cüruf haldeki alüminyum atıklarının takviye olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [92]. Abenojar ve diğ. PP matrise silikon karpid ve cam fiber takviyesi yaparak aşınma direnci üzerine çalışma gerçekleştirmişler. Aşınma testlerini Pin on disk metodu ile gerçekleştirip kütle kaybı ölçümü ve hacim ölçümünü esas alacak şekilde iki farklı metod ile aşınma miktarını değerlendirmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda, kütle değişimi esaslı yaptıkları ölçümler sonucu tek başına silikon karpid takviyeli kompozitlerin saf PP'den daha fazla aşındığını ancak cam fiber takviye edilmiş hibrit kompozitlerin saf PP'den daha iyi aşınma direnci sergilediğini belirtmişlerdir. Bunların yanı sıra hacim esaslı gerçekleştirdikleri ölçümler neticesinde ise her iki kompozitin de saf PP'den daha kötü aşınma direnci sergilediğini tespit etmişlerdir. Çalışmayı daha derinleştirdiklerinde ise optik profilometre ölçümleri neticesinde izlerin yüzey genişlikleri aynı olsa dahi izlerin dip genişliklerinin farklılık gösterdiğini ve cam fiber takviyeli kompozitlerin dip genişliğinin daha dar olduğunu ve daha az aşınmış olduklarını tespit etmişlerdir [93]. Österle ve diğ. karbon fiber ve silika takviyesinin epoksi matrise takviyesi ile sürtünme katsayısı ile aşınma miktarı değerlerinin ne şekilde etkilendiğini incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda hibrit olarak üretilen numunelerin sürtünme katsayısı ile sürtünme miktarının düşüş gösterdiğini açıklamışlardır. Sonuçlar saf epoksiye göre düşüş göstermiştir. Silicanın tampon görevi görerek karbon fiberlerin kırılmasını ve matris içerisinden çıkmasını önlediğini belirtmişlerdir [94]. Shanmugam ve diğ. palmye yaprak saplarının fiber olarak polyeester matris içerisine takviye edilmesi üzerine çalışmışlar ve üretilen numunelerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Fiberlerin matris içerisine katılmadan önce alkali ile işleme tabi tutulması, fiber boyutunun etkisi ile normal yük ile hızın aşınma davranışı üzerine etkisini irdelenmiştir. Sonuç olarak aşınma miktarının ve sürtünme katsayısının düşüş sergilediğini, alkali ile işleme tutulan fiber takviyesinin ise daha da başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Hız ve yük etkisini incelediklerinde artan hız ve yük ile birlikte aşınma miktarının da sürtünme katsayısının da arttığını tespit etmişlerdir [95]. Thakur ve diğ. farklı boy ve oranlarda vinil ester matris içerisine agrega takviye ederek kompozit numuneler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozit numunelerin aşınma davranışını irdelenmek amacı ile farklı hız, mesafe ve yük parametrelerinde pin on disk testi gerçekleştirmişlerdir. Mekanik özellikler ile ilişkilendirmek amacı ile de mekanik testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları testler neticesinde agrega takviyesinin mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Aşınma davranışını incelerken, spesifik aşınma oranı

değerinin artan mesafe ile azaldığını “denge durumu” bölgesinde çok az değişim meydana geldiğini belirtmişlerdir. Spesifik aşınma oranı değerini aşağıda yer alan 1.1 numaralı formül ile hesaplamışlardır.

$$K_s = \frac{\Delta_m}{\rho L F_n} \quad (1.1)$$

Burada; Δ_m kütle kaybını, ρ numunenin yoğunluğunu, L aşınma test mesafesini, F_n normal yükü ifade etmektedir. Yaptıkları test ve hesaplamalar neticesinde nano boyutlu partikül takviyesinin mikron boyutlu partiküllere kıyas ile hem mekanik hem de aşınma özelliklerini daha efektif iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Partikül boyutunun küçülmesi malzemenin eğilme ve basma mukavemetini lineer yönde etkilemiştir. Aşınma test sonuçlarına gelince; maksimum aşınma oranının minimum yük maksimum hız parametresinde gerçekleşirken, minimum aşınma oranının maksimum yük ve minimum hız parametresinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Mesafe etkisine baktıklarında ise 15000 m ile 25000 m arasını denge durumu bölgesi olarak tespit etmişlerdir [96]. Pei ve diğ. epoksi reçineye silika ve PTFE yağlayıcı takviyesinin sürtünme ve aşınma özelliklerini ne şekilde etkidiğini incelemişlerdir. Bu süreçte normal yük olarak 60N ve mesafe olarak 20000 metre aşınma gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak yağlayıcının az olduğu durumlarda yıpranmış ve aşınmış yüzeylere hatta aşındırıcı bilyanın dahi aşındığına şahit olmuşlardır. Yağlayıcının fazla olması durumunda ise aglomere oluşumunu ve bununla birlikte mekanik özelliklerde düşüş meydana geldiğini görmüşlerdir. Optimum oranda katılması durumunda hem katılabilen silika miktarının artış gösterdiğini hem de takviye malzemesinin kompozite gelen yükü paylaşabilir olduğunu açıklamışlardır [97]. Wang ve diğ. kısa karbon fiber, silika ve grafit takviyeli poliimid kompozit numuneler hazırlayarak ring on test metodu ile aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar neticesinde kısa fiber ile grafitin tek kullanımları aşınma direncini artırırken silika kullanımının olumsuz etki yaptığını açıklamışlardır. Son olarak takviyenin hibrit şekilde yapılmasının en efektif sonucu verdiğini belirtmişlerdir. Hibrit kompozitlerden kısa fiber silika poliimid kombinasyonunun olumsuz sonuç verdiğini, bu durumu silika partiküllerinin kısa fiberler üzerinde abrazif aşınma meydana getirmesi yönünde açıklamışlardır. En efektif sonucu ise üç takviye malzemesinin bir arada kullanıldığı kompozit kombinasyonunda elde etmişlerdir [98]. Srinivas ve diğ. epoksi reçineye grafit, silisyum karbür ve grafit-silisyum karbür takviye edilmiş kompozit numuneler üretmişlerdir. Yaptıkları testler neticesinde en iyi sonucu sinerjik etki sebebi ile hibrit

numunelerde elde etmekle birlikte ürettikleri her bir kompozitin aşınma direncinin saf epoksiden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [99]. Dastoor ve diğ. vinil ester reçine içine cam fiber ve UHMWPE takviyesi yapmışlardır ve ürettikleri numuneleri iki farklı çeşit abrazif ile aşındırmışlardır. Çalışma sonunda UHMWPE aşınma direncini artırırken cam fiberlerin aşınma mekanizmasının karmaşık olduğunu açıklamışlardır. Aşındırıcı olarak kömür kullanıldığında aşınma direncini artırırken ignimbrite ile aşındırıldığında aşınma direncini olumsuz yönde etkidiğini belirterek aşınma mekanizmasının takviye malzemesi ile aşındırıcı malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir [100]. Schwartz ve diğ. Ag_2S , CuS , ZnF_2 , SnS takviye ederek PPS matrisli kompozit numuneler üretmişler ve üretmiş oldukları kompozitlere pin on disk metodu ile aşınma testi yapmışlardır. Burada Ag_2S , ile CuS takviye edilen numuneler plastik deforme olabilirken ZnF_2 , SnS takviye edilenler olamamaktadır. Aşınma izlerinin SEM incelemesi sonucunda ise Ag_2S , CuS takviyeli numunelerin aşınma izlerinin düzgün ve ince çatlakların varlığını görmüşler ve aşınma oranı değerlerinin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Diğer çok pürüzlü ve derin çatlakların bulunduğu aşınma izleri ile yüksek aşınma oranı değerlerine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Aşınma test sonuçlarını yapmış oldukları eğilme test sonuçları da desteklemiş ve Ag_2S , CuS partiküllerinin matrise daha iyi tutunduğu yorumunu yapmışlardır. Ayrıca bu kompozit numunelerin aşınma olayının denge durumu moda girene kadar olduğu devamında aşınmanın yok denecek kadar azaldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda takviye edilen partikülün aşınma direncini artırıcı yönde de azaltıcı yönde de etki edebileceğini bu konuda da takviye edilen partikülün deforme olabileme yeteneğinin belirleyici olduğunu belirtmişlerdir [101]. Sobhani ve diğ. volastanit (kalsit) takviyesinin PP'nin çizilme davranışı üzerine etkisini incelemişler ve yaptıkları çalışmalar neticesinde volastanitin sert ve rijit yapısı sebebi ile çizilme direncini olumlu yönde etkidiğini belirtmişlerdir. Volastanit ile birlikte yüksek yoğunluklu PE ve siloksan ilavesi de yapmışlardır. Bu ilavelerde siloksanın sürtünme katsayısına düşürücü yönde etki yaptığını, yüzeyin hasar görmesini engellediğini, siloksan ile birlikte PE takviyesinin ise çok belirgin iyileşme sağladığını tespit etmişlerdir [102]. Yanjiang ve diğ. farklı ortam koşulları altında rijit cam takviyeli poliimid kompozitler üreterek tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Tribolojik özellikleri desteklemek amacı ile mekanik özelliklerini de incelemişler, cam takviyesi ile birlikte tokluk değerinin düşüş sergilediğini ancak aşınma direncinin arttığını tespit etmişlerdir. Sulu ve yağlı ortamlarda gerçekleştirilen testlerde ise yüzeyde ve iç yapıda yer alan çatlak ve kusurların ön plana çıktığını belirtmişlerdir. Matris ile cam küreler arasına sızan sıvı

matris, takviye arası bağı zayıflatarak cam tanelerinin abrazif aşındırıcı gibi davranmasına sebebiyet vermektedir. Ancak cam fiber takviyesinde bu şekilde bir olumsuzluk ortaya çıkmadığı şeklinde açıklamışlardır [103]. Zhou ve diğ. poliüretan matris içerisine farklı oranlarda alümina takviyesi yapmışlar ve bu kompozitin mekanik özellikleri ile erozif aşınma davranışları üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma sırasında farklı silan bağlayıcılar kullanarak alümina partikülleri ile poliüretan matrisin etkileşimini artırmayı planlamışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda alümina takviyesinin sertliği artırıcı yönde kopma uzaması ve kopma mukavemeti üzerine olumsuz yönde etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Kullanmış oldukları silan bağlayıcıların etkisine baktıklarında A-1100 kodlu bağlayıcının A-187 kodlu bağlayıcıdan daha iyi mekanik özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir. Erozyon direncine gelince, belli bir takviye oranına kadar olumlu yönde etkilendiğini, ancak eşik değerin üzerine çıkınca olumlu etkinin yerini erozyon miktarını artırıcı yönde etkiye bıraktığını belirtmişlerdir. Yine erozif aşınma sonuçlarına bakıldığında, A-1100 silan bağlayıcısının A-187 silan bağlayıcısından daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Mekanik özelliklerde meydana gelen kötüleşmeyi, polimer ve takviye arası bağların zayıf kalmasına ve bu sebeple matrisin üzerine gelen yükü takviyeye aktaramaması şeklinde yorumlarken, alümina partiküllerinin köşeli yapısı sebebi ile matris üzerinde gerilme yığılmasına sebebiyet vermesi şeklinde yorumlamışlardır [104]. Rattan ve diğ. %40 oranında karbon fiber takviyeli polieterimid matrisli kompozitlerin erozif aşınma davranışını incelemişler, aşındırıcı olarak da silika partiküllerini kullanmışlardır. Erozyon testi sonucunda, kompozit numunelerin her partikül çarpma açısı içinde saf polimere kıyasla daha kötü erozyon direnci sergilediğini belirtmişlerdir. Deneyde kullanılan saf polimerde üretilen kompozitlerde sünek malzemeler olmamalarına rağmen düşük açılarda daha fazla aşınarak sünek aşınma davranışı sergilediğini gözlemlemişlerdir. Sünek aşınma karakteri olarak da fiber-matris ayrışması fiberlerde kırılma, mikro kesme ve yüzeylerde ufalanma izlerini gözlemlemişlerdir [105]. Dundar ve diğ. Cu₃₀Zn ile titanyum malzemelerin erozif aşınma karakterlerini incelemek amacı ile alümina aşındırıcı ile 3 farklı boyutlu aşındırıcı ve tek püskürtme hızı ile erozif aşınma testleri gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda aşındırıcı taneleri sivri kenarlı ve yuvarlatılmış kenarlı olacak şekilde de kendi içlerinde kategorize etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde tane boyutunun etkisini irdelediklerinde keskin kenarlı tanelerin aşınma tipi ve derecesi üzerine belirgin bir etkisi olmadığını, ancak yuvarlak kenarlı tanelerin aşınma karakterinde taneler küçüldükçe plastik deformasyon miktarının da azaldığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte keskin kenarlı taneciklerin yüzeyde

kesme ve pulluk izi bıraktığını, yuvarlatılmış kenarlı taneciklerin ise krater vari ve daha silik izler bıraktığını ayrıca düşük açılarda malzeme yüzeyinde çentik oluşturacak enerjiye sahip olmadıklarını belirtmişlerdir [106]. Antil ve diğ. cam fiber takviyeli epoksi kompozitlere 3 farklı boyutta silikon karpid ilavesi yaparak yeni hibrit kompozitlerin erozif aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Erozif aşınma testlerini üç farklı partikül çarpma açısında ve nehir kumu, kumsal kumu ve çöl kumu olmak üzere 3 farklı aşındırıcı kum ile gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda numunelerde meydana gelen aşınma miktarının en çok 60° partikül çarpma açısında gerçekleştiğini ve bunun yarı sünek aşınma karakteri olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Çalışmanın devamında takviye boyutu azaldıkça erozyon direncinin arttığını, bu durumda artan tane boyutu ile birlikte partikül matris arası arayüzey tutunmasının azalması şeklinde değerlendirmişlerdir. Aşındırıcı türünün etkisine baktıklarında ise keskin kenarlı aşındırıcıların daha fazla miktarda aşınmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir [107]. Çoban ve diğ. volkanik kül takviyesine silan kaplama yaparak PPS matrise katmışlar ve üretmiş oldukları kompozitlerin erozif aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucu ilk deneysel veriler göstermiş ki hem saf PPS hem de kompozit numuneler maksimum aşınmaya 30° partikül çarpma açısında maruz kalmışlar ve sünek aşınma karakteri sergilemişlerdir. Çalışmanın devamında silan kaplanan numunelerin silan kaplanmayanlara kıyasla daha çok aşındığını ancak bu durumun matris takviye arayüzeyinin çok iyi tutunması sebebi ile meydana geldiğini yerinden çıkan partiküllerin giderken üzerlerine yapışan matrisi de götürdüğü şeklinde açıklamışlardır. Çalışmanın devamında ise silan kapladıkları numunelere ısıtma işlem uyguladıklarında ise bu numunelerin hiç ısıtma işlem görmeyen numunelere kıyasla yarı yarıya daha az aşındığını tespit etmişler, yüzey pürüzlülüğü değerinin ise ısıtma işlem uygulanmamış silan kaplı volkanik kül takviyeli kompozitler ile aynı olduğunu belirtmişlerdir [108]. Bağcı ve diğ. cam fiber takviyeli borik asit katılmış epoksi reçine kompozitlerin erozif aşınma davranışlarını irdemişler ve bu çalışmada aşındırıcı olarak iki farklı boyuta sahip alüminyum oksit (Al_2O_3) partikülleri kullanmışlardır. Çalışma çerçevesinde partikül çarpma açısı ile hızının etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde, partikül çarpma açısının erozyon oranına etkidiğini ve kompozit malzemelerin yarı sünek aşınma karakteristiği sergileyerek 30° çarpma açısında en yüksek erozyon oranının meydana geldiğini belirtmişlerdir. Partikül boyutu ile partikül çarpma hızının etkisini irdeledikleri zaman her ikisinin de etkili olduğunu, artan partikül boyutu ve partikül çarpma ile 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, yoğunluğunu, mukavemet ve modül azaltıcı yönde etki yaparken, erozyon oranını ise arttırıcı yönde etki yaptığını belirtmişlerdir [109]. Huang ve diğ. partikül takviyesinin erozyon dayanımı üzerine etkisini irdelemek amacı ile silikon matrise silisyum karbür (SiC) ve Al_2O_3 takviye etmişler ve erozif davranışını irdelemişlerdir. Yaptıkları çalışma neticesinde her iki takviye çeşidinin de erozif aşınma dayanımını arttırdığını; ancak SiC'nin Al_2O_3 'e göre daha iyi dayanım sağladığını tespit etmişlerdir. Bu durumu da takviye partiküllerinin aşındırıcı partiküllerin matris malzemesi içine nüfuz ederek aşındırmasını engellediğı bununla birlikte takviye edilen partiküllerin mikro çatlakların ilerlemesini engellediğı şeklinde yorumlamışlardır. SiC'nin Al_2O_3 'e göre daha iyi dayanım sergilemesini ise SiC'nin daha iyi arayüzey mukavemeti oluşturmaları 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 [110]. Karslı ve diğ. erozif aşınma davranışını irdelemek amacı Poliamid6 (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 gözlemlemişlerdir [111]. 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 karakteristiğı sergileyerek 30° ve 60° partikül çarpma açılarında maksimum erozyonun meydana geldiğini tespit etmişlerdir [112]. Das ve diğ. Alüminyum matrise SiC takviyesi yapmış ve çamur erozyonu davranışını incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda aşındırıcı solüsyon içerisindeki aşındırıcı kum konsantrasyonu ve partiküllerin numuneye çarpma açısı arttıkça meydana gelen erozyon oranının arttığını tespit etmiş ve belirtmişlerdir [113]. 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 kullanmıştır. Yaptığı çalışmalar neticesinde üretilen numunelerin yarı sünek aşınma davranışı sergileyerek 60° partikül çarpma açısında maksimum erozyon oranı meydana geldiğini tespit etmiştir. Un takviyesi kompozit malzemenin sertlik, mukavemet ve yoğunluk değerlerini düşürücü yönde etki yaparken erozyon direncini artırmıştır [114]. Das ve diğ. Al-SiC kompozit malzemesinin erozif aşınma davranışını

incelemek amacı ile deneyler yapmışlar ve bu deneyler sırasında farklı dönme hızlarında ve çarpma açılarında çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneyler neticesinde 900 d/dk ile dönen numunelerin 600 d/dk ile dönen numunelere oranla 5-10 kat daha fazla aşındığını, partiküllerin 90° ile çarpacağı şekilde yerleştirilen numunelerin 0° ile çarptıkları numunelerden 4 kat daha fazla aşındığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere numuneler gevrek aşınma karakteri sergilemişlerdir [115]. Tian ve diğ. sünek aşınma karakteri çizen alüminyum metalinin erozif aşınma davranışını incelemek amacı ile farklı süre ve çarpma açılarında Al_2O_3 aşındırıcı kullanarak alüminyum numuneleri aşındırmışlardır. Deneyler neticesinde partiküllerin numune üzerine püskürtülme süresi arttıkça aşınma izlerinin daha derin ve belirgin bir hal aldığını ancak aşınma izi alanının çık değişmediğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte düşük çarpma açılarında daha sık ve uzun aşınma izleri oluşurken, büyük çarpma açılarında daha yuvarlak ve derin kraterler gözlenmiştir [116]. 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 aşındırmışlardır. 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 belirtmişlerdir [117]. 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 bırakmışlardır. 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 da arttıkça erozyon oranının arttığını tespit etmişlerdir. 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 [118].

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Tez çalışmasında termoplastik polimer malzeme olarak kullanılan matrislerden birincisi Ticona firmasından temin edilen Fortron 1200L1 firma kodlu granül haldeki poli(fenilen sülfid)'dir. 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 Gerinmesi	3,4 (%)	ISO 527
Eğme Dayanımı	141 (MPa)	ISO 178
Eğme Modülü	4000 (MPa)	ISO 178

Kullanılan diğer bir matris malzemesi ise lyondellbasell firmasından temin edilen Moplen HP500 ticari isme sahip granül haldeki poliropilendir. Tez çalışmasında kullanılmış olan PP' ye ait bazı özellikler Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2. Lyondellbasell Moplen HP500 kodlu granül haldeki PP malzemesinin özellikleri

Özellik	Değeri (Birimi)	Test Standardı
Yoğunluk	0,9 (gr/cm ³)	ISO 1183
Akma Dayanımı	35 (MPa)	ISO 527
Akma Gerinmesi	10 (%)	ISO 527
Elastisite Modülü	1550 (MPa)	ISO 527
Eğme Modülü	1480 (MPa)	ISO 178

Takviye malzemesi olarak PPS matris içerisine inorganik esaslı olivin, patlatılmış perlit ve öğütülmüş midye kabuğu kullanılmıştır. PP matris içerisine ceviz, fındık ve fıstık yemişlerinin kabukları öğütülerek ilave edilmiştir. Çalışma içerisinde yer alan takviye malzemelerinin bütünü boyut olarak 100 µm altı olarak tercih edilmiştir. Takviye malzemelerine ait boyut dağılımı Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te verilmiştir. Kompozit üretiminde kullanılan perlit tozları Taşper Perlit San. ve Tic. Ltd Şti firmasından tedarik edilmiştir. Perlit partikülüne ait fiziksel özellikler Tablo 2.3' te verilmiştir. Kompozit üretiminde kullanılan bir diğer takviye malzemesi olivin Erkrom Madencilik A.Ş'den tedarik edilmiş olup özellikleri Tablo 2.4'te verilmiştir. Takviye olarak kullanılan midye kabuğun atıkları Varollar Gıda San. A.

Ş.'nin deniz kabuklu üretimi sonucu açığa çıkan midye kabuğu atıklarından temin edilmiştir. Fındık, fıstık ve ceviz kuruyemişlerine ait kabuklarda Halkalı Kuruyemiş&Kurukahve firmasından temin edilmiştir.

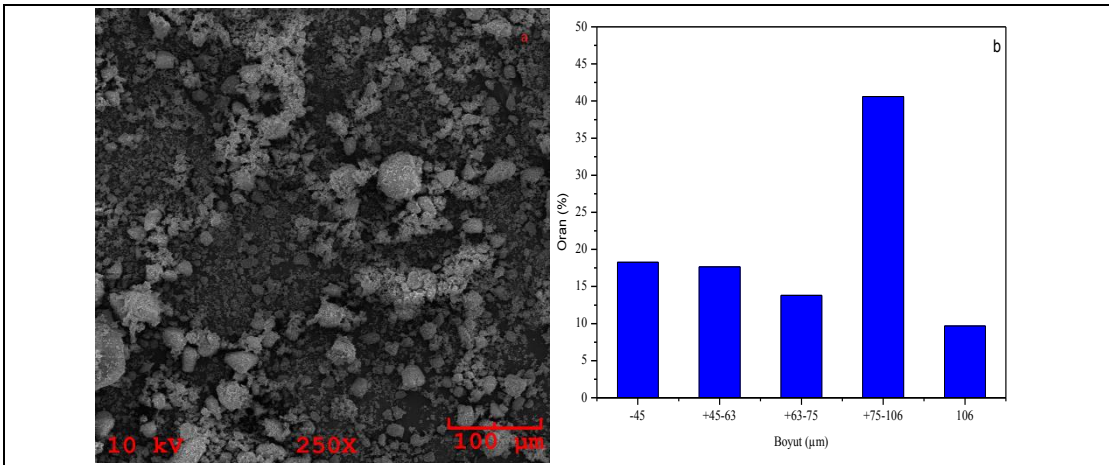
Tablo 2.3. Perlit tozunun fiziksel özellikleri

Perlit Partikülünün Özellikleri	
Dökme Yoğunluk	0,7-1 g/cm ³
Erime Noktası	1280-1380°C
Ph değeri	6
Partikül boyutu	<100µm
Yoğunluk	2,2-2,4 g/cm ³

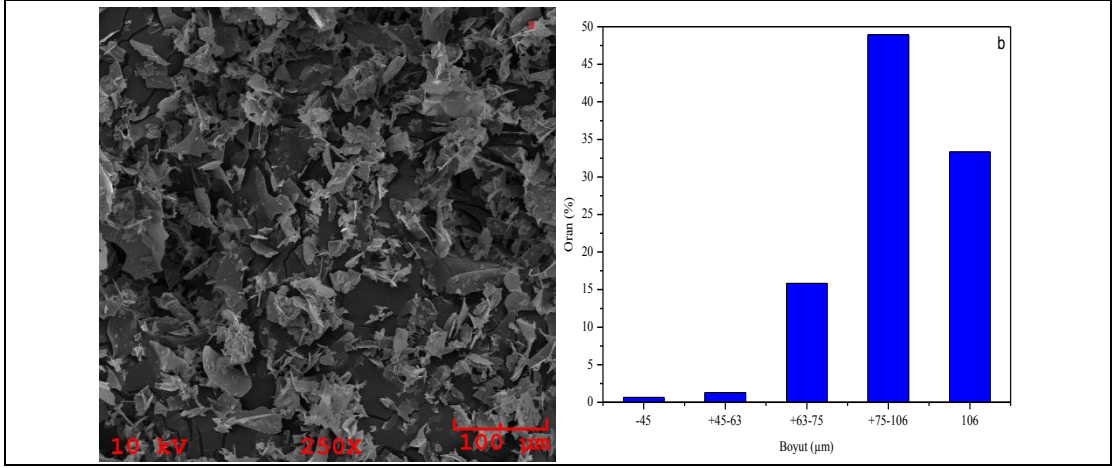
Tablo 2.4. Olivin tozunun fiziksel özellikleri

Olivin Partikülünün Özellikleri	
Yoğunluk	3,3 g/cm ³
Erime Noktası	1780-1800°C
Ph değeri	8,9-9,5
Partikül boyutu	<100µm
Sertlik	6,5-7 Mohs

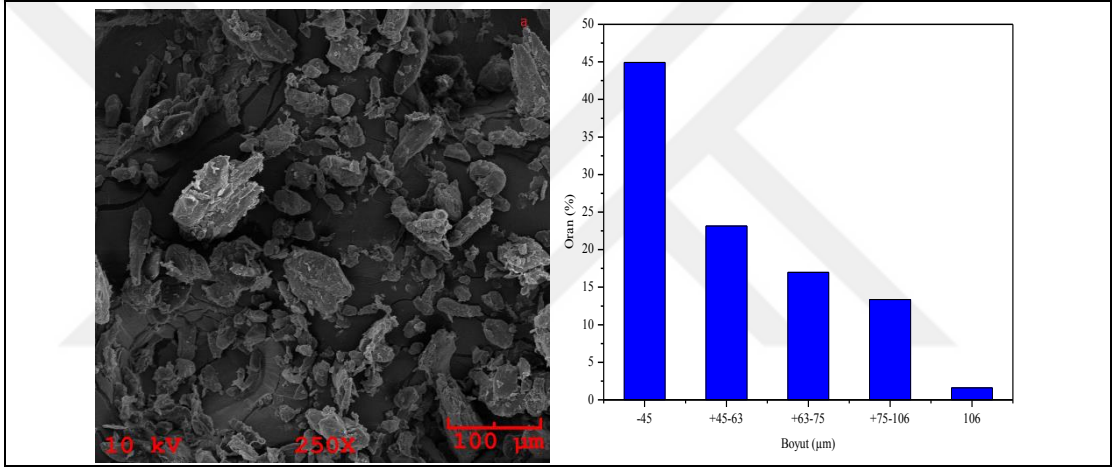
Takviye olarak kullanılan partiküllerin boyut dağılımlarını belirlemek amacı ile elek analizi metodu kullanılmıştır. Analiz için partiküllerden yüzer gram alınarak sıralı elek düzeneğine yerleştirilmiştir. Cihaz yarım saat boyunca çalıştırılmıştır. Eleme işlemi sonunda elekler çıkarılıp, herbir eleğin üstünde kalan miktar tartılarak tane boyuna ait ağırlık yüzdesi toplam malzeme miktarına oranla hesaplanmıştır.



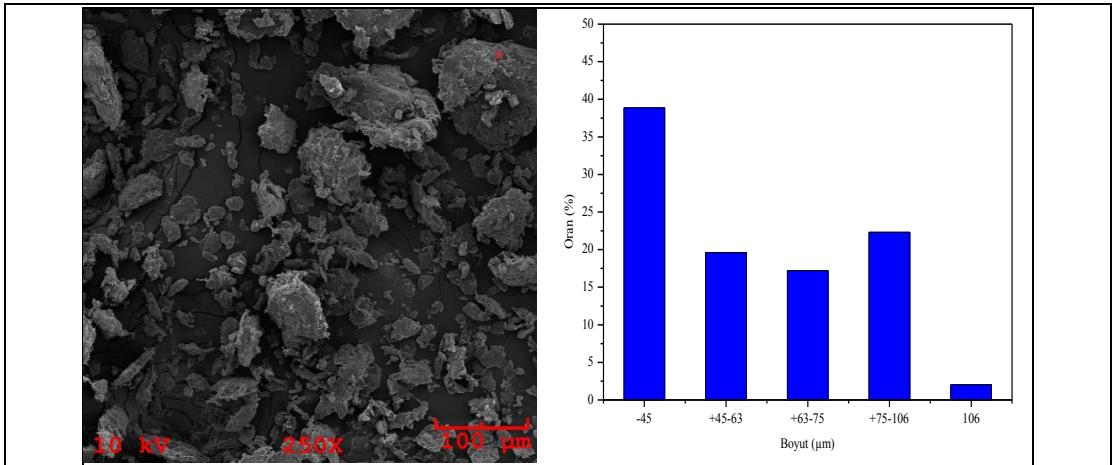
Şekil 2.1. Takviye malzemesi öğütülmüş midye kabuğu partikülleri (a) SEM fotoğraf, (b) Partikül boyut dağılımı



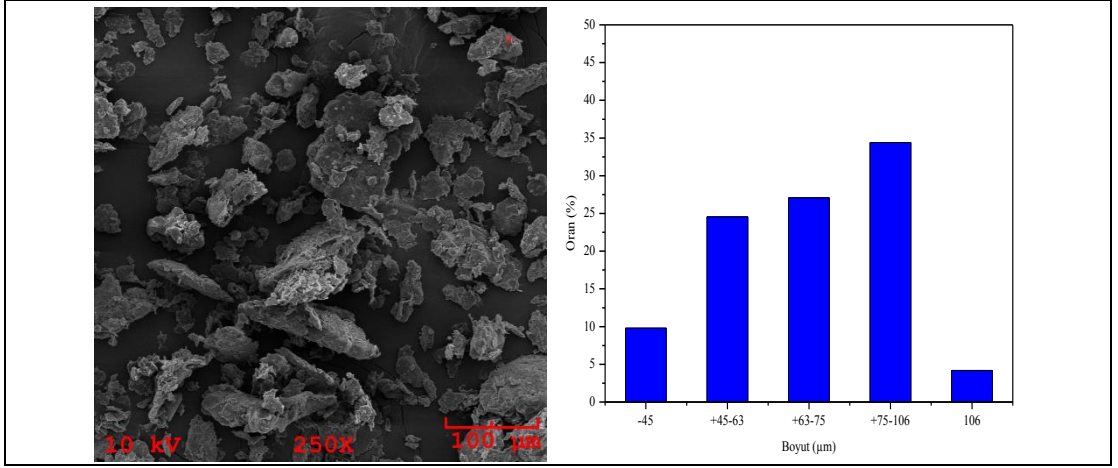
Şekil 2.2. Takviye malzemesi mikronize patlatılmış perlit partikülleri (a) SEM fotoğrafı, (b) Partikül boyut dağılımı



Şekil 2.3. Takviye malzemesi öğütülmüş fındık kabuğu partikülleri (a) SEM fotoğrafı, (b) Partikül boyut dağılımı

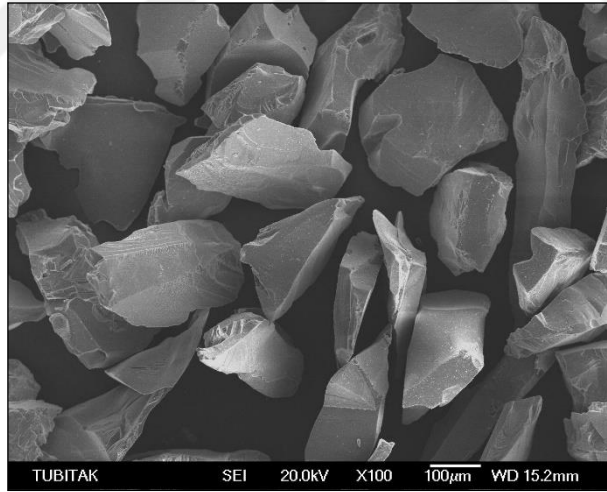


Şekil 2.4. Takviye malzemesi öğütülmüş fıstık kabuğu partikülleri (a) SEM fotoğrafı, (b) Partikül boyut dağılımı



Şekil 2.5. Takviye malzemesi öğütülmüş ceviz kabuğu partikülleri (a) SEM fotoğrafı, (b) Partikül boyut dağılımı

Aşınma deneylerinde aşındırıcı partikül olarak Saykar Metalurji ve Yüzey İşlem Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti'den temin edilmiş olan 80 mesh boyutlu Al_2O_3 kullanılmıştır. Şekil 2.6'da 80 mesh boyutlu alüminaya ait SEM fotoğrafı verilmiştir. Kullanılmış olan alümina mineralinin boyut ve özellikleri Tablo 2.5'te görülmektedir [39].



Şekil 2.6. 80 mesh boyutlu alümina seramik SEM fotoğrafı

Tablo 2.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan alümina minerallerinin özellikleri

ALÜMİNA MİNERALİNİN ÖZELLİKLERİ	
Özgül Ağırlığı	3,92 g/cm ³
Ortalama Dökme Yoğunluğu	2,4 g/cm ³
Sertliği	9 (mohs scale)
Kristal Sistemi	Kübik
Kristal Şekli	Köşeli
Kırılması	Dökme Mineralin Preslenmesi Suretiyle
Dayanıklılığı	Yüksek
Serbest Akış Özelliği	97 % minimum
Aside Duyarlılığı	Yoktur
Boyut	80 Mesh (150-212 mikron)

Tablo 2.6. Çalışma sürecinde kullanılan matris ve takviye malzemelerine ait fiyat tablosu.

Malzeme Fiyat Analizi	
Malzeme	Nakliye Dahil Brim Fiyatı
PPS	150 TL/kg
Midye Kabuğu	4,5 TL/kg
Perlit	1,9 TL/kg
Olivin	1 TL/kg
PP	72 TL/kg
Fındık, Fıstık Ceviz Kabuğu	1 TL/kg

2.2. Kırma ve Öğütme Yöntemi İle Takviye Malzemelerinin Kırılıp Öğütülerek Elekten Geçirilme İşlemi

Takviye olarak kullanılacak malzemelerden tedarikçi tarafından direkt partikül takviye şeklinde tedarik edilemeyen midye, fındık, fıstık ve ceviz kabukları laboratuvarında kırılıp, öğütülerek elekten geçirildikten sonra takviye malzemesi olarak polimerlerin içerisine katılmıştır.

2.2.1. Kırma işlemi

Takviye olarak temin edilen ceviz, fındık, antep fıstığı ve midye kabuğu Şekil 2.7’de gösterilen “Retsch SK100” markalı mekanik kırıcı ile ön kırma işlemine tabi tutulmuşlardır.

2.2.2. Öğütme işlemi

Kırıcıda ön kırma işlemine tabi tutulan kabuklar Şekil 2.8’de verilen “Retsch PM200” markalı bilyalı öğütücüde 100 µm altına kadar öğütülmüştür.

2.2.3. Eleme işlemi

Öğütülen kabuk malzemeleri, Şekil 2.9'da gösterilen “Retsch AS 200” markalı elek sallayıcı'da elenerek farklı boyutlarda toz partiküller halinde ayrıştırılmış ve paketlenmiştir.



Şekil 2.7. Retsch SK100 kırıcı



Şekil 2.8. Retsch PM200 bilyalı öğütücü



Şekil 2.9: “Retsch AS 20 elek

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

PPS polimeri ile perlit, midye kabuğu ve olivin partikül takviyeli PPS kompozitlerinin üretimi; PP polimeri ile fındık, fıstık ve ceviz kabuğu partikülü takviyeli PP kompozitlerin üretimi için çift vidalı ekstrüzyon cihazında mikro karıştırma işlemi ile enjeksiyon cihazında kalıplama yöntemleri kullanılmıştır. Üretimi düşünülen PPS polimerin nemini almak için 80°C’deki fırında, PP polimerin ise 40 °C’deki fırında 24 saat boyunca kurutularak ekstrüzyon işlemi Şekil 2.10’da verilmiş olan DSM XPLORE firmasının üretmiş olduğu 15 ml’lik hazneye sahip çift vidalı mikro karıştırıcısı (Micro-Compounder) ile gerçekleştirilmiştir [119].



Şekil 2.10. DSM XPLORE marka ekstrüzyon cihazı

Numunelerin üretilmiş olduğu bu cihazın maksimum çalışma şartları 400°C ve 250 d/dk'dır. Cihazda sıcaklık kontrolü sağlayan 9 adet termokupul bulunmaktadır. Ekstrüder cihazı, beslenen polimerik malzemenin sıcaklıkla beraber eritilip karıştırılması işlemini yapmaktadır. Ekstrüder cihazında karıştırılmış olan eriyik haldeki malzemenin üretilmek istenilen test numunesinin kalıbına basılması için Şekil 2.11'de verilmiş olan DSM XPLORE firmasının ürettiği 12 ml'lik hazneye sahip enjeksiyonla kalıplama (Injection Moulding) cihazı kullanılmıştır [52]. Ekstrüzyonda eriyik halde hazırlanan malzeme enjeksiyon cihazına Şekil 2.12'de verilmiş olan iletim ünitesi ile aktarılmaktadır. İletim ünitesi de ekstrüder cihazı gibi maksimum 400°C' ye kadar çalışma sıcaklığına sahiptir. Taşınır halde olan iletim ünitesi elle alınıp mikro karıştırıcının çıkışına dayanmaktadır. Eriyiğin tamamı iletim ünitesini doldurana kadar beklenerek daha sonra ünite enjeksiyon cihazı üzerindeki yerine yerleştirilir. Enjeksiyon cihazına iletim ünitesi yerleştirildikten sonra eriyik haldeki malzemenin maksimum 200°C'de çalışabilen kalıba maksimum 16 bar basınç ile basılarak üretimi gerçekleştirilir.



Şekil 2.11. DSM XPLORE marka enjeksiyon cihazı



Şekil 2.12. DSM XPLORE marka enjeksiyon cihazı iletim ünitesi

Üretim işlemine başlamadan önce üretimde kullanılacak olan polimer ve takviye malzemeleri belirlenen ağırlıklarda tartılarak ön karışımlar hazırlanmıştır. Cihazlar ve enjeksiyon cihazına bağlı azot gazı ünitesi açılmıştır. Cihazların kontrol panellerinden gerekli üretim parametreleri girilerek ısıtıcılar çalıştırılmıştır. Ardından açılan gaz ünitesi ile enjeksiyon cihazının basıncı ayarlanmıştır. Sıcaklık değerleri ayarlanan seviyelere geldikten sonra ekstrüzyon cihazının haznesine malzeme besleme hunisi yerleştirilip vidaları aynı yönde döndürülmeye başlanır. Besleme hunisi yardımı ile doldurulan polimer ve takviye partikülleri dönen vidalar yardımıyla belirli bir hızda besleyiciden karışma haznesine doğru ilerler. Karışma haznesi dikey şekilde yerleştirilmiş olup eriyen ve karışan malzemeler haznenin en alt bölmesinden geri besleme kanalı ile tekrar en üste yönlendirilmektedir. Bu yönlendirme işlemi ile karışma işleminin sürekli ve etkin olması sağlanmaktadır. Karıştırma işlemi tamamlanan eriyik malzeme ekstrüderin çıkışına dayandırılan iletim ünitesinin içerisine alınarak enjeksiyon cihazında kalıba basılmak üzere yerleştirilmiştir. İletim ünitesi içinde bir piston yer almaktadır ve bu piston eriyik üniteye doldukça arka taraftan yavaş yavaş çıkmaktadır. İletim cihazı enjeksiyon cihazı içine yerleştirilerek dışarı çıkan bu pistonu basınç uygulanması ile birlikte piston önünde yer alan eriyik malzeme basınçla birlikte belli bir sıcaklıktaki kalıbın içine basılmıştır. Basma işlemi bittikten sonra sıcak haldeki eriyik malzeme belirli bir sıcaklıkta bekletilen ve soğutulabilen kalıbın içinde katılaşarak kalıbın şeklini alarak ürün olarak elde edilmiştir. Kalıp yerinden çıkarılarak kalıp yarıları özel bir açma aleti ile açılarak üretilen numuneler kalıptan alınıp üzerlerine test kodları yazılmış ve test bölümüne alınmıştır. Cihazlara ait çalışma parametreleri takip eden Tablo 2.7 ve 2.8'de verilmiştir.

Ekstrüzyon ve enjeksiyon ile üretimi gerçekleştirilen Saf PPS ve kompozitlerinin üretim parametreleri Tablo 2.7’de verilmiştir. Saf PP ve kompozitlerinin üretim parametreleri Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.7. PPS için ekstrüzyon ve enjeksiyon üretim parametreleri

Cihaz	Parametre	Değer
Ekstrüzyon	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	305
Ekstrüzyon	Karıştırma Devri (d/dk)	100
Ekstrüzyon	Karıştırma Süresi (s)	180
Enjeksiyon	İletim Ünitesi Sıcaklığı (°C)	305
Enjeksiyon	Kalıp Sıcaklığı (°C)	80
Enjeksiyon	Enjeksiyon Basıncı (Bar)	10
Enjeksiyon	Ütüleme Basıncı (Bar)	10
Enjeksiyon	Ütüleme Süresi (s)	10

Tablo 2.8. PP için ekstrüzyon ve enjeksiyon üretim parametreleri

Cihaz	Parametre	Değer
Ekstrüzyon	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	175
Ekstrüzyon	Karıştırma Devri (d/dk)	100
Ekstrüzyon	Karıştırma Süresi (s)	180
Enjeksiyon	İletim Ünitesi Sıcaklığı (°C)	175
Enjeksiyon	Kalıp Sıcaklığı (°C)	50
Enjeksiyon	Enjeksiyon Basıncı (Bar)	10
Enjeksiyon	Ütüleme Basıncı (Bar)	10
Enjeksiyon	Ütüleme Süresi (s)	10

2.3. Üretilen Termoplastik ve Termoplastik Esaslı Kompozit Numunelerin Karakterizasyonu Sırasında Kullanılan Test ve Analiz Yöntemleri

2.3.1. Mekanik testler

2.3.1.1. Shore D sertlik testi

Üretilen saf ve kompozit numunelerin sertlik değerlerinin tespiti için Şekil 2.15'te görülen "Zwick 3116/7 Shore D" cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, ASTM D2240 standardına göre özellikle düz yüzeye sahip sert kauçukların, akrilik cam veya rijit termoplastiklerin sertliklerinin analog olarak ölçülmesinde kullanılmaktadır. Sertliği ölçülecek numune yüzeyi iğnenin altına getirilerek iğne kol yardımıyla iğne malzeme yüzeyine batırılır ve 15 saniye kadar beklendikten sonra batmaya karşı analog ekranda beliren değer okunup kaydedilerek sertlik değeri ölçülmüş olur. Her bir numune grubu için standart sapma faktörü göz önüne alınarak ve sertlik ölçüm değerlerinin birbirini etkilemeyeceği şekilde farklı yerlerden olmak üzere en az 15 ölçüm alıp ortalamaları hesaplanarak sertlik değerleri belirlenmiştir.

2.3.1.2. Çekme test cihazı

ISO 527-2/5A standardındaki kalıba basılarak üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için Şekil 2.16'da gösterilen "Shimadzu AG-X Universal Tester" cihazı kullanılmıştır. Üretilen numunelerden saf PPS ve PPS matrisli kompozit numuneler 5 mm/dk'lık çekme hızı ile saf PP ve PP matrisli kompozit numunelerde 10 mm/dk'lık çekme hızı ile teste tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Trapezium-X Programı ile işlenmiş ve kaydedilmiştir.

2.3.1.3. Yoğunluk ölçümü

Üretilen numunelerin yoğunluklarının tespiti amacı ile yoğunluk ölçümü entegre edilmiş "Mettler Toledo" markalı hassas terazi cihazı kullanılmıştır. Cihaz Şekil 2.17'de verilmiş olup, her bir kompozit ile saf polimerlerden üçer numuneye ait yoğunluk ölçümü yapılarak ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 2.15. Zwick markalı Shore D test cihazı



Şekil 2.16. Shimadzu AG-X markalı universal çekme test cihazı



Şekil 2.17. Mettler Toledo markalı yoğunluk ölçme fonksiyonlu hassas terazi

2.3.2. Tribolojik karakterizasyon için uygulanan test yöntemleri

2.3.2.1. Bilya-disk testi

Üretilen numunelerin adhezif aşınma karakteristiklerinin tespiti amacı ile Şekil 2.18’de gösterilen “Nanovea” marka “bilya-disk” test cihazı kullanılmıştır. Cihaz 0,01-2000 d/dk arası dönme kapasitesine sahiptir. Cihaza 40 N’ a kadar normal yük uygulanabilmektedir Gerçekleştirilen bilya-disk testi ile üretilen numunelerin adhezif aşınma davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Testler sonucunda hem test cihazının hesaplamış olduğu sürtünme katsayısı verileri elde edilebilmekte hem de ASTM G99 standardına göre verilen (2.1) numaralı formüle göre aşınma hacimleri hesaplanmış olup formülde V; aşınma hacmini, R; dönme yarıçapını, D; aşınma izi genişliğini r; aşındırıcı top yarıçapını ifade etmektedir. Uygulanan bilya-disk testinin parametreleri Tablo 2.9’da verilmiştir.

$$V = \frac{\pi R D^3}{6r} \quad (2.1)$$



Şekil 2.18. Nanovea bilya-disk test cihazı

Tablo 2.9. Bilya-disk metodu ile adhezif aşınma testi parametreleri

Bilya-disk test parametreleri	
Normal Yük	20 N
Disk Dönme Hızı	250 rpm
Dönme Yarıçapı	5 mm
Aşındırıcı Bilya Malzemesi	Al ₂ O ₃
Aşındırıcı Bilya Çapı	6 mm

2.3.2.2. Çizilme testi

Numunelerin yüzey çizilme karakteristiği ve direncinin tespiti için Şekil 2.20’ de yer alan TÜBİTAK bünyesindeki “CSM Çizilme Tester” cihazı kullanılmıştır. Çizilme testleri 5 N normal yük altında 30 mm/dk ilerleme hızında 5 mm boyunca numune yüzeyleri çizilerek gerçekleştirilmiştir.

Çizilme testleri yapıldıktan sonra numunelerin test sonuçları değerlendirilirken (2.2) numaralı formül ile hesaplanan “çizilme sertliği” adı verilen formülasyon kullanılmıştır. Bu değer bir nevi çizilirken malzemenin birim alana düşen taşıyabildiği yükü ifade etmektedir.

$$H_w = X \frac{4L}{\pi W^2} \quad (2.2)$$

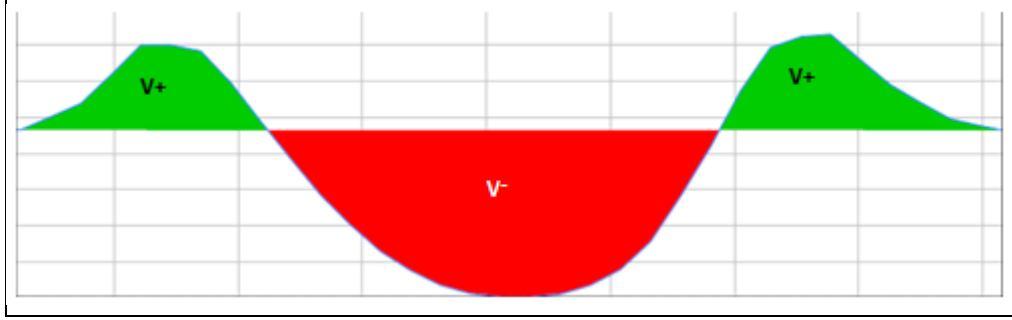
(2.2) numaralı formülde; X sabit bir sayı olup visko elastisite davranan malzemeler için 1 alınmaktadır. “L” normal yükü, “w” iz genişliğini, “H_w” de çizilme sertlik değerini ifade etmektedir.

Çizilme testi gerçekleştirildikten sonra malzeme yüzeyinde meydana gelen çizilme izinin derinliği kalıcı penetrasyon derinliği olarak tanımlanmış ve her bir numune için çizilme testi cihazı tarafından tespit edilen kalıcı penetresyon derinliği sonuçları değerlendirilmiştir.

Çizilme testine tabi tutulan numuneler çizilme sertliği hesaplandıktan sonra çalışmanın detaylarında meydana gelen çizik izlerine ait hacimlerin ne kadarının plastik deformasyon sonucu meydana geldiği, ne kadarının da malzeme yüzeyinden aşınıp giden malzeme olarak gerçekleştiği irdelenmiştir. Bu noktada Şekil 2.19 da şematik olarak çizilmiş olan çizilme testi sonucu oluşan ize ait kesit resminde açık bir şekilde görülmektedir ki; iz boyunca kenarlara doğru yığılma meydana gelmektedir. Burada meydana gelen aşınmanın karakteristiğini belirlerken meydana gelen aşınmanın ne kadarının plastik deformasyon ile yığılma şeklinde gerçekleştiği ne kadarının da malzeme kaybı şeklinde malzeme yüzeyinden kaybolmuş olduğunun tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 2. 19'a bakıldığında çizik izine ait hacim V^- , kenarlara ve iz başlangıç ve sonuna plastik deformasyon sonucu biriken kalan hacim de V^+ ifade edilecek olursa, test sonucu malzeme yüzeyinden aşınarak kopan malzeme miktarı bu iki hacim arasındaki fark şeklinde açıklanmaktadır [120,121]. Oyuk geometrisinin karakterize edilmesi, kazıma mekanizmasının amacı ile (2.3) numaralı formül ile ifade edilen bağıl kesme hacmi (S_p) hesabı kullanılmıştır. Bu eşitlik ile oyuk üzerinden kazınarak giden talaş hacminin toplam oyuk hacmine oranı hesap edilmektedir. Bu ifade 0 ile 1 arasında değer almakta olup değer 0 olduğu zaman meydana gelen deformasyonun tamamının plastik deformasyon sonucu olduğu ve ideal mikro oyuklama olarak adlandırılırken değer 1 olduğu takdirde meydana gelen deformasyonun tamamının malzeme aşınması şeklinde meydana geldiği anlamına gelip ideal mikro kazıma mekanizması olarak ifade edilmektedir [122,123].

$$S_p = (V^- - V^+) / V^- \quad (2.3)$$

Formülde; S_p bağıl kesme hacmini ifade ederken V^- toplam oyuk hacmini ifade etmektedir. V^+ ise yığın hacmini ifade etmektedir.



Şekil 2.19. Çizilme izi profiline ait şematik resim

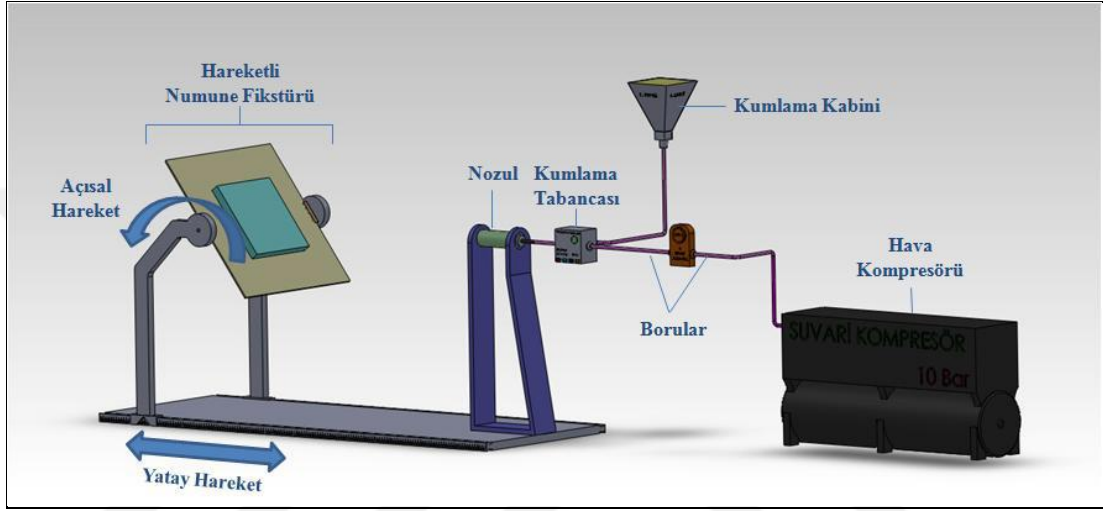


Şekil 2.20: CSM mikro çizilme tester

2.3.2.3. Katı partikül erozyonu testi

Üretilen malzemelerin katı partikül erozyonu davranışı özel olarak tasarlanan Şekil 2.21'de şematik olarak gösterilen Şekil 2.22'de fotoğrafı yer alan kumlama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kumlama düzeneği; basınçlı hava tankı, basınçlı hava kompresörü, kumlama kabini, numune yerleştirme fikstürü ve kumlama tabancası elemanlarından oluşmaktadır. Kumlama tabancası kumlama kabini içerisine sabitlenmiş olup kabin dışarısından bir pedal vasıtasıyla kontrol edilebilmektedir. Kum püskürtme basıncı ise kabin dışarısına yerleştirilen bir basınç regülatörü ile ayarlanabilmektedir.

Kumlama kabini içerisinde yer alan, numunenin sabitlenmesi ve numune üzerine istenilen açılarda kum püskürtülmesini sağlayan özel bir numune tutucu fikstür bulunmaktadır. Bu fikstür sayesinde kabin içerisinde sabit bir şekilde tutturulmuş püskürtme tabancası karşısına bağlanan numunelere 15° ve katları olacak şekilde farklı açılarda partikül püskürtme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Gerçekleştirilen deneyler sırasında numuneler bu fikstür düzeneğine tutturularak tabancanın 20 mm uzağına bağlanmıştır.



Şekil 2.21. Katı partikül erozyonu aşınma test düzeneği



Şekil 2.22. Katı partikül erozyonu aşınma test düzeneği

Katı partikül erozyonu aşınma testi parametreleri ve değerleri Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10. Katı partikül erozyonu testi parametre ve değerleri

Aşındırıcı Partikül Boyutu (Mesh)	Püskürtme Basıncı (Bar)	Süre (s)	Kütleli Debi (g/s)	Çarpma Açısı (°)
80	3	5	17,08	30
		10		90

Deneysel sonuçların değerlendirilmesi noktasında öncelikle literatürde yaygın bir şekilde kullanım bulan ve temeli kütle kaybına dayanan (2.4) nolu formülde verilmiş olan erozyon oranı metodu uygulanmıştır.

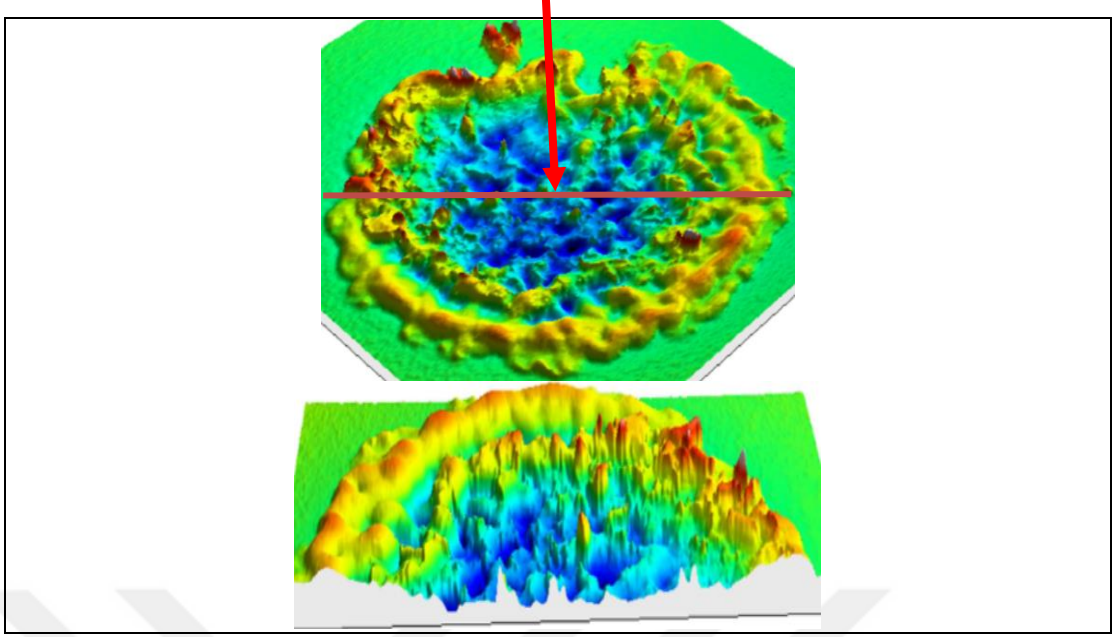
$$E = \frac{\Delta m_s}{m_e} \quad (2.4)$$

Formülde yer alan; E: erozyon Oranını, Δm_s : aşınan numunede meydana gelen kütle kaybını, m_e : kümülatif aşındırıcı partikül kütlesini ifade etmektedir.

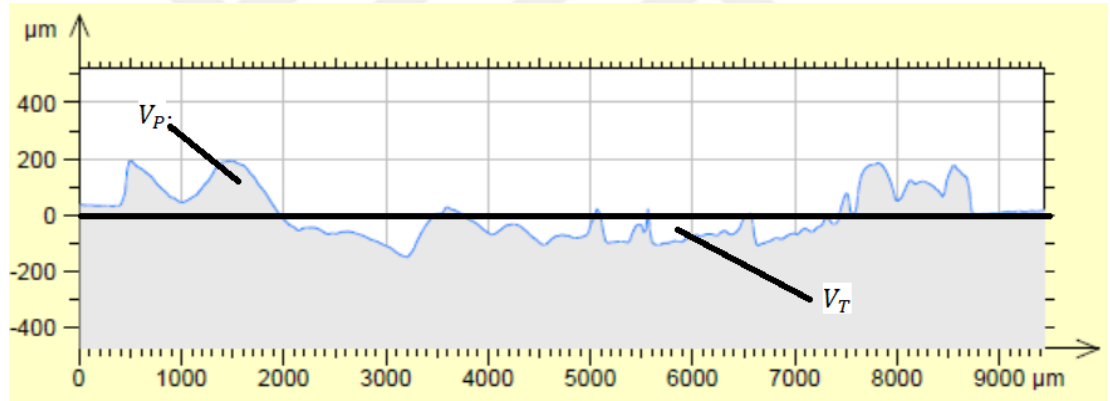
Çalışmanın devamında uygulanan bu metodun yetersizlikleri dikkat çekmiştir, Meydana gelen aşınma mekanizmasının sadece malzeme kopması şeklinde olmadığı aynı zamanda malzeme yüzeyinde kalıcı deformasyonların da meydana geldiği görülmüştür. Bunun neticesinde Şekil 2.23'te örnek olarak verilmiş optik profilometre yardımı ile elde edilen üç boyutlu görüntüden de anlaşılacağı üzere erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerde oluşan oyuk ve tümseklere ait hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. 2.5 nolu formül yardımı ile numune yüzeyinde meydana gelen plastik deformasyon oranı tespit edilmiştir. Yani Şekil 2.24'te de görüldüğü gibi aşındırıcı partiküllerin oluşturmuş olduğu aşınma izinin bir kısmı hedef numunenin yüzeyinden malzeme koparak uzaklaşması şeklinde olurken, diğer bir kısımda malzeme yüzeyinde meydana gelen izin kenarlarına doğru yığılma şeklinde oluşan plastik deformasyon hasarı şeklinde meydana gelmektedir.

$$E_p = \frac{V_p}{V_T} \quad (2.5)$$

Bu formülde; E_p : erozif aşınma sonucu meydana gelen plastik deformasyon oranını, V_p : erozif aşınma sonucu aşınma yüzeyinde oluşan tümsek hacimlerini, V_T : erozif aşınma neticesi oluşan toplam aşınma hacmini ifade etmektedir.

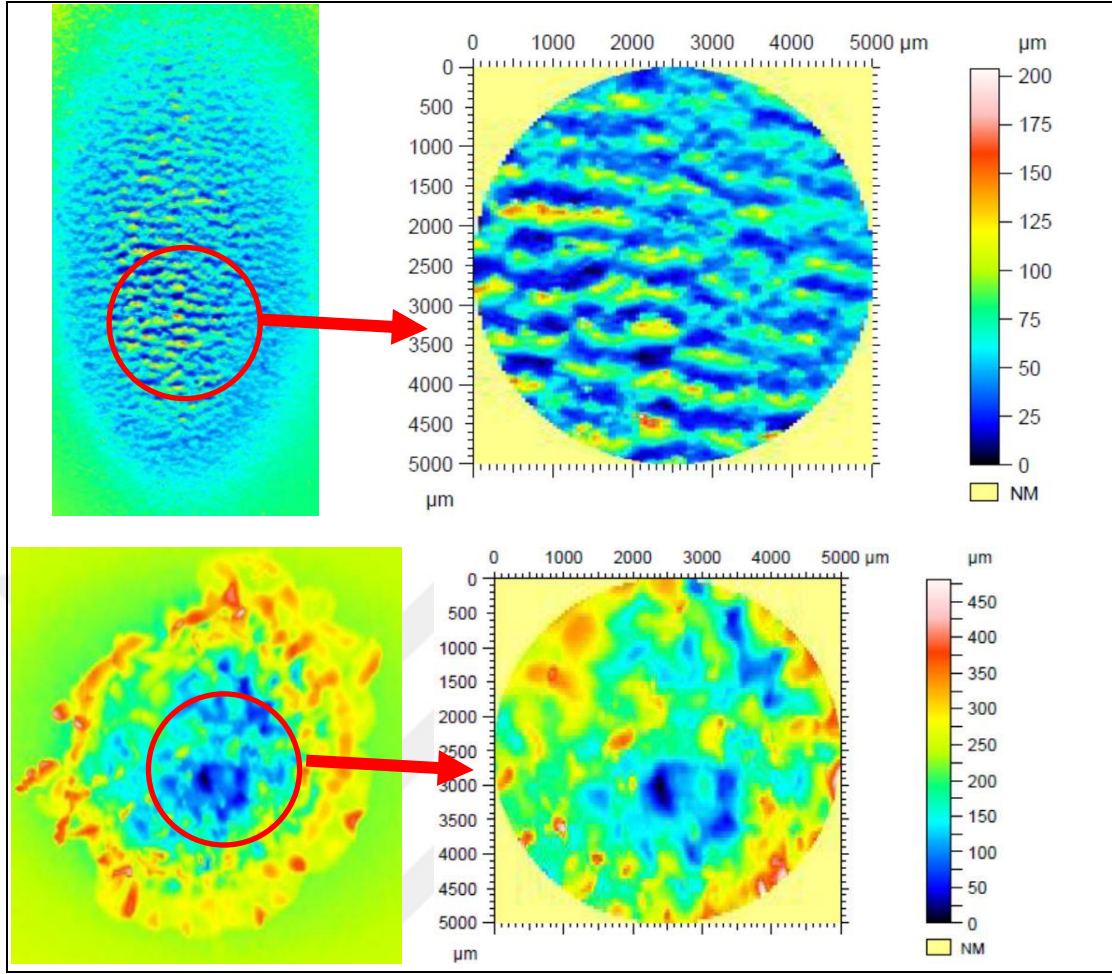


Şekil 2.23. Eroziyon aşınmaya uğramış örnek yüzeye ait optik profilometre ile oluşturulmuş üç boyutlu yüzey topoğrafyası ve aynı görüntünün orta bölgesinden kesit alınmış üç boyutlu görüntüsü



Şekil 2.24. Eroziyon aşınma izine ait şematik resim

Eroziyon aşınma sonrası aşınmış numune yüzeylerinin pürüzlülük değerlerinin tespiti amacı ile Şekil 2.25' te gösterildiği gibi herbir aşınma izinin merkezinden 5mm çapında alanlar alınarak ISO 25178 standartlarına göre ortalama pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 2.25. Eroziyon sonrası yüzey pürüzlülüğü hesaplanmış örnek yüzeyler

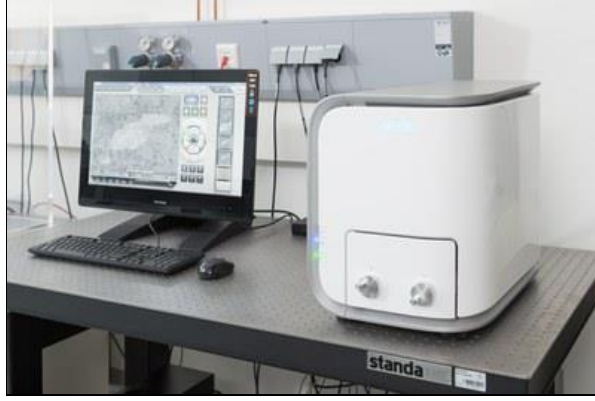
2.3.3. Morfolojik analiz metotları

2.3.3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleme

Farklı parametreler altında aşındırılan numunelerin yüzeyleri “Jeol JCM-6000” markalı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Şekil 3.26’da deneysel çalışmalarda kullanılan SEM cihazının fotoğrafı verilmiştir.

2.3.3.2. Optik mikroskop ile inceleme

Tahribatlı testlere maruz kalan numunelerin makro boyutta morfolojik inceleme ve analizlerinin yapılması için Şekil 2.27’de gösterilen 60x büyütme kadar çıkabilen “Nikon SMZ 75T” Stereo Mikroskop kullanılmıştır. Görüntünün bilgisayar ortamına aktarılması işlemi için “Clemex” marka kamera kullanılmış olup, elde edilen görüntülerin incelenmesi ve görüntüler üzerinde ölçüm yapılması işlemleri için de “Clemex Captiva” isimli yazılım kullanılmıştır.



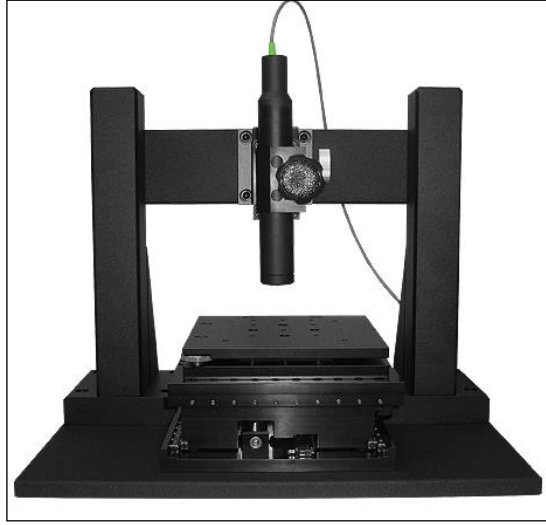
Şekil 2.26. Deneysel çalışmalarda kullanılan
“Jeol JCM-6000” markalıSEM cihazı



Şekil 2.27. Nikon SMZ 75T
Stereo Mikroskop

2.3.3.3. Optik profilo metre ile inceleme

Triblojik testlere tabi tutulan numunelerin yüzey topografyasının oluşturulması ve bununla birlikte yüzey özelliklerinin incelenmesinde Şekil 2.28’de yer alan “Nanovea PS50” optik profilometre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.28. Nanovea marka optik profilometre.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Midye Kabuğu ile Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu

Farklı oranlarda öğütülmüş midye kabuğu takviye edilerek üretilmiş olan PPS kompozitlerin mekanik özelliklerinin tespiti için üretilen numunelere mekanik testler uygulanmıştır.

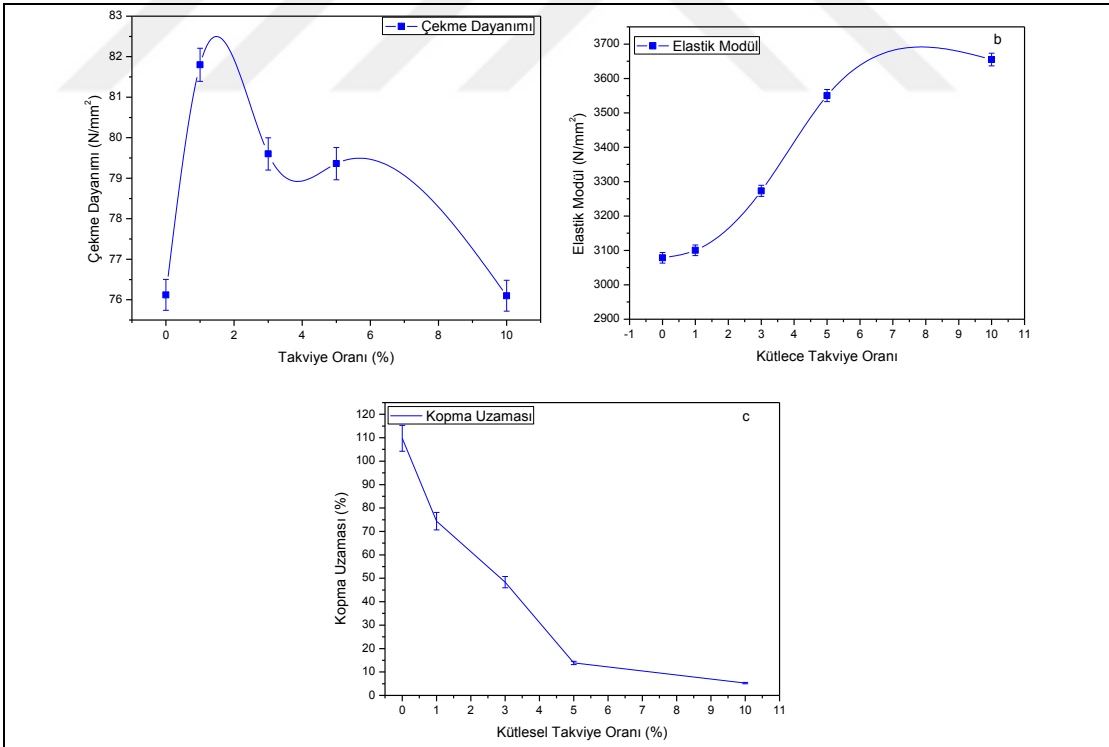
3.1.1. Çekme testi sonuçları

100µm ve altında boyutlarında partikül haline getirilmiş midye kabuğu takviye edilmiş PPS matrisli kompozitlere çekme testi uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.1-a’daki çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde %1 midye kabuğu takviyesi ile çekme dayanımının yaklaşık %8 kadar artış gösterdiği gözlenirken, artan takviye ile çekme dayanımının olumsuz yönde etkilendiği ve takviye oranı %10 olduğu zaman çekme dayanımının saf PPS ile yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür. Partikül ile matris ara yüzeyinin kuvvetli olması çekme dayanımı üzerinde olumlu etki yapmakta ve takviye oranı arttıkça arayüzey toplam alanı da arttığından dolayı partikül takviye oranında meydana gelen artış çekme dayanımını da olumlu yönde etkilemektedir. Ancak partikül ile matris arası arayüzey yapışması başarılı olamaz ise yapılan takviye fayda yerine olumsuz sonuçlar sergileyebilir. Ayrıca kompozit içerisindeki partikül miktarının belirli bir limit değer üzerine çıkması halinde partiküller birbirleri etrafında topaklanır ve birçok partikül yerine bir adet büyük partikül gibi davranabilirler. Bu durumda istenilen durumun aksine çok sayıda arayüzey yerine bir tek tutunma yüzeyi meydana gelir. Yine kompozit içerisindeki partikül miktarının çok fazla olması halinde partiküller arası bağlantı zayıflayarak partiküller arası gerilim transferi başarılı bir şekilde gerçekleşmemektedir. Çünkü görevi partikülleri bir arada tutmak olan matris malzemesi partikülleri bir arada tutmaya yetecek kadar orana sahip olamamaktadır. Bu sebepten dolayı matris ve partikül birbirine iyi bir şekilde tutunamayacaktır ve matris malzemesi üzerine gelen yükü takviyeye aktararak onunla paylaşamayacaktır. Partikül-matris arayüzeyinde yük transferi olmadığından dolayı

da yüksek takviye oranlarında partikül takviyesi çekme dayanımı üzerine olumlu etki yapamayacaktır [60, 65, 124].

Şekil 3.1-b incelendiğinde midye kabuğu takviyesinin elastisite modülü üzerine etkisi görülmektedir. Grafik incelendiğinde artan takviye ile birlikte elastisite modül değerinin yani rijitliğinin arttığı ve %10 midye kabuğu partikülü takviye edilmiş kompozitlerin saf PPS'ten yaklaşık %20 kadar daha yüksek modül değerine sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Yapılan literatür çalışmaları da göstermiştir ki rijit partikül takviyesi ile birlikte elastisite modülünün artış göstermesi beklenen bir sonuçtur [64, 70, 75, 125-127].

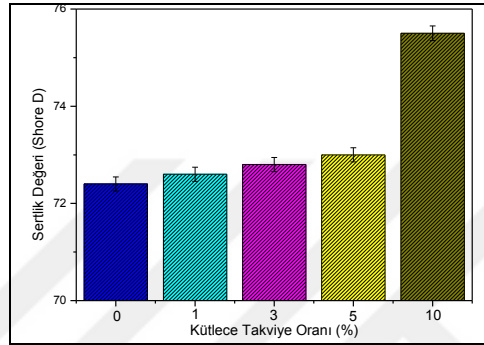
Şekil 3.1-c incelendiğinde midye kabuğu takviyesinin PPS'in kopma uzaması üzerine etkisi görülmektedir. %10 midye kabuğu partikülü takviye edilen kompozitlerin kopma uzaması saf PPS'e göre yaklaşık %91 düşmüştür. Sonuçlar incelendiğinde ise elastisite modülüne paralel bir şekilde artan takviye oranı ile birlikte malzeme daha gevrek bir yapıya bürünmüş ve kopma uzaması giderek azalmıştır [64, 70, 75, 125-127].



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

3.1.2. Sertlik testi sonuçları

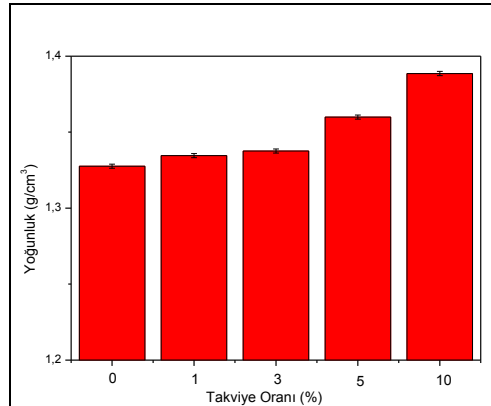
Midye kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisini görmek amacı ile Shore D sertlik testi uygulanmıştır. Test sonuçları Şekil 3.2’de verilmiş olup Şekil 3.2 incelendiği takdirde artan midye kabuğu takviyesi ile birlikte sertlik değerinin yaklaşık %4 kadar arttığı görülmüştür. Burada partikül miktarı arttıkça batıcı uç hem daha büyük oranda ihtimallerle takviye malzemelerine batmakta hem de partikül miktarı arttığı için partiküller matris içerisinde ilerleyemeyip sıkışıp kalmaktadır [6].



Şekil 3.2. Midye kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisi.

3.1.2. Yoğunluk testi sonuçları

Saf PPS ile midye kabuğu partikülü takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 3.3’te verilmiştir. Grafik incelendiğinde midye kabuğu partiküllerinin yoğunluk değerinin PPS’ten yüksek olduğunu ve kompozit içindeki miktarı arttıkça kompozit numunelerin de yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Takviye oranı %10’a ulaştığında yoğunluk değerinin saf PPS’ten yaklaşık %4.5 daha fazla olduğu görülmüştür.

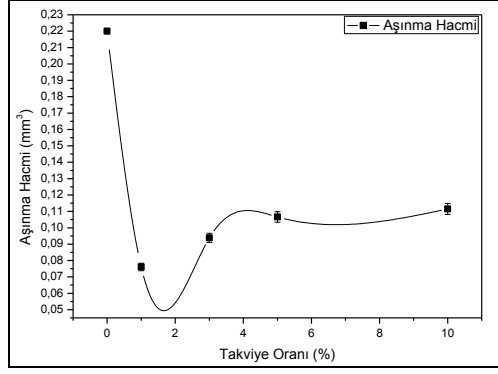


Şekil 3.3. Midye kabuğu partikülü takviyesinin yoğunluk üzerine etkisi.

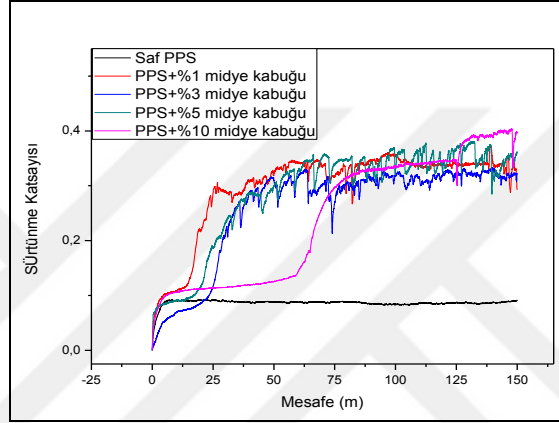
3.2. Midye Kabuğu Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu

3.2.1. Bilya-disk Testi Sonuçları

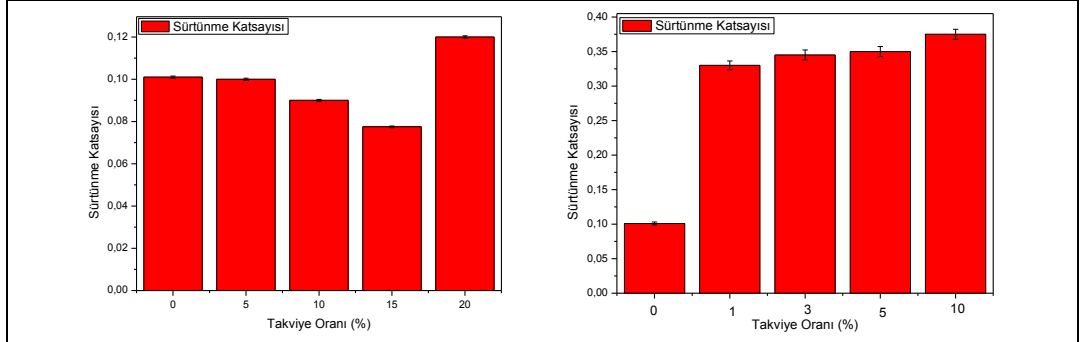
Bilya-disk test metodu kullanılarak gerçekleştirilen adhezif aşınma testi sonucu meydana gelen aşınma hacimi değerleri Şekil 3.4'te verilmiştir. Grafik incelendiği %1 midye kabuğu takviyesi ile birlikte aşınan hacim miktarının %64 kadar azaldığı yani aşınma direncinin bu oranda arttığı görülmektedir. Devamında artan takviye ile birlikte aşınma direnci bir miktar düşüş göstermiş olsa da bütün kompozit numuneler saf PPS'den daha yüksek aşınma direnci sergilemişlerdir. Direkt sonuçlara bakıldığı zaman midye kabuğu takviyesinin adhezif aşınma direncini olumlu etkilediği yorumuna varılabilir. Ancak Şekil 3.5 ile Şekil 3.6'da verilen sürtünme katsayıları üzerine olan grafikler incelendiği taktirde artan takviye ile birlikte aşınma direncinde meydana gelen kısmi düşüş durumu daha netlik kazanmaktadır. Şekil 3.6'a'da sürtünme rejiminin kararlı olduğu süreçteki sürtünme katsayıları yer alırken şekil 3.6b'de rejimin bozulup takviye tanelerinin yerinden çıkarak abrazif aşındırıcı olarak davranmaları sonucu oluşan sürtünme katsayısı değerleri gözlenmektedir. Bu sonuçlar bize göstermektedir ki; belli bir süre kararlı olan süreçte takviye partikülleri sürtünmeyi azaltıcı yönde etkilese de devam eden süreçte numune yüzeyinden ayrılan takviye partikülleri aşınmayı tetikleyen ve üç cisimli abrazif aşınma mekanizması oluşturucu yönde etkimektedirler [88,90]. Bunun neticesinde sürtünme katsayısı değeri yaklaşık olarak %250 kadar artış göstermiştir. Şekil 3.5 numunelerin aşınma testi süresince alınan sürtünme katsayısı verilerinin birarada verildiği bir grafik olup bu şekil üzerinde saf PPS için kararlı rejimin süreklilik arz ettiğini, ancak takviyeli kompozit numunelerde bu sürecin kısa bir süre sonra bozularak ani bir artış gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum midye takviyesi ile daha sert ve rijit bir yapıya sahip olan kompozit numunelerin saf polimere kıyasla belli bir süre adhezif aşınmaya karşı direnç gösterebildiğini, ancak devam eden süreçte yerinden çıkan takviye tanelerinin birer abrazif aşındırıcı gibi davranması sebebi ile aşınma miktarının artış gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 3.4. Adhezif aşınma test sonucu.



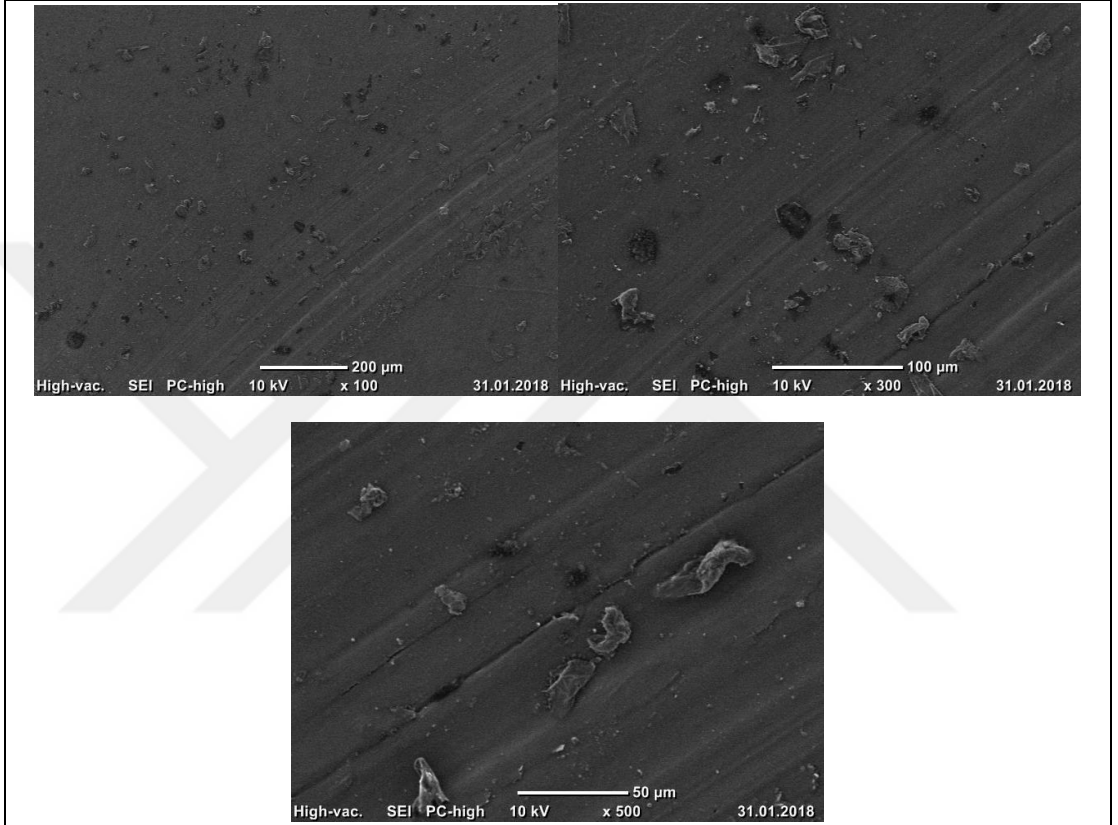
Şekil 3.5. Bilya-disk testi süresince sürtünme katsayısı değişimi.



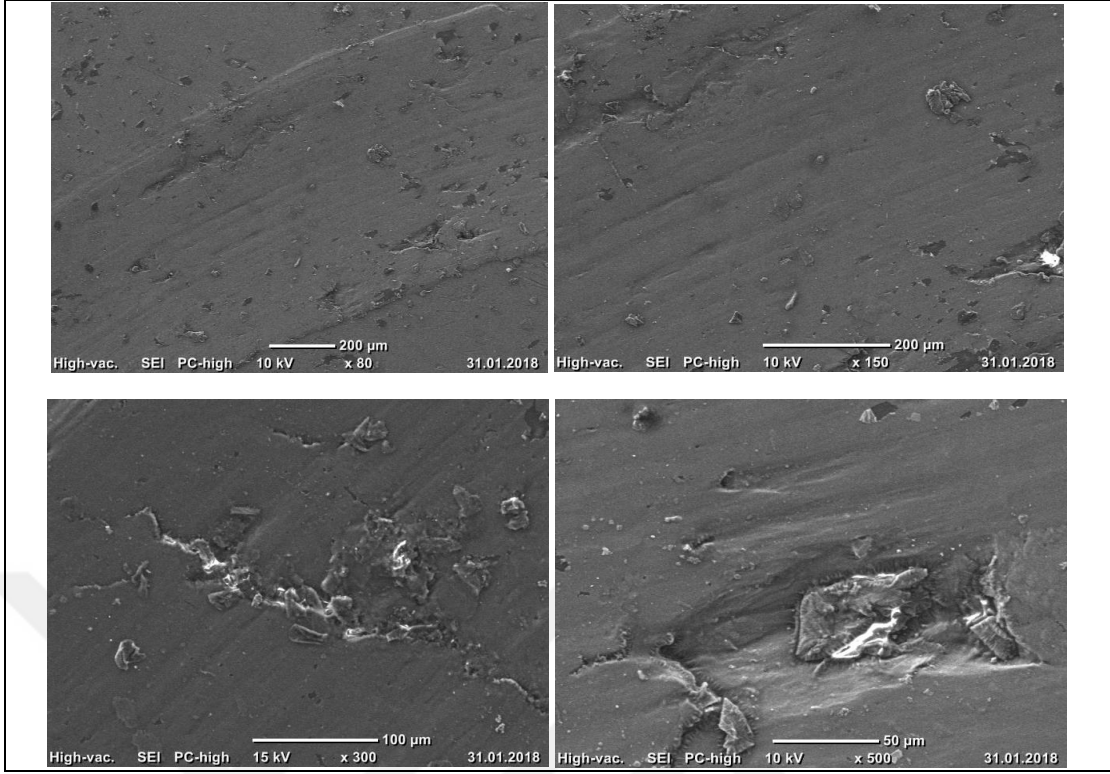
Şekil 3.6. Sürtünme ortalama sürtünme katsayısı değerleri, a) Rejim kararlı iken b) abrazif aşınma başladıktan sonra.

Şekil 3.7 ve 3.8'de Saf PPS ile %10 midye kabuğu takviye edilmiş PPS kompozitlerin adhezif aşınmaya maruz kalan yüzeylerine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflar detaylı bir şekilde incelendiğinde Saf PPS'e ait aşınma izinin yüzeysel kalarak çok derin olmadığı, ayrıca aşınma yüzeyinde plastik deformasyona uğramış bölümlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte yüzeyde makro boyutlu çatlakların da oluştuğu net bir şekilde görülmektedir. Midye kabuğu takviyeli

kompozit yüzeye ait aşınma izleri incelendiğinde aşındırıcı uca ait penetrasyon derinliğinin saf polimerden farklı olmadığı ancak bölgesel olarak yırtılmaların meydana geldiği, takviye tanelerinin yerinden çıktığı ve o bölgelerde derin oyuklar olduğu açık bir şekilde gözlenmektedir. Bununla birlikte yerinden çıkan takviye tanelerinin ayrıca aşındırıcı gibi davrandığı ve yüzeyde kazıyıcı gibi davranarak aşınma meydana getirdikleri görülmektedir.



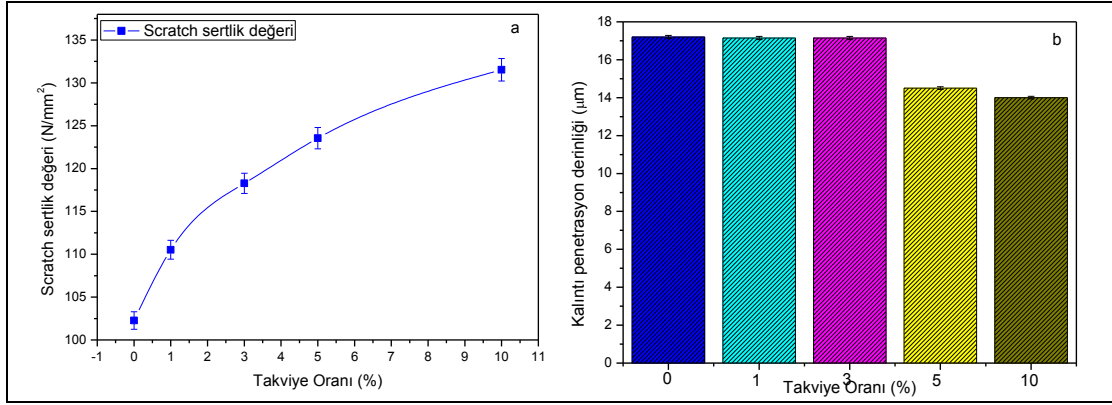
Şekil 3.7. Saf PPS'in adhezif aşımaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları.



Şekil 3.8. %10 midye kabuğu partikülü takviye edilmiş PPS kompozitin adhezif aşınmaya maruz yüzeylerine ait SEM fotoğrafları

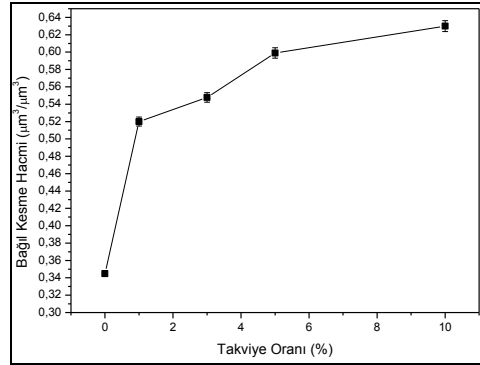
3.2.2. Çizilme testi sonuçları

Üretilen numunelerin yüzey çizilme dirençlerinin tespiti için gerçekleştirilen çizilme testi sonuçları Şekil 3.9'de verilmiştir. Şekil 3.9-a incelendiğinde çizilme sertliği sonuçları görülmektedir. Grafik incelendiğinde midye kabuğu takviyesi ile birlikte çizilme sertliği değerinin saf PPS'e kıyasla %20 kadar artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum midye kabuğu tanelerinin daha sert ve rijit yapıda olmaları sebebiyle üretilen kompozitlerin daha rijit olmasından ileri gelmektedir. Keza çekme testi sonucu elde edilen elastisite modül sonuçları da bu sonuçları destekleyici niteliktedir. Bu durum numunenin modül değerinin artmasının batıcı ucun numune içerisine nüfus etmesini zorlaştırdığı şeklinde de açıklanabilir [80,82]. Numunelere ait sertlik test sonuçları da yine hem modül hem de çizilme sertliği sonuçlarını destekler şekilde olup midye kabuğu takviyesi ile numunelere ait sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Şekil 3.9-b incelendiğinde ise çizilme sertliği değerine paralel bir şekilde artan takviye ile birlikte kalıcı penetrasyon derinliği düşüş sergilemiş, yani batıcı uç numune içerisine modül arttığı için nüfus edememiştir. Bu da göstermiştir ki; hem çizilme sertliği sonuçları ile kalıcı derinlik sonuçları hem de modül ve sertlik değerleri birbirlerine paralel sonuçlar sergilemiştir ve bu sonuçlar ışığında malzemenin çizilme karakterinin malzemenin hem sertlik değerine hem de rijitliğine bağlı olduğu görülmüştür.



Şekil 3.9. Çizilme testi sonuçları; a) Çizilme sertlik değeri, b) Kalıntı penetrasyon derinliği

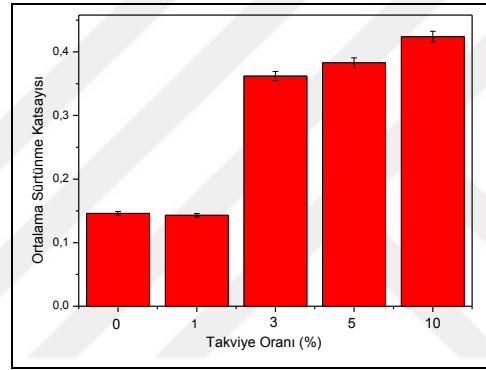
Şekil 3.10'da ise geleneksel çizilme sonuçları dışında kalan bağlı kesme hacmi sonuçları verilmiştir. Bu inceleme ile meydana gelen çizilme hasarının ne şekilde gerçekleştiğini gözlem imkanı bulmaktayız. Başka bir ifade ile meydana gelen aşınmanın ne kadarının malzeme kazınması ne kadarının ise plastik deformasyon sonucu meydana geldiğinin cevabı bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde artan takviye ile değerlerin 0,5'ten 0,63'e doğru yaklaştığını yani kazımının baskın mekanizma haline geldiği gözlemlenmiştir. Bu 'da numunelerin artan takviye ile gevreklediği ve plastik deformasyon yeteneğinin düştüğü şeklinde açıklanabilir [82,121].



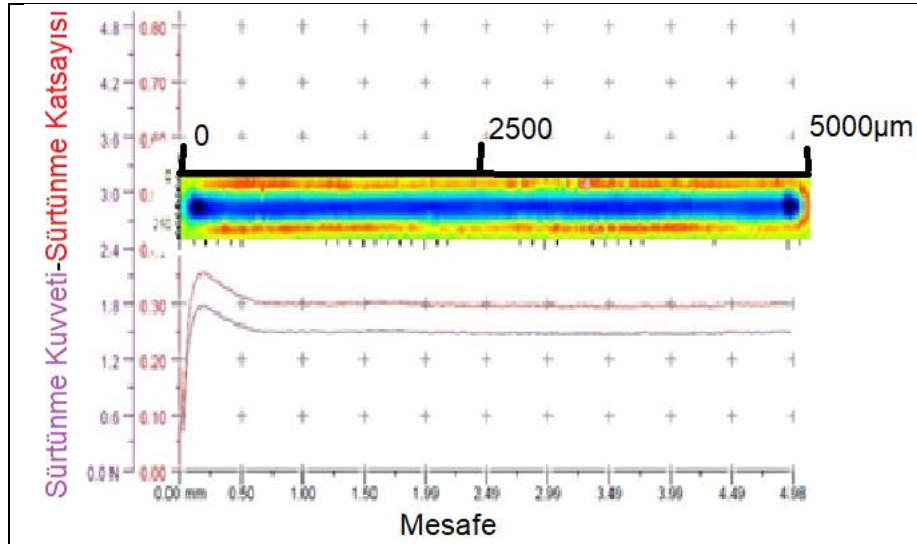
Şekil 3.10: Bağlı kesme hacim oranı

Şekil 3.11'de ise saf PPS ile midye kabuğu partikülü takviye edilmiş kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri görülmektedir. Artan takviye ile birlikte yüzeylere ait ortalama sürtünme katsayısı değerinin yaklaşık olarak %165 kadar arttığı görülmektedir. Yani çizilme izine ait yüzey kalitesinin takviye ile birlikte kötüleştiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu kötüleşmenin sonucunu açıklamak için Şekil 3.12 ve 3.13'te yer alan saf PPS ve %10 midye kabuğu takviyeli kompozite ait optik profilometre fotoğrafları ile deney süresince ölçülen anlık sürtünme kuvveti ve

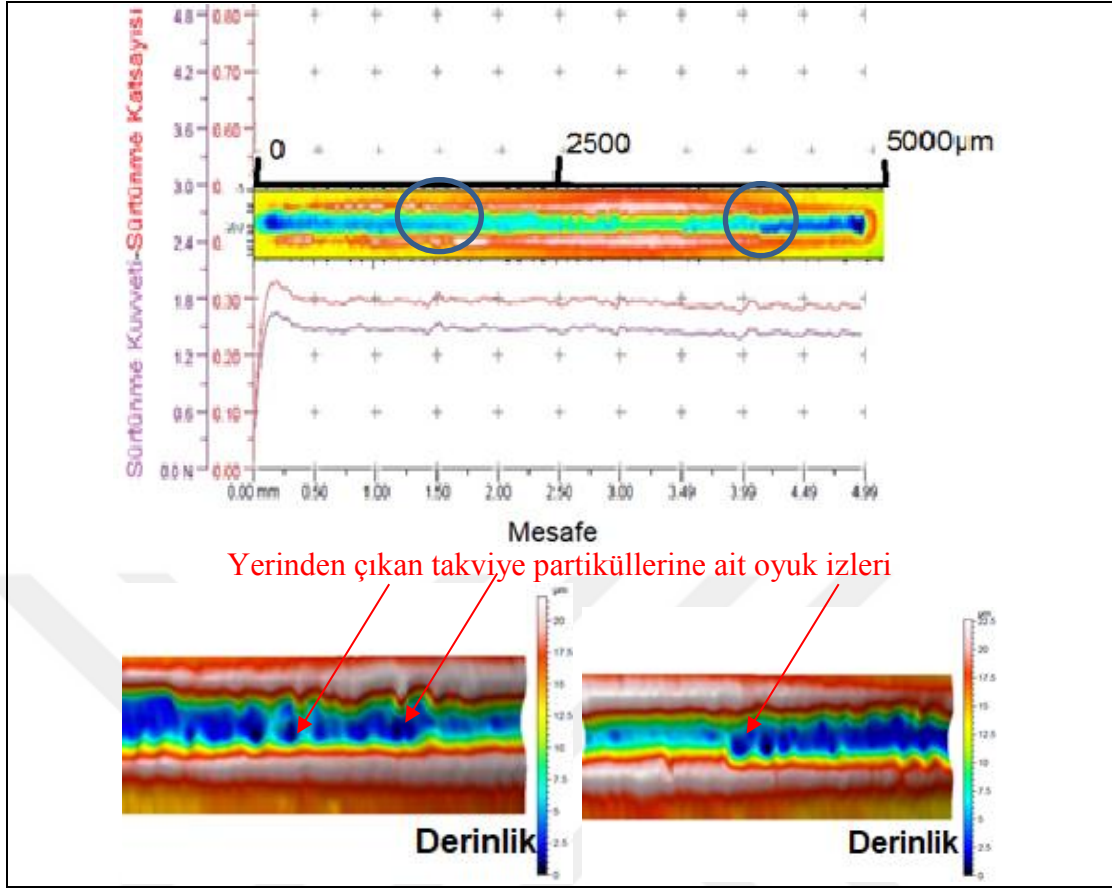
sürtünme katsayısı grafikleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda açık bir şekilde görülmektedir ki; Şekil 3.12'de yer alan saf PPS'e ait olan yüzey nispeten pürüzsüzdür. Ancak Şekil 3.13'te %10 midye kabuğu takviye edilen numuneye ait profilometre görüntülerinde yerinden çıkan takviye tanelerine ait oyuklar, yerinden çıkan tanelerin abrazif aşındırıcı gibi yüzeyde meydana getirdiği hasarlar görülmektedir. Yine %10 midye kabuğu takviyeli kompozite ait anlık sürtünme katsayısı ve anlık sürtünme kuvveti eğrisi incelendiğinde eğrinin sabit ilerleyemediği anlık yükselmeler olduğu görülmekte ve profilometre fotoğraflarında anlık yükselmelerin gerçekleştiği bölgelere yakından bakıldığında ise bu anlık sıçramaların takviye partiküllerinin yerinden çıktığı bölgelere denk geldiği görülmektedir.



Şekil 3.11: Ortalama sürtünme katsayısı



Şekil 3.12: Saf PPS' e ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti ile sürtünme katsayısı eğrisi değişimi



Şekil 3.13. %10 midye kabuğu takviye edilmiş kompozite ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti eğrisi değişimi

3.2.3. Eroziyon aşınma testi sonuçları

Midye kabuğu takviyeli PPS kompozitlerin eroziyon davranışını incelemek üzere 3 bar püskürtme basıncı ile 80 mesh boyutlu alümina partikülleri 30 ve 90° açılarından numunelerin üzerine püskürtülmüştür.

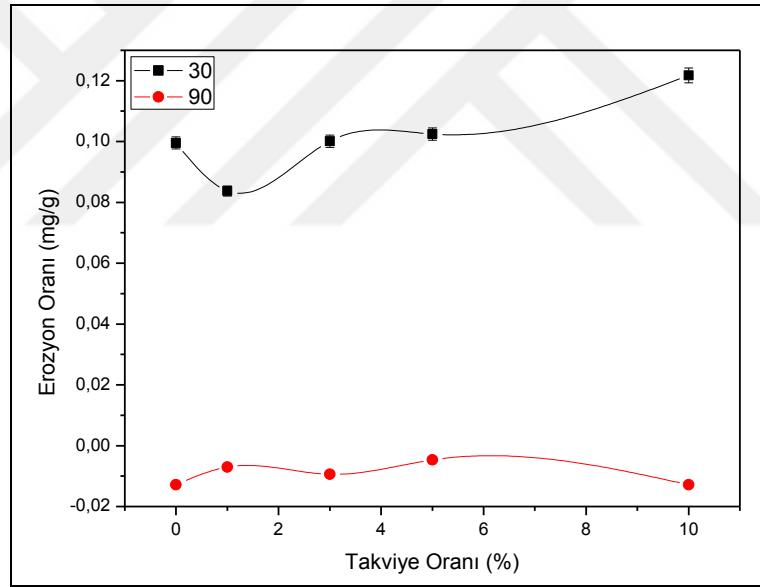
Gerçekleştirilen eroziyon aşınma testi sonucunda formül (4)'e göre hesaplanan erozyon oranı grafiği ve optik profilometre yardımı ile hesaplanan katı partikül erozyonu sonucu meydana gelen aşınma hacim miktarları Şekil 3.14. ve Şekil 3.15'te görülmektedir. Erozyon oranı sonuçlarının ışığında baktığımız takdirde 30° partikül çarpma açısında gerçekleşen deneylerde %1 midye kabuğu takviyesinin erozyon direncini %20 iyileştirdiği ancak artan takviye ile birlikte kompozit numunenin erozyon direncinin olumsuz etkilendiği görülmüştür. Hatta %10 midye kabuğu takviye edilmiş kompozit numunelerin saf PPS'ten dahi daha kötü erozyon direnci gösterdiği görülmüştür. 90° partikül çarpma açısında gerçekleşen deney sonuçlarındaki numunelerde, numune yüzeyine saplanan aşındırıcı partiküller sebebi ile kütle artışı meydana gelmiştir. Bu durumda grafiğe negatif erozyon oranı

şeklinde yansımıştır. Bu sonuçlar bize numulerimizin beklenildiği gibi yarı sünek aşınma davranışı sergilediği fikrini destekler niteliktedir. Aynı zamanda da yöntemin yetersiz kaldığını ve erozyon aşınması tespitinde başka bir metoda gereksinim olduğunu göstermektedir. Çünkü erozyon oranı metodu saplanan aşındırıcı partikülleri, kopup giden malzemenin ne kadarının matris ne kadarının takviye malzemesi olduğu bilgilerini göz ardı etmektedir. Bununla birlikte en önemlisi meydana gelen hasar mekanizmasının ne kadarının plastik deformasyon sonucu ne kadarının yüzeyden malzeme kopması sonucu oluştuğunu göz artı etmektedir. Görülen bu yetersizlikler sebebi ile erozif aşınmaya tabi tutulan malzeme yüzeyleri optik profilometre ile taranarak yüzeyde meydana gelen aşınma hacimleri tespit edilmiştir. Devamında (5) numaralı formül kullanılarak yüzeyde meydana gelen hasara ait plastik deformasyon miktarları hesaplanmıştır. Şekil 3.15'te optik profilometre ile hesaplanmış olan toplam hasar hacimleri görülmektedir ve bu grafik incelendiğinde 30° partikül çarpma açısında artan takviye ile birlikte meydana gelen aşınma hacminin azaldığı, yani numunelerin erozif aşınma direncinin arttığı görülmüştür. Buna karşılık 90° partikül çarpma açısında ise artan takviye ile birlikte malzenin aşınma hacmi miktarının artış gösterdiği, yani erozif aşınma direncinin olumsuz etkilendiği sonucu elde edilmiştir. 30° partikül çarpma açısında gerçekleştirilen deneylerde artan takviye ile birlikte meydana gelen erozyon hacmi %10 midye kabuğu takviye edilmiş kompozitlerde saf PPS'e kıyasla %50 kadar azalmıştır. 90° çarpma açısında gerçekleşen deneylerin sonuçlarına bakıldığında ise takviye oranı arttıkça erozyon direncinin düşüş sergilediği açık bir şekilde görülmektedir. Her iki açıda elde edilen sonuçlar da artan takviye ile birlikte kompozit numunelerin yarı sünek aşınma karakterinden gevrek aşınma karakterine geçtiğini göstermektedir. Yine optik profilometre ölçümleri göstermiştir ki 30° partikül çarpma açısında partikül takviyesi olumsuz değil olumlu yönde erozyon direncini etkilemiştir. 90° çarpma açısında elde edilen sonuçlar ise malzemenin hasara uğradığını açık bir biçimde göz önüne sererek kütleli ölçüme dayalı erozyon oranı metodunun yetersiz kaldığını ortaya koymuştur.

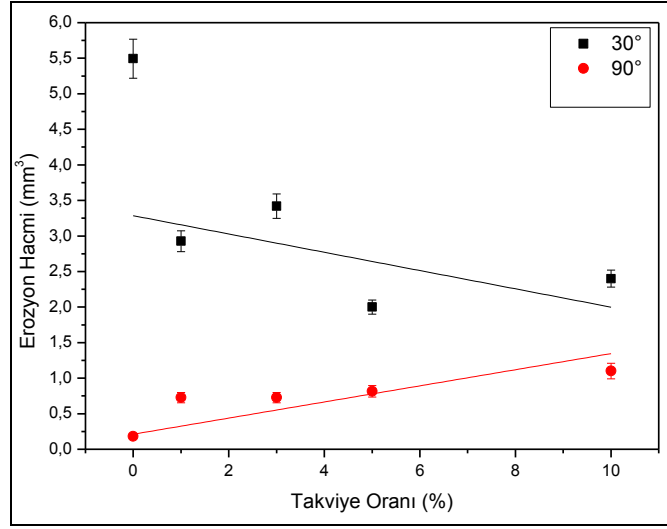
Erozyon hacimlerini hesaplayıp erozyon oranı metodunda göremediğimiz sonuçları elde edince çalışmayı bir aşama daha ileriye götürerek meydana gelen hasar mekanizmasında yer alan plastik deformasyon oranı üzerine çalışılmıştır. Plastik deformasyon oranı sonuçları da Şekil 3.16'te görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde açık bir şekilde görmekteyiz ki, her bir takviye oranı için 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon oranı 30° partikül çarpma açısında meydana

gelen plastik deformasyon miktarından fazladır. Yine sonuçlar incelendiğinde net bir şekilde görülmektedir ki; midye kabuğu takviyesi gerek çekme testi sonuçları gerekse çizilme testi sonuçları ile de paralel bir şekilde kompozit malzemeyi gevrek bir yapıya büründürmekte ve artan takviye ile birlikte malzemenin plastik deformasyon yeteneği %87 kadar düşüş sergilemektedir.

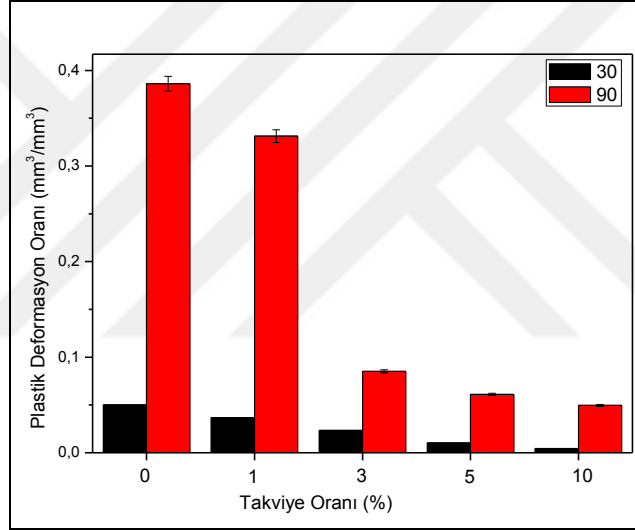
Takviye oranının aşınma yüzeylerinin pürüzlülüğü üzerine bir etkisi olup olmadığını gözlemlemek adına aşınmış yüzeylerden alınan ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 3.17’de verilmiştir. Burada ortalama pürüzlülük değerinin takviye oranı ile direkt bir ilişkisinin olmadığı ancak yüzeyin pürüzlülüğü üzerine partiküllerin çarpma açısının bariz bir şekilde etkisi olduğu görülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki tüm kompozit numunelerde 30° partikül çarpma açısında meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü 90° partikül çarpma açısında meydana gelen pürüzlülüğe nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bu durum yüzeylerin SEM incelemesi sırasında dikkate alınmıştır.



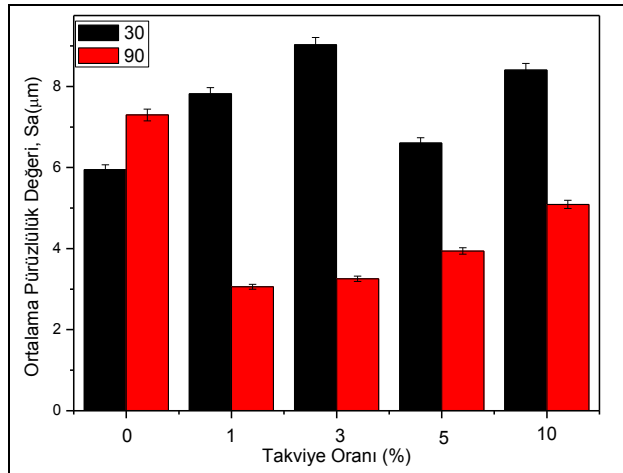
Şekil 3.14. Erozyon oranı sonuçları



Şekil 3.15. Erozyon hacmi değerleri

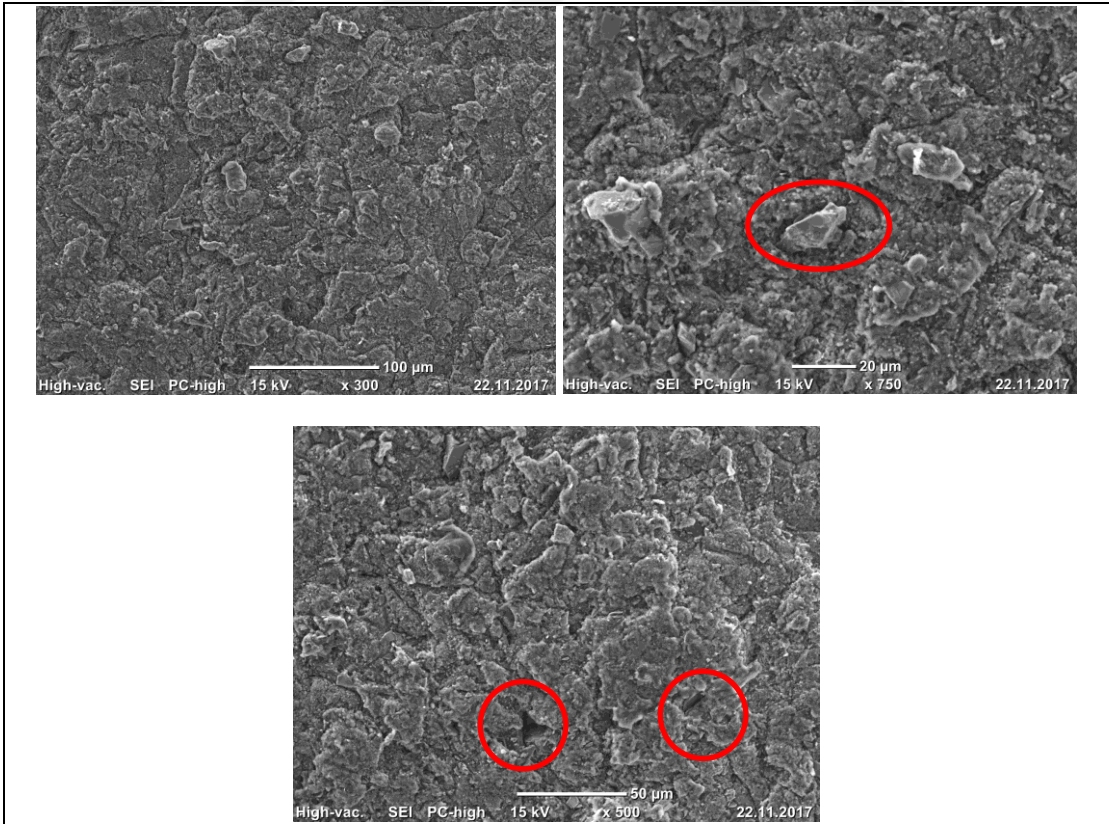


Şekil 3.16: Erozif aşınma sonucu plastik deformasyon sonuçları

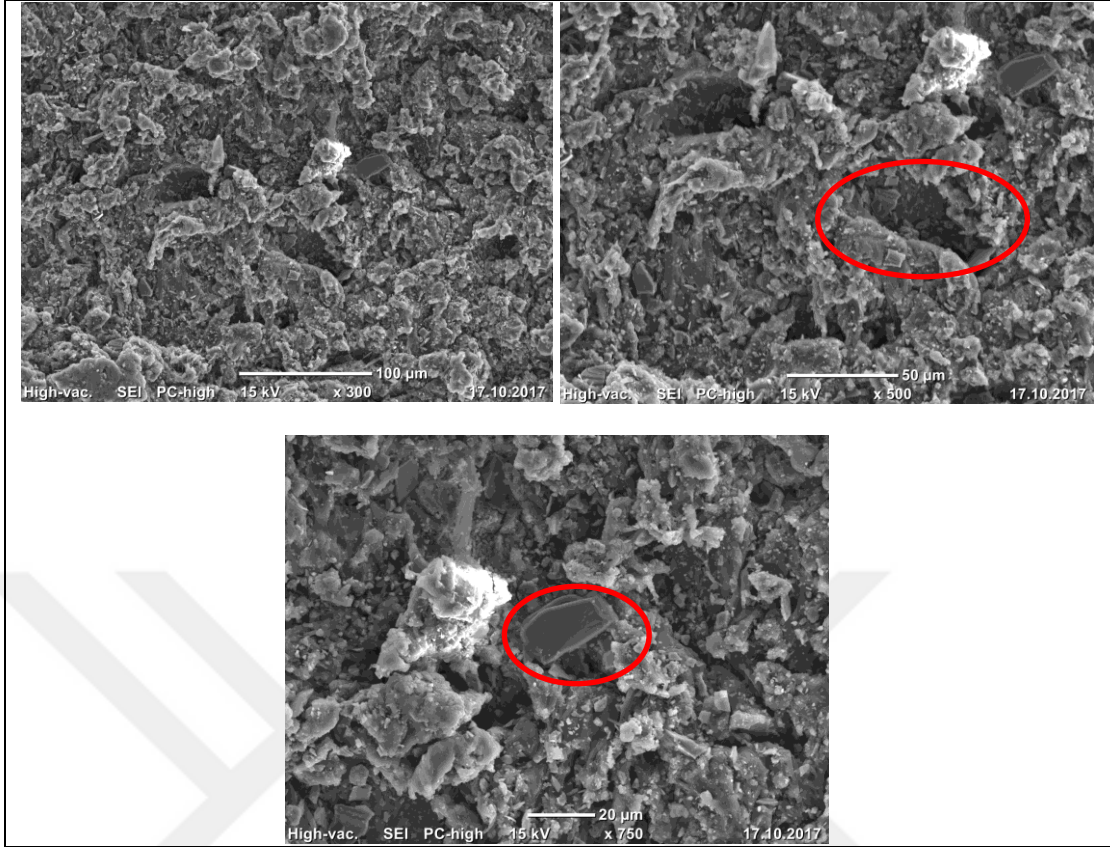


Şekil 3.17. Erozif aşınmaya maruz yüzeye ait ortalama pürüzlülük değerleri

Erozif aşınmaya maruz kalan numunelerin yüzeylerinde meydana gelen deformasyon mekanizmalarının daha detaylı incelenmesi amacı ile %10 midye kabuğu takviye edilmiş numune yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 3.18 ve 3.19'da verilmiştir. Öncelikle Şekil 3.18 incelendiğinde 90° çarpma açısında deforme olan yüzey görülmektedir. Yüzeyde yer alan dövülme izleri makro boyutta çatlak ve kırıklar hatta oyuk izleri ile birlikte numune yüzeyine saplanan aşındırıcı partikül taneleri net bir şekilde görülmektedir. Bu durum optik profilometre ile belirlemiş olduğumuz hem malzeme yüzeyinde plastik şekil değişimi olduğunu hem de 90° çarpma açısında hasar gören yüzeylerin pürüzlülüğünün neden daha fazla olduğunu destekler niteliktedir. Şekil 3.19'da ise 30° partikül çarpma açısında hasar gören yüzeyler görünmekte ve bu yüzeylerde hem süpürme izleri ve bununla birlikte yüzeyde meydana gelen yırtık sürünme izleri göze batarken, hem de aşındırıcı partiküllerin düşük çarpma açısında gerçekleştirdiği süpürme etkisi ile birlikte takviye partiküllerinin üzerinden aşınıp giden matrisler ve yüzeye çıkan takviye tanelerini açık bir şekilde görebilmekteyiz. Aynı zamanda bu durum, pürüzlülük değerinin dik açılarda oluşan değerlerden düşük açılarda oluşan değerlere kıyasla yüksek olmasına açıklık getirmektedir.



Şekil 3.18. %10 midye kabuğu partikülü takviye edilmiş, 90° partikül çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğraflar



Şekil 3.19. %10 midye kabuğu partikülü takviye edilmiş, 30° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları

3.3. Patlatılmış Perlit Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu

Farklı oranlarda tedarikçiden hazır olarak alınmış olan mikronize patlatılmış perlit takviye edilerek üretilmiş olan PPS kompozitlerin mekanik özellikleri belirlenmiştir

3.3.1. Çekme Testi

Tedarikçiden hazır olarak alınmış ve elekten geçirilmiş olan mikronize patlatılmış perlit takviye edilmiş PPS matrisli kompozitlere çekme testi uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 3.20'de verilmiştir. Şekil 3.20-a'daki çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde perlit takviyesinin PPS'in çekme dayanımını olumlu yönde etkidiği gözlenmiştir. Hatta %15 perlit takviye edilmiş kompozitlerin dayanım değerleri saf PPS'e kıyasla %13 artış göstermiş olup daha fazla yükleme yapıldığında dayanım değerinin azalma eğilimine girdiği görülmüştür. Yine grafik incelendiğinde her bir kompozitin saf PPS'ten daha yüksek çekme dayanımı gösterdiği açık bir şekilde görülebilmektedir. Partikül ile matris arayüzeyinin kuvvetli olması çekme dayanımı üzerinde olumlu etki yaptığı ve takviye oranı arttıkça arayüzey toplam alanı da

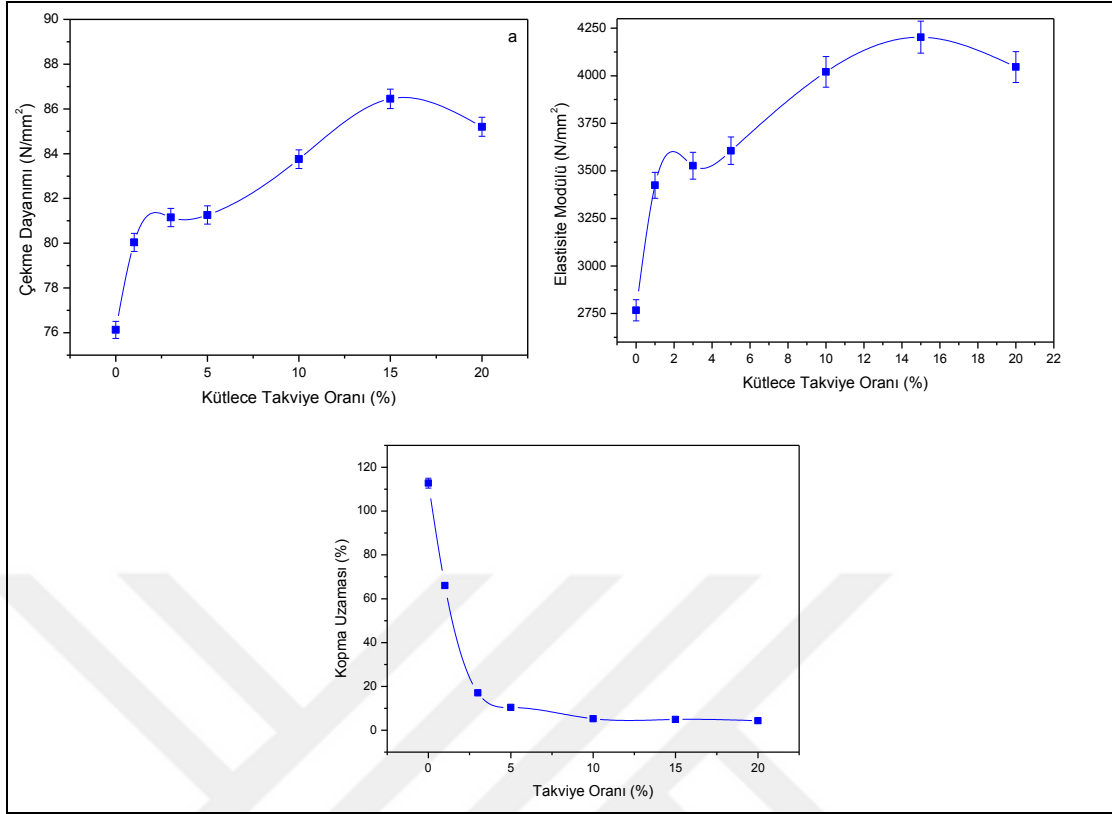
arttığından dolayı partikül takviye oranında meydana gelen artış çekme dayanımını da olumlu yönde etkilemektedir. Partikül takviyesi ile birlikte çekme dayanımının artması matris-takviye arası arayüzey tutunmasının iyi olduğu ve matrisin üzerine gelen yükü takviyeye aktarabildiği şeklinde açıklanabilir. Belli bir takviye oranının üzerinde ise partikül takviyesinin olumlu etkisinin olumsuzla dönmesi ise yüksek yükleme oranlarında topaklanmanın meydana geldiği ve bu sebeple matris-takviye arayüzey tutunmasında zayıflama olduğu için çekme dayanımının da düştüğü şeklinde açıklanabilir. [43, 48, 60, 65, 124].

Şekil 3.20-b incelendiğinde patlatılmış perlit takviyesinin elastisite modülü üzerine etkisi görülmektedir. Grafik incelendiğinde ise artan takviye ile birlikte elastisite modül değerinin yani malzemenin rijitliğinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Çekme dayanımı sonuçlarında olduğu gibi maksimum modül değeri %15 takviye edilmiş kompozit numunelerde elde edilmiş olup modül değeri yaklaşık %54 kadar artış göstermiştir. Yapılan literatür çalışmaları da göstermiştir ki; rijit partikül takviyesi ile birlikte elastisite modülünün artış göstermesi beklenen bir sonuçtur. Malzeme daha rijit ve aynı zamanda gevrek bir hal almaktadır [48, 64, 70, 75, 125-127].

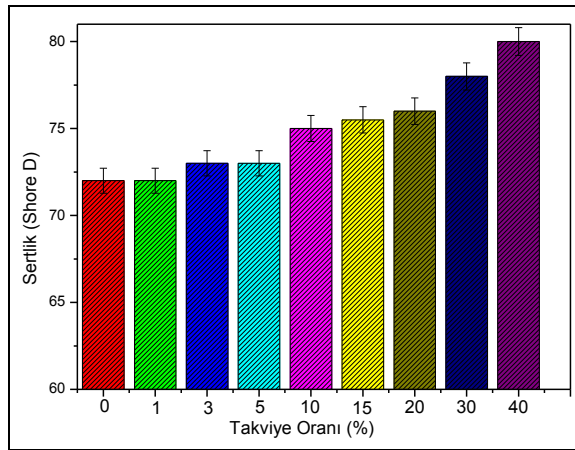
Şekil 3.20-c incelendiğinde patlatılmış perlit takviyesinin PPS'in kopma uzaması üzerine etkisi görülmektedir. Perlit partikülü takviyesi ile kopma uzaması %95 kadar azalmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ise elastisite modülüne paralel bir şekilde artan takviye oranı ile birlikte malzeme daha gevrek bir yapıya bürünmüş ve kopma uzaması giderek azalmış ve kırılgan bir hal almıştır. [48, 64, 70, 75, 125-127].

3.3.2. Sertlik Testi

Mikronize boyutta patlatılmış perlit takviyesinin sertlik üzerine etkisini görmek amacı ile Shore D sertlik testi uygulanmıştır. Test sonuçları Şekil 3.21'de verilmiş olup incelendiği takdirde artan patlatılmış perlit takviyesinin PPS'nin sertlik değerini yaklaşık %11 kadar artırdığı görülmüştür. Burada partikül miktarı arttıkça batıcı uç hem daha büyük oranda ihtimal ile takviye malzemelerine batmakta hem de partikül miktarı arttığı için partiküller matris içerisinde sıkışıp ilerleyememektedir [6].



Şekil 3.20. Mikronize patlatılmış perlit takviyesinin PPS' in (a) çekme dayanımı üzerine (b) elastisite modülü üzerine etkisi.

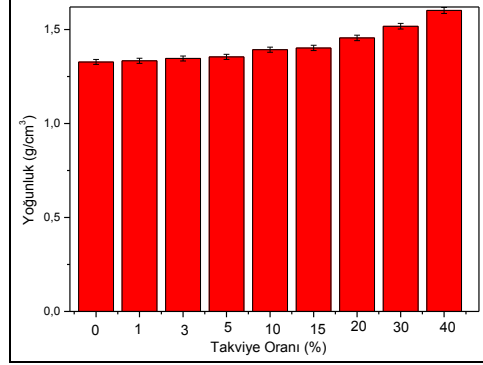


Şekil 3.21. Mikronize patlatılmış perlit partikülü takviyesinin sertlik üzerine etkisi

3.3.3. Yoğunluk testi sonuçları

Saf PPS ile midye kabuğu partikülü takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 3.22'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde patlatılmış perlit partiküllerinin yoğunluk değerinin PPS'ten yüksek olduğunu ve kompozit içindeki miktarı

arttıkça kompozit numunelerin de yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Takviye oranı %40'a ulaştığında yoğunluk değerininin saf PPS'ten yaklaşık %21 daha fazla olduğu görülmüştür.



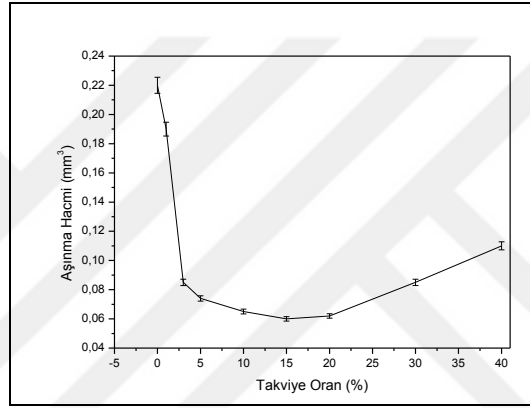
Şekil 3.22. Mikronize patlatılmış perlit partikülü takviyesinin yoğunluk üzerine etkisi

3.4. Patatılmış Perlit Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu

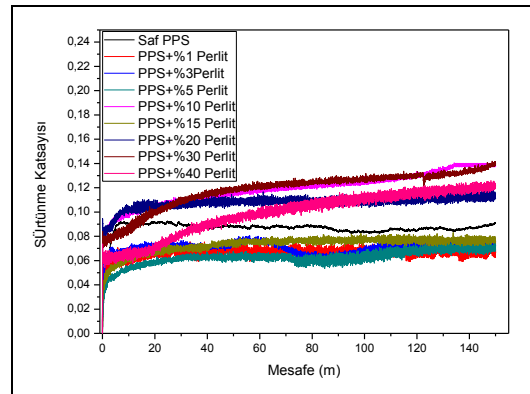
3.4.1. Bilya-disk Testi Sonuçları

Bilya-disk test metodu kullanılarak gerçekleştirilen adhezif aşınma testi sonucu meydana gelen aşınma hacmi değerleri Şekil 3.23'de verilmiştir. Mikronize perlit takviyesi ile PPS'in adhezif aşınma direncinin artış gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir. En düşük aşınma miktarı da %15-20 perlit takviye edilmiş kompozit numunelerde görülmüş ve aşınma hacim miktarı saf PPS'e kıyasla yaklaşık %73 azalmıştır. Bu orana kadar artan takviye ile birlikte aşınma direnci de artmıştır ancak %20 takviyenin üzerinde bu eğilim negatif yöne dönmüştür. Bununla birlikte grafik bütünüyle incelendiğinde, her bir kompozit numunenin saf PPS'ten daha az aşındığını yani daha iyi aşınma direnci sergilediğini görmekteyiz. Bu durum hem rijit takviye ile birlikte numune sertliğinin artması hem de bu sert takviye partiküllerinin matrisle iyi tutunarak aşındırıcı uca karşı direnç göstermesi ile açıklanabilir. Matris-partikül arasındaki mukavemetin yüksek olması, plastik deformasyon eşiğinin yüksek olması aşınma esnasında partiküllerin yerinden çıkma sürecini mümkün kılmamış ve aşınma dayanımını net bir şekilde arttırmıştır. Şekil 3.24'te verilen aşınma prosedürü süresince oluşan sürtünme katsayısı grafikleri de bu durumu destekler niteliktedir. Şekil 3.24'te görüldüğü üzere deney süresince partikül takviyeli kompozit numunelerde saf polimer gibi denge durumu rejimde devam etmiş olup partiküllerin yerinden çıkarak harici abrazif aşındırıcı gibi davranmayıp aksine

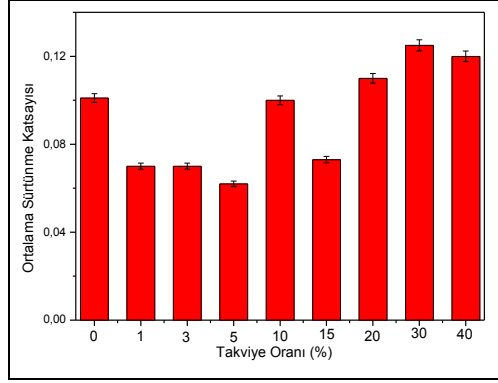
aşınmaya karşı direnç oluşturduğu sonucuna varılabilir. %20 takviye oranının üzerinde aşınma eğiliminin artış göstermesi ise çekme sonuçlarında da gözlemlendiğimiz gibi artan takviye miktarı ile topaklanma meydana gelerek partikül-matris tutunma yüzeyinin azalması şeklinde açıklanabilir [87, 89, 91, 92]. Şekil 3.25'te numunelere ait ortalama sürtünme katsayı değerleri verilmiş olup %20 takviyeye kadar olan kompozit numunelerin sürtünme katsayısı değeri saf PPS'ten düşüktür. %20 ve üzeri takviye edilmiş kompozitlerde ise bu değer saf PPS'ten yüksek çıkmıştır. Grafik incelendiğinde sürtünme katsayısı üzerine takviye oranının tam belirgin bir etkisinin olmadığı ve sürtünme katsayısı ile aşınma direnci arasında net bir bağıntı olmadığı görülmüştür.



Şekil 3.23. Adhezif aşınma testi sonucu

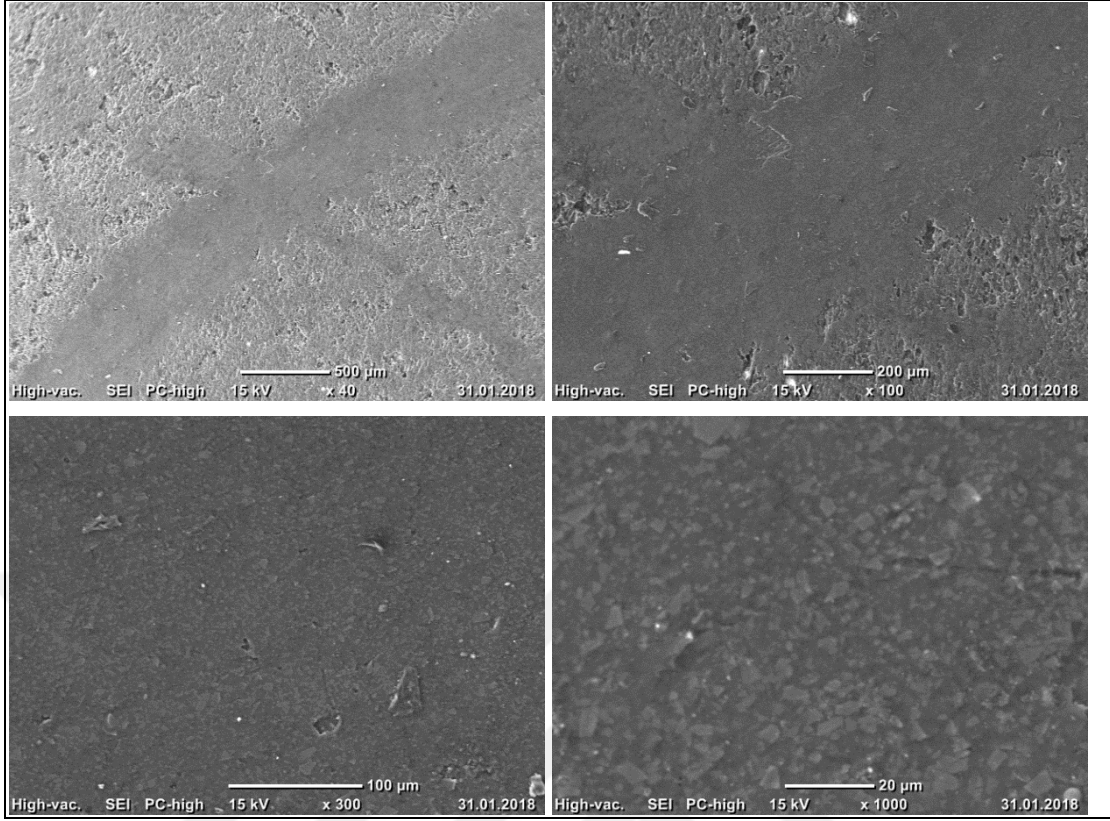


Şekil 3.24. Bilya-disk testi süresince anlık sürtünme katsayısı değişimi

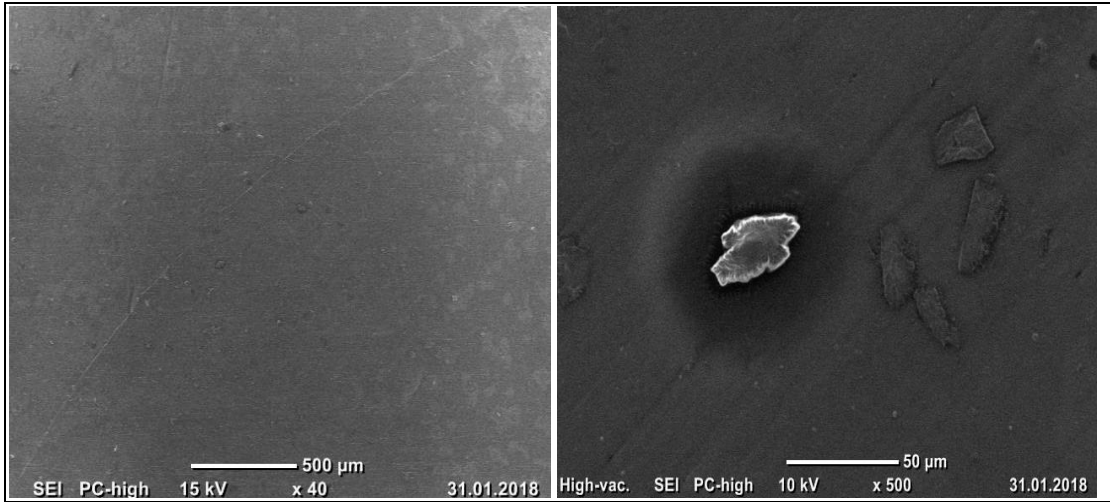


Şekil 3.25. Ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Şekil 3.26 ve 3.27’de %40 ve %15 patlatılmış perlit takviye edilmiş PPS kompozitlerin adhezif aşınmaya maruz kalan yüzeylerine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflar detaylı bir şekilde incelendiğinde, %40 takviye edilmiş numunelerin aşınmaya tabi olmayan yüzeylerinin dahi pul pul olduğu, yani başka bir ifade ile matris takviye tutunmasının yetersiz olduğu açık bir şekilde görülebilmektedir. Bununla birlikte aşınma izlerinin detaylı incelenmesi sonucunda ise yüzeyde makro boyutlu çatlaklar, tanelerin yerinden çıkması münasebeti ile oluşan boşluklar göze çarpmaktadır. Bu durumda yüksek takviye oranlarında aşınma direncinin artan takviye ile birlikte neden kötüleşmeye başladığı cevap bulmaktadır. Şekil 3.27’de ise %15 patlatılmış perlit takviye edilmiş kompozit numuneye ait SEM fotoğrafı yer almaktadır. Bu fotoğraflar incelendiğinde, aşınma izi derinliğinin çok sığ olduğu ve aşındırıcı bilyenin numune yüzeyine derin bir şekilde nüfuz edemediği görülmektedir. Bir diğer fotoğrafta ise aşınma sırasında üstündeki matris tabakası süpürülmüş bir şekilde bulunan takviye tanesi görülmekte ve bu takviye tanesinin matrise iyi tutunarak yerinden çıkmayarak aşınmaya direnç gösterdiği görülmektedir. Bu durum hem mekanik özelliklerde hem de adhezif aşınma direncinde açıkladığımız güçlü matris-takviye tutunmasını ispatlar nitelikte bir görüntüdür.



Şekil 3.26. %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş PPS kompozitlerin adhezif aşınmaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları

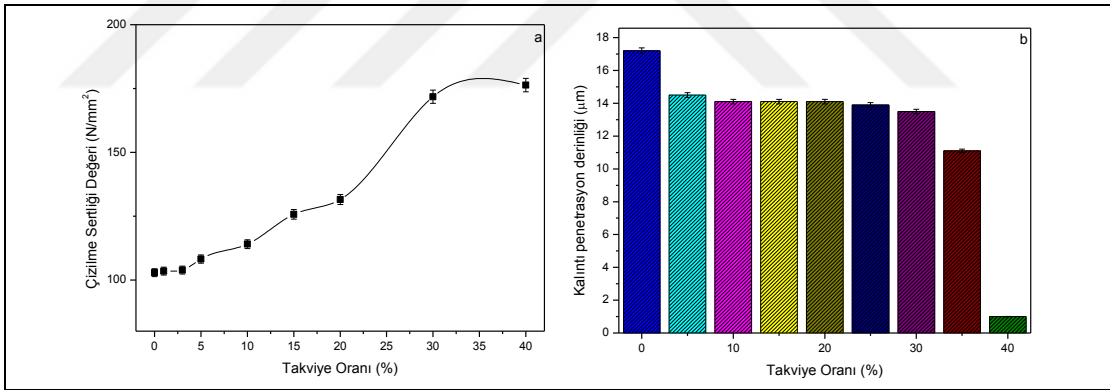


Şekil 3.27. %15 patlatılmış perlit takviye edilmiş PPS kompozitlerin adhezif aşınmaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları

3.4.2. Çizilme testi sonuçları

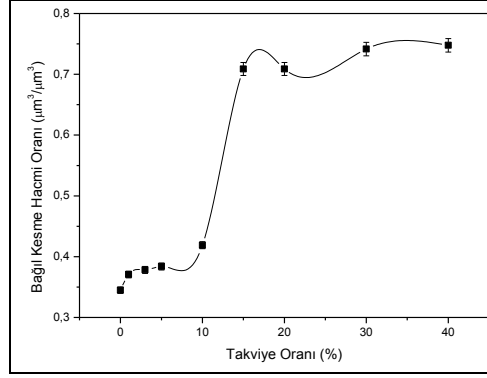
Patlatılmış perlit takviyeli PPS kompozit numunelerinin yüzey çizilme dirençlerinin tespiti için gerçekleştirilen çizilme testi sonuçları şekil 3.28’de verilmiştir. Şekil 3.28-a incelendiğinde çizilme sertliği sonuçları görülmektedir. Grafik incelendiğinde

patlatılmış perlit partikülü takviyesi ile birlikte çizilme sertliği değerinin saf PPS'e kıyasla %75 kadar artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum patlatılmış perlit tanelerinin daha sert ve rijit yapıları sebebi ile üretilen kompozitlerin daha rijit olmasından ileri gelmektedir. Keza çekme testi sonucu elde edilen elastisite modül sonuçları da bu durumu destekleyici nitelikte yer almaktadır. Başka bir ifadeyle numunenin modül değerinin artması ile birlikte batıcı ucun numune içerisine nüfuz etmesinin de zorlaştığı şeklinde açıklanabilir [79,81]. Numunelere ait sertlik test sonuçları da yine hem modül hem de çizilme sertliği sonuçlarını destekler şekilde olup patlatılmış perlit takviyesi ile numunelere ait sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Şekil 3.28-b incelendiğinde ise çizilme sertliği değerine paralel bir şekilde artan takviye ile birlikte kalıcı penetrasyon derinliği düşüş sergilemiş yani batıcı uç numune içerisine modül arttığı için nüfuz edememiştir. Bu da göstermiştir ki hem çizilme sertliği sonuçları ile kalıcı derinlik sonuçları hem de modül ve sertlik değerleri birbirlerine paralel sonuçlar sergilemiştir. Bu sonuçlar ışığında malzemenin çizilme karakterinin malzemenin hem sertlik değerine hem de rijitliğine bağlı olduğu görülmüştür.



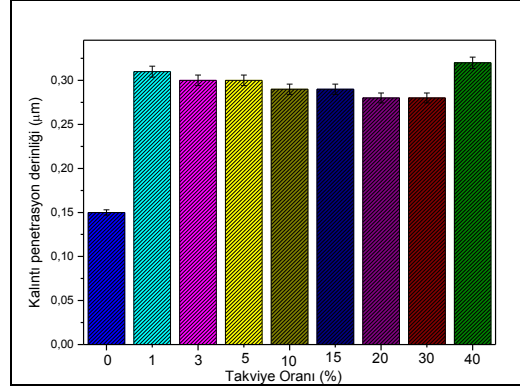
Şekil 3.28. Çizilme testi sonucu; a) Çizilme sertlik değeri, b) Kalıntı penetrasyon derinliği

Şekil 3.29' de ise geleneksel çizilme sonuçları dışında kalan bağıl kesme hacmi sonuçları verilmiştir. Bu inceleme ile meydana gelen çizilme hasarının ne şekilde gerçekleştiği gözlemlenebilmektedir. Başka bir ifade ile meydana gelen aşınmanın ne kadarının malzeme kazınması ne kadarının ise plastik deformasyon sonucu meydana geldiğinin cevabı bulmaktadır. Grafik incelendiğinde artan takviye ile değerlerin 1'e yaklaştığını, yani kazınmanın baskın mekanizma haline geldiğini görebilmekteyiz. Bu durum numunelerin artan takviye ile gevrekleştiği ve plastik deformasyon yeteneğinin düştüğü şeklinde açıklanabilir [82,121].

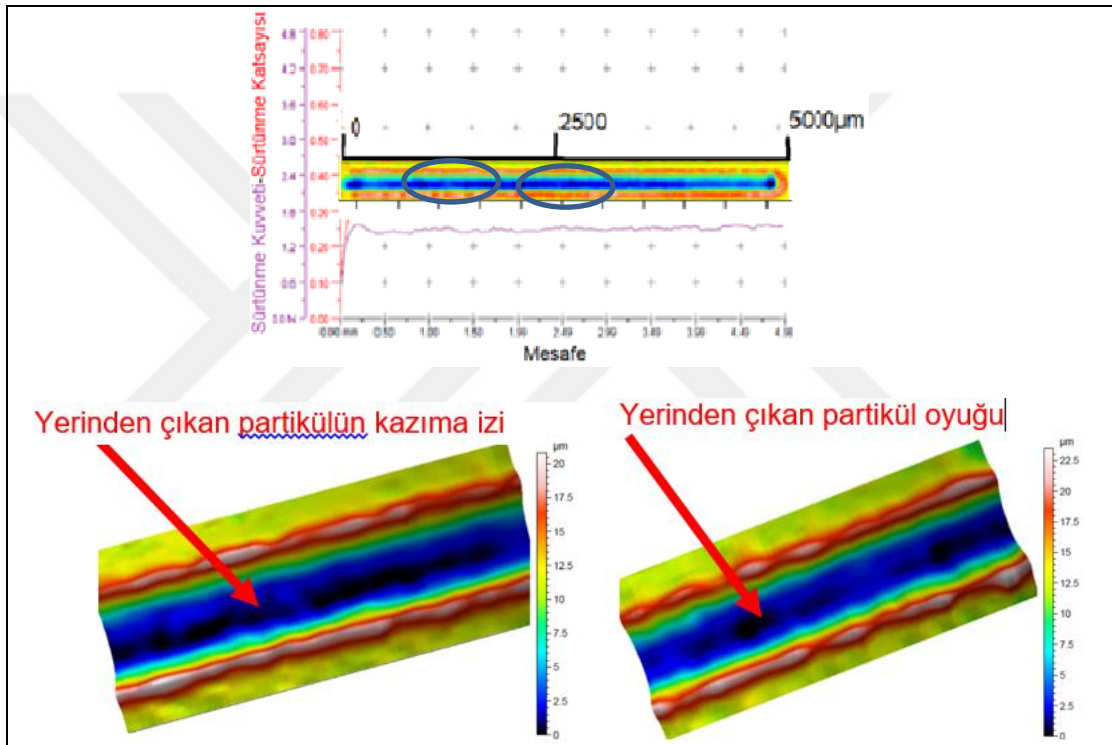


Şekil 3.29. Bağlı Kesme Hacim oranı

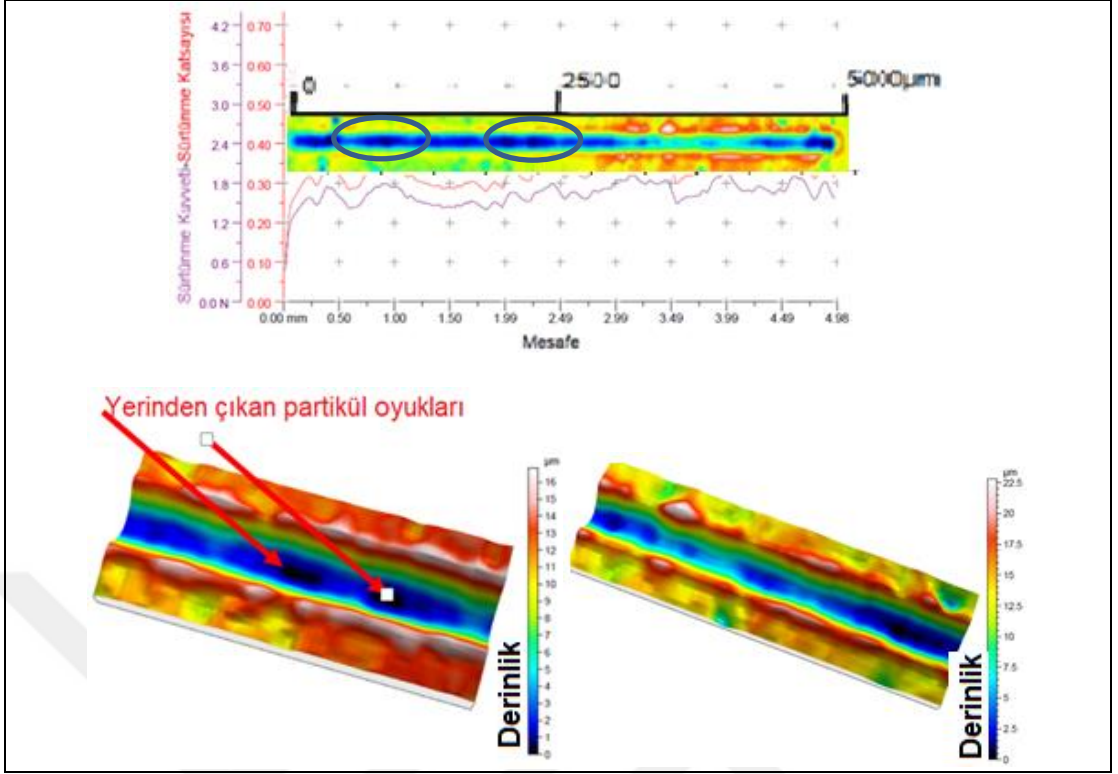
Şekil 3.30'da ise numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri görülmektedir ve kompozit numunelerin saf PPS'e ait pürüzlülük değerinin yaklaşık %100 arttığı görülmektedir. Yani çizilme izine ait yüzey kalitesinin takviye ile birlikte kötüleştiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu kötüleşmenin sonucunu açıklamak için Şekil 3.31 ve 3.32'da yer alan %15 ve %40 patlatılmış perlit takviyeli kompozitlere ait optik profilometre fotoğrafları ile deney süresince ölçülen sürtünme kuvveti grafikleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda açık bir şekilde görülmektedir ki, Şekil 3.31' de yer alan %15 perlit takviyeli kompozit yüzeyinde kısmen az da olsa yerinden çıkan taneler ve oyuklar görülmektedir. Kısacası yerinden çıkan taneler yüzeyde kazıma görevi görerek pürüzlülüğü artırmaktadır. Şekil 3.32 incelendiğinde, %40 patlatılmış perlit partikülü takviyeli numunelerin adhezif aşınma SEM fotoğraflarında da görüldüğü gibi kendinden pürüzlü yüzeyi bulunması matris takviye tutunmasının yetersiz olması nedeni ile yerinden çıkan taneciklerin oluşturduğu oyuklar ve bu yerinden çıkan tanelerin batıcı ucun önünde kazıyıcı gibi davranarak yüzeyde abrazif aşınma meydana getirdikleri görülmektedir. Yine hem şekil 3.31' de yer alan %15 patlatılmış perlit takviyeli kompozite ait hem de şekil 3.32'de yer alan %40 patlatılmış perlit takviyeli kompozite ait sürtünme kuvveti eğrisi incelendiğinde sürtünme kuvveti eğrisinin stabil ilerleyemediği anlık yükselmeler olduğu görülmekte ve profilometre fotoğraflarında anlık yükselmelerin gerçekleştiği bölgelere odaklanıldığında bu anlık sıçramaların takviye edici partiküllerin yerinden çıktığı bölgelere denk geldiği görülmektedir.



Şekil 3.30. Ortalama sürtünme katsayısı



Şekil 3.31. %15 patlatılmış perlit takviye edilmiş PPS'e ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti ile sürtünme katsayısı eğrisi değişimi



Şekil 3.32. %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş PPS kompozite ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti eğrisi değişimi

3.4.3. Eroziyon aşınma testi sonuçları

Patlatılmış perlit takviyeli PPS kompozitlerin eroziyon davranışını incelemek üzere 3 bar püskürtme basıncı ile 80 mesh boyutlu alümina partikülleri 30 ve 90° açılardan numunelerin üzerine püskürtülmüştür.

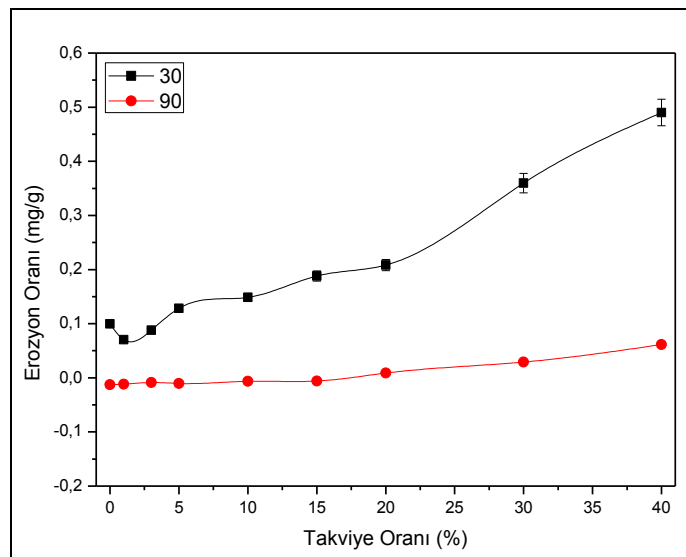
Gerçekleştirilen eroziyon aşınma testi sonucunda formül (4)'e göre hesaplanan erozyon oranı grafiği Şekil 3.33'te görülmektedir. Şekil 3.33'te verilmiş olan erozyon oranı sonuçları incelendiğinde 30° partikül çarpma açısında gerçekleşen deneylerde %1 patlatılmış perlit takviyesinin erozyon direncini %30 iyileştirdiği, ancak artan takviye ile birlikte kompozit numunenin erozyon direncinin olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Hatta %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş kompozit numunelerin saf PPS'e kıyasla %400 daha fazla erozyon oranı sergilediği görülmektedir. 90° partikül çarpma açısında gerçekleşen deney numunelerinde ise numune yüzeyine saplanan aşındırıcı partiküller sebebi ile kütle artışı meydana gelmiş, bu durum da %20 takviye oranına kadar grafiğe negatif erozyon oranı şeklinde yansımıştır. Yani aşındırıcı partiküllerin hedef numuneye çarpması sonucunda numunelerde başlangıç kütlelerine kıyasla kütle artışı tespit edilmiştir. %20 ve üzeri takviye oranlarında ise erozyon oranı negatif değerden pozitif değere geçiş sergilemiştir. Bu

da numunelerin iyice gevrek yapıya geçtiğini ve hatta aşındırıcı tanelerin yüzeye saplanıp kalmak yerine numune yüzeyini parçalayarak dökülmesine sebebiyet vermesinden ileri gelmektedir. Bununla birlikte grafiğin bütünü incelendiği takdirde ise bütün takviye oranları için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinin 90° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinden yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu sonuçlar bize numulerimizin beklenildiği gibi yarı sünek aşınma davranışı sergilediği fikrini destekler nitelikte olup aynı zamanda da yöntemin yetersiz kaldığını ve erozyon aşınması tespitinde başka bir metoda gereksinim olduğunu bir kere daha göstermiştir. Çünkü erozyon oranı metodu saplanan aşındırıcı partikülleri, kopup giden malzemenin ne kadarının matris ne kadarının takviye malzemesi olduğu bilgilerini göz ardı etmektedir. En önemlisi de bu metod meydana gelen hasar mekanizmasının ne kadarının plastik deformasyon sonucu ne kadarının ise yüzeyden malzeme kopması sonucu oluştuğunu göz ardı etmektedir. Görülen bu yetersizlikler sebebi ile erozif aşınmaya tabi tutulan malzeme yüzeyleri optik profilometre ile taranarak yüzeyde meydana gelen hasar hacimleri tespit edilmiştir. Devamında (5) numaralı formül kullanılarak yüzeyde meydana gelen hasara ait plastik deformasyon miktarları hesaplanmıştır. Şekil 3.34'te optik profilometre ile hesaplanmış olan toplam hasar hacimleri görülmektedir ve bu grafik incelendiğinde 30° partikül çarpma açısında gerçekleştirilen deneylerde %15 takviye oranına kadar erozyon hacimlerinde çok belirgin bir değişim olmadığı, ancak devamında artan takviye oranı ile birlikte meydana gelen erozyon oranında ani bir artış trendi göze çarpmaktadır. Bu durum %15 takviye oranına kadar matris-takviye tutunmasının iyi olduğu ancak artan takviye ile bu tutunmanın yetersiz olup gelen darbelerle birlikte aşındırıcı karşısında numunelerin direnç gösterememesi şeklinde açıklanabilir. 90° çarpma açısında gerçekleşen deneylerin sonuçlarına bakıldığında ise takviye oranı arttıkça erozyon direncinin düşüş sergilediği açık bir şekilde görülmektedir. Bu olumsuz trend ise artan takviye ile birlikte numunenin gevrek aşınma karakteri sergilemesi ile rahat bir şekilde açıklanabilmektedir. Yine optik profilometre 90° çarpma açısında elde edilen sonuçlarda malzemenin hasara uğradığını açık bir biçimde göz önüne sererek kütsel ölçüme dayalı erozyon oranı metodunun yetersiz kaldığını ortaya koymuştur.

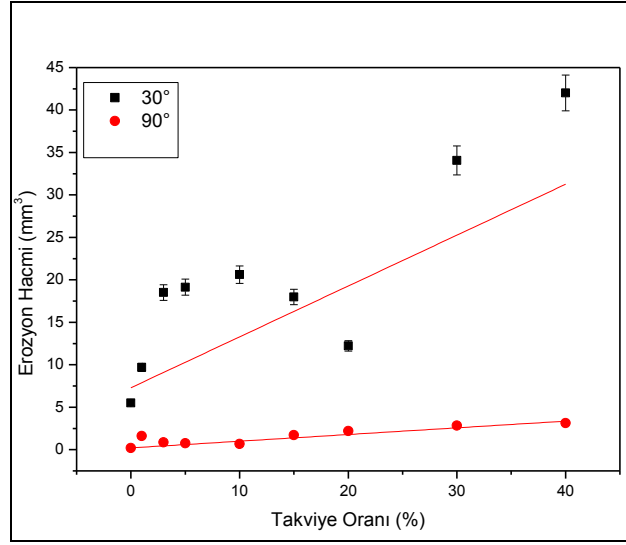
Erozyon hacimlerini hesaplayıp erozyon oranı metodunda göremediğimiz sonuçları elde edince çalışmayı bir aşama daha ileriye götürerek meydana gelen hasar mekanizmasında yer alan plastik deformasyon oranı üzerine çalışılmıştır. Plastik

deformasyon oranı sonuçları da Şekil 3.35'te görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde açık bir şekilde görülmektedir ki; her bir takviye oranı için 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon oranı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından fazladır. Hatta saf PPS'in değerlerine bakıldığında 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarının 6 kat kadar fazlasıdır. Yine sonuçlar incelendiğinde net bir şekilde görülmektedir ki; patlatılmış perlit takviyesi çekme testi sonuçları ile de paralel bir şekilde kompozit malzemeyi gevrek bir yapıya büründürmekte ve artan takviye ile birlikte malzemenin plastik deformasyon yeteneği düşüş sergilemektedir. %40 perlit takviye edilen kompozit numunelerin plastik deformasyon oranı saf PP'ye kıyasla %95 azalmıştır.

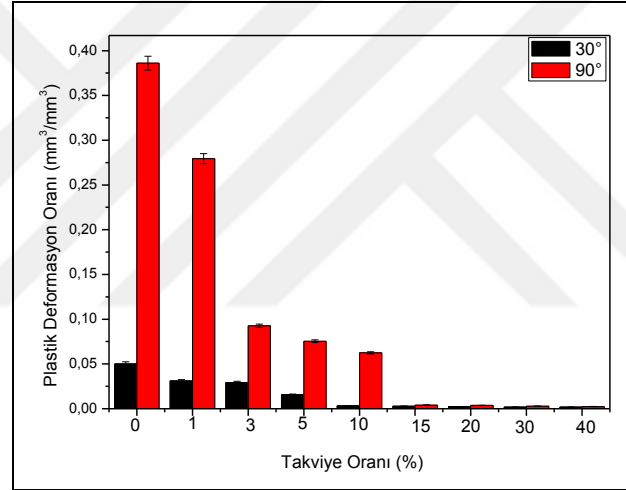
Takviye oranının erozif aşınmaya uğramış yüzeylerinin pürüzlülüğü üzerine bir etkisi olup olmadığını gözlemlemek adına aşınmış yüzeylerden alınan ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 3.36'da verilmiş olup ortalama pürüzlülük değerinin 30° partikül çarpma açısında gerçekleştirilen deneylerde artan takviye oranı ile birlikte artış sergilediği 90° partikül çarpma açısında gerçekleştirilen deneylerde ise artan takviye ile birlikte %20 takviye oranına kadar artan takviye ile birlikte pürüzlülük değerinin düşüş sergilediği, ancak %20 ve üzeri takviye oranlarında artan takviye ile birlikte pürüzlülüğün arttığı görülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki; tüm kompozit numunelerde 30° partikül çarpma açısında meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü 90° partikül çarpma açısında meydana gelen pürüzlülüğe nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bu durum yüzeylerin SEM incelemesi sırasında dikkate alınmıştır.



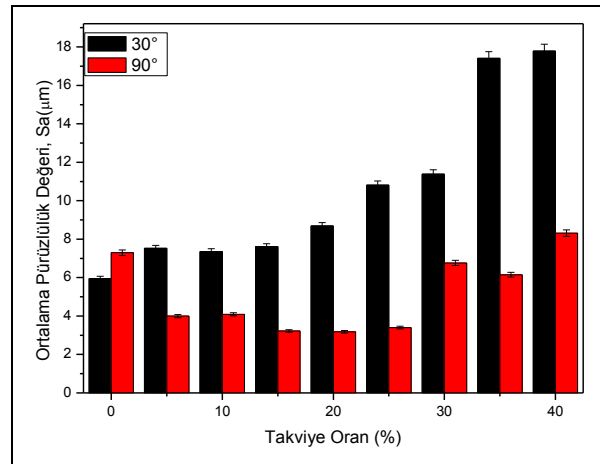
Şekil 3.33. Erozyon oranı sonuçları



Şekil 3.34. Erozyon hacmi değerleri

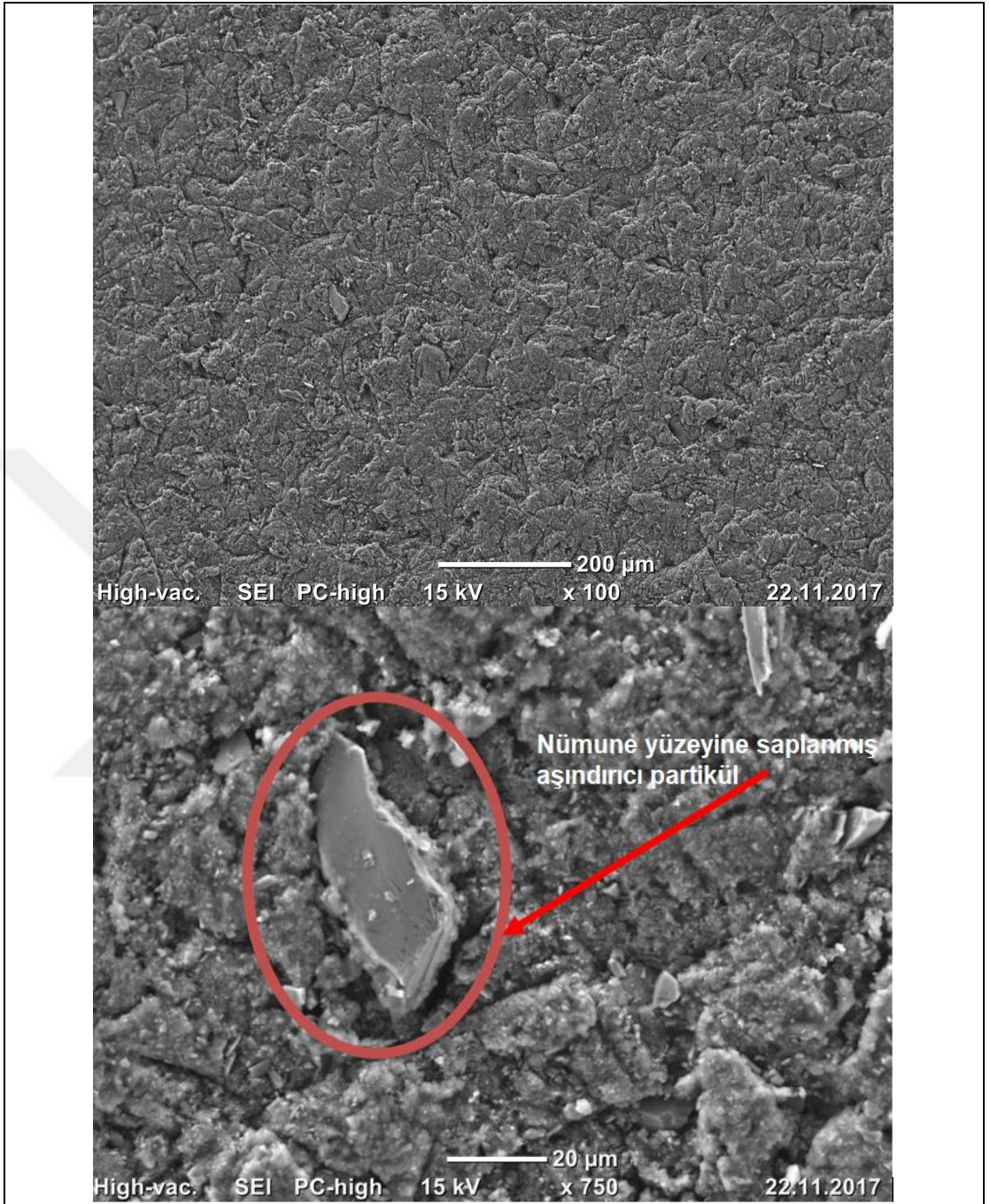


Şekil 3.35. Eroziyon aşınma sonucu plastik deformasyon sonuçları

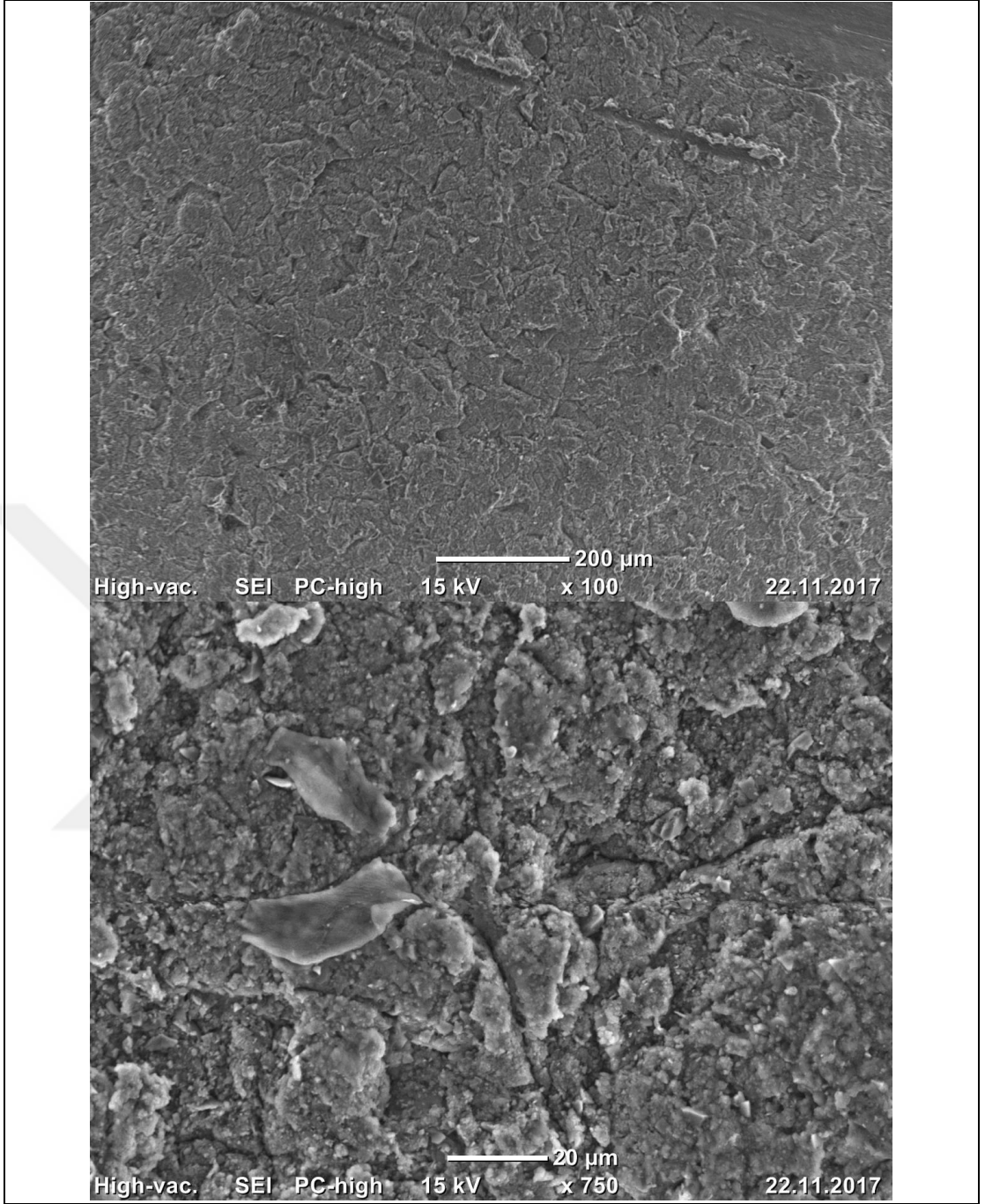


Şekil 3.36. Eroziyon aşınmaya maruz yüzeye ait ortalama pürüzlülük değerleri

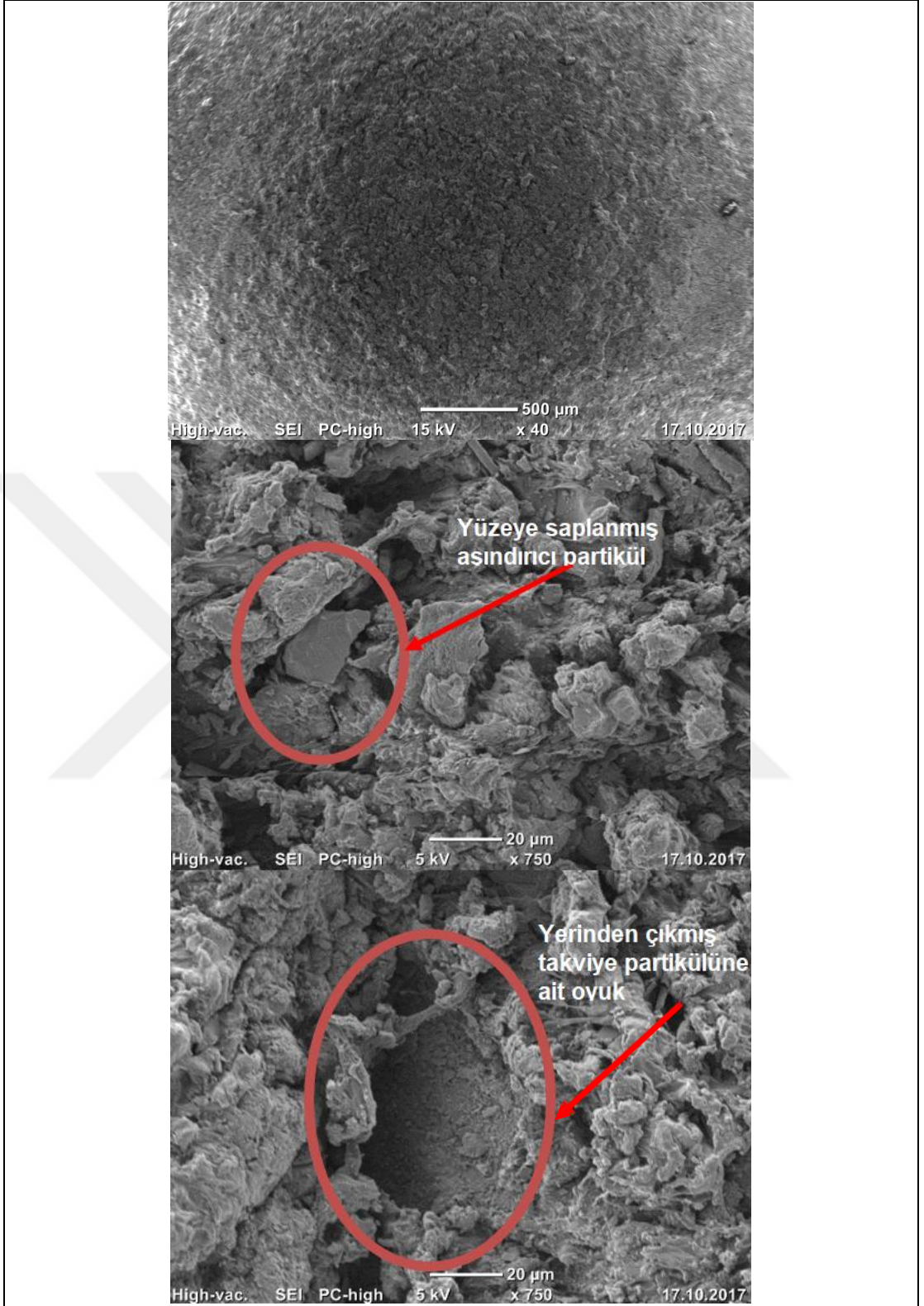
Erozif aşınmaya maruz kalan numunelerin yüzeylerinde meydana gelen deformasyon mekanizmalarının daha detaylı incelenmesi amacı ile %5 ve %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş numune yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 3.37, 3.38, 3.39 ve 3.40'de verilmiştir. Öncelikle Şekil 3.37 incelendiği zaman, %5 patlatılmış perlit takviye edilmiş numuneye ait 90° çarpma açısında deforme olan yüzey görülmektedir. Bununla birlikte yüzeyde yer alan dövülme izleri, makro boyutta çatlak ve kırıklar ile birlikte numune yüzeyine saplanan aşındırıcı partikül taneleri de net bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.38'de ise %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş numuneye ait 90° çarpma açısında deforme olan yüzeye ait SEM fotoğrafları yer almaktadır. Bu görüntüler incelendiğinde ise dövülen yüzeylerde ufalanma ve dökülme şeklinde yapıların varlığı göze çarpmaktadır. Bu da yüksek oranda takviye ile birlikte kompozit üzerinde matrisin etkinliğinin azalarak gevrek ve kırılgan bir yapıya büründüğünün hatta matris ve takviyenin homojen bir şekilde karışmayarak düzgün tutunmanın olmadığını göstermektedir. %5 takviye ile benzer şekilde yüzeyde kırık ve çatlak izleri de göze çarpmaktadır. Şekil 3.39'da %5 patlatılmış perlit takviye edilmiş numuneye ait 30° partikül çarpma açısında hasar gören yüzeyler görülmektedir. Bu yüzeylere ait fotoğraflar incelendiği takdirde yüzeyde mikro ve makro boyutta sünme izleri göze çarparken aşındırıcı tanelerin oluşturmuş olduğu pulluk izleri ile birlikte yüzeye saplanmış aşındırıcı taneler ve aşındırıcı tanelerin yerinden söküp attığı takviye tanelerine ait oyuklar dikkat çekmektedir. Şekil 3.40'ta ise %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş numuneye ait 30° partikül çarpma açısında hasar gören yüzeyler görülmektedir. Bu fotoğraflarda ise derin oyuk ve kazıma izleri ön plana çıkarken hem yüzeye saplanan aşındırıcı partikülün kazıma izinin sonunda saplanıp kaldığı fotoğraf göze çarparken, bir diğer fotoğrafta ise üstündeki matrisin aşındırıcı tarafından süpürülmesi sonucu ortaya çıkan partikül göze çarpmaktadır. SEM ve optik profilometre incelemeleri yardımı ile ortaya koyulan; 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon değerinin 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından yüksek çıkmasını destekler niteliktedir. Çünkü, düşük çarpma açısında aşındırıcı partiküller yüzeyden gerek süpürme şeklinde gerekse kazıma şeklinde malzemeyi kaldırıp götürürken dik ve dike yakın açılarda ise yüzeyde dövme şeklinde hasar meydana getirmektedir.



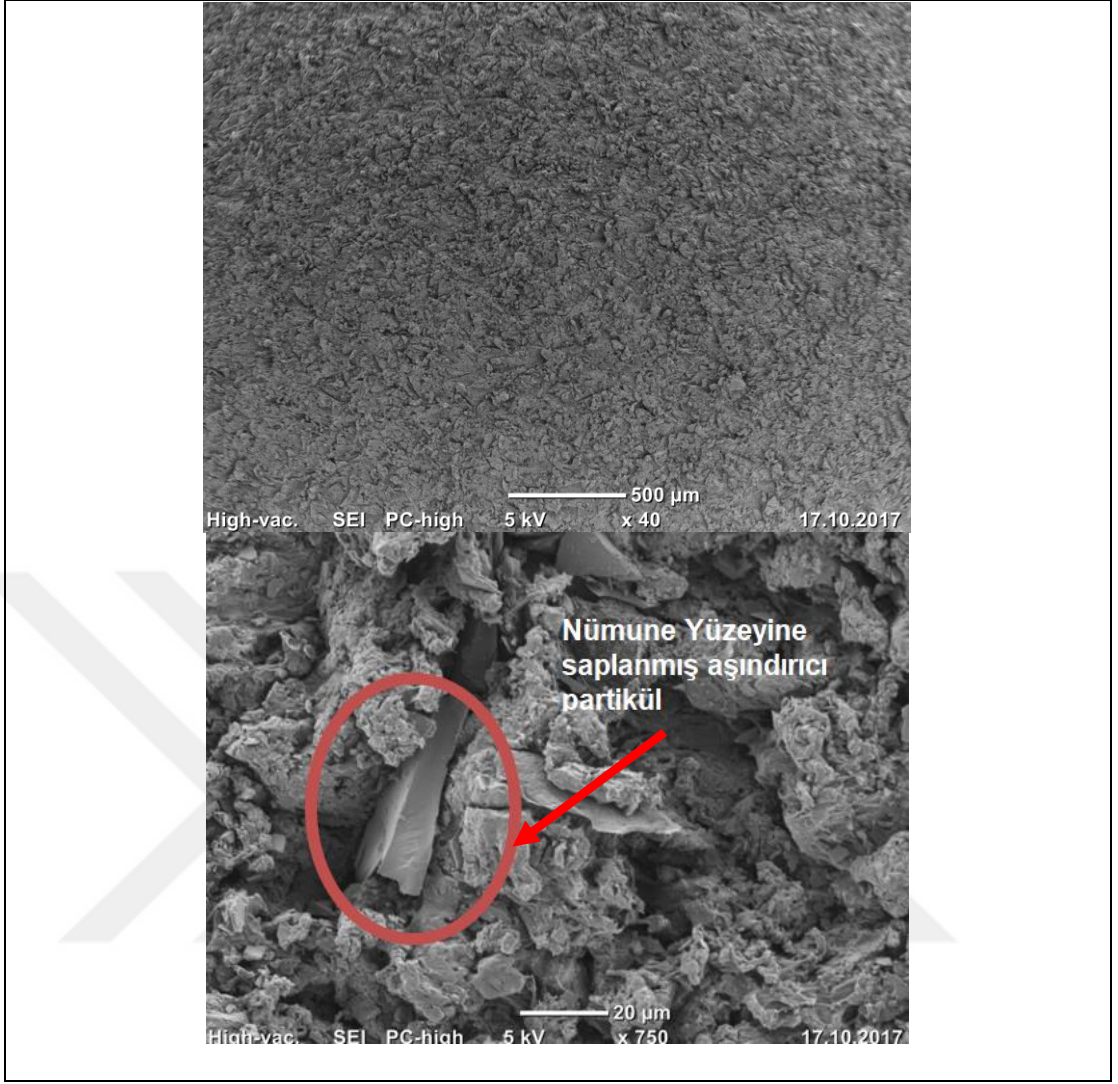
Şekil 3.37. %5 patlatılmış perlit takviye edilmiş numunelere ait 90° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları



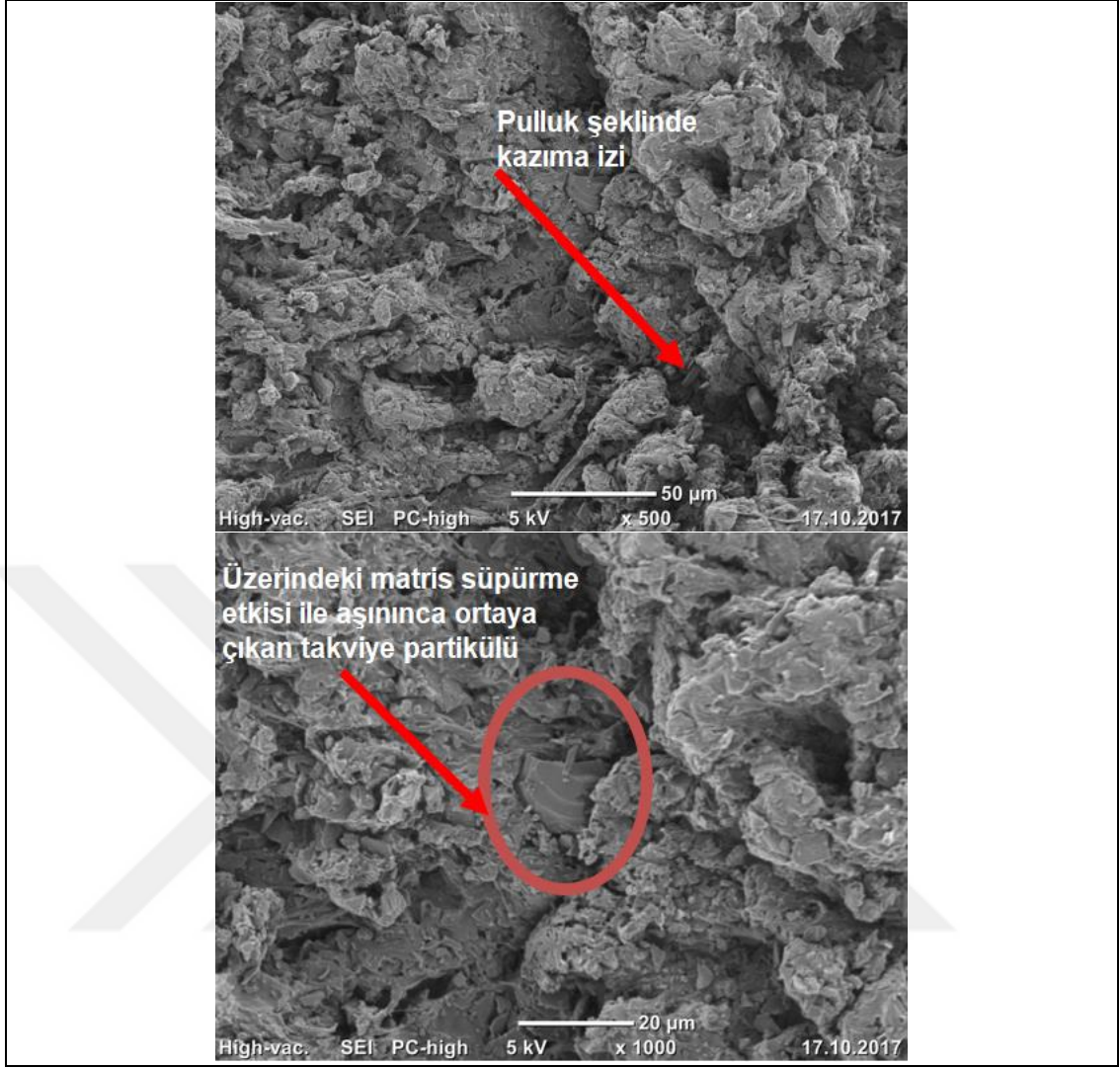
Şekil 3.38. %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş numunelere ait 90° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.39. %5 patlatılmış perlit takviye edilmiş numunelere ait 30° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.40. %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş numunelere ait 30° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.40 (devamı). %40 patlatılmış perlit takviye edilmiş numunelere ait 30° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları

3.5. Olivin Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu

Tedarikçiden hazır olarak alınmış olan olivin mineralinin farklı oranlarda takviye edilmesi ile üretilmiş olan PPS kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için mekanik testler uygulanmıştır.

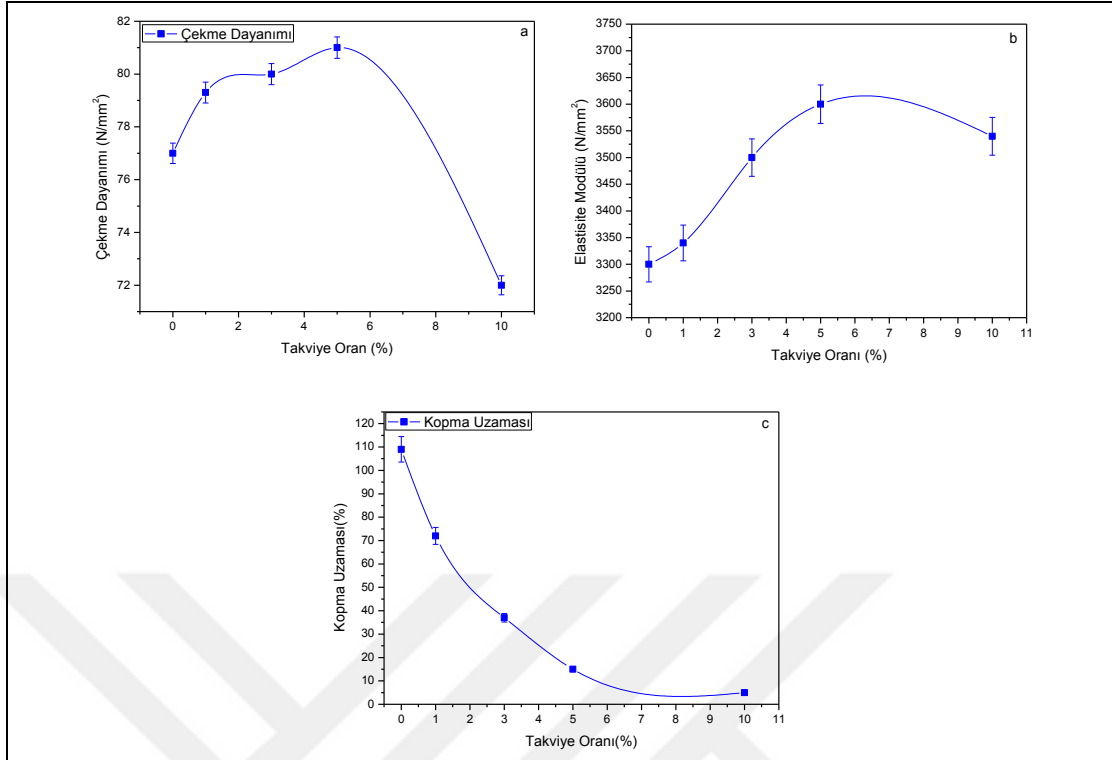
3.5.1. Çekme testi sonuçları

Tedarikçiden hazır olarak alınmış ve elekten geçirilmiş olan olivin partikülü ile takviye edilmiş PPS matrisli kompozitlere çekme testi uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 3.41' de verilmiştir. Şekil 3.41-a'daki çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, olivin takviyesinin PPS'in çekme dayanımını olumlu yönde etkidiği

gözlenmiştir. %5 olivin takviyeli kompozit numunelerde çekme dayanımının saf PPS'e kıyasla %5 arttığı göstermiştir. Ancak takviye oranı %10'a çıktığında ise dayanım değeri ani bir düşüş göstermiş hatta saf PPS'den daha düşük bir dayanım davranışı sergilemiştir. Yine grafik incelendiğinde, %10 takviye hariç tüm kompozit numunelerin saf PPS'ten daha yüksek çekme dayanımı gösterdiği açık bir şekilde görülebilmektedir. 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. Partikül takviyesi ile birlikte çekme dayanımının artması matris-takviye arası arayüzey tutunmasının iyi olduğu ve matrisin üzerine gelen yükü takviyeye aktarabildiği şeklinde açıklanabilir. Belli bir takviye oranının üzerinde ise partikül takviyesinin olumlu etkisinin olumsuzla dönmesi ise yüksek yükleme oranlarında topaklanmanın meydana geldiği ve bu sebeple matris-takviye arayüzey tutunmasının zayıfladığı şeklinde açıklanabilir. Hatta takviye amacı ile koyulan partiküller matrise iyi tutunamadıkları zaman üzerlerine yük alamadıkları gibi numune içi süreksizliklere sebebiyet vererek üretilen kompozitin saf polimerden dahi kötü mekanik dayanım sergilemesine sebep olabilir [43, 48, 69, 74, 124].

Şekil 3.41-b incelendiğinde olivin takviyesinin elastisite modülü üzerine etkisi görülmektedir. Grafik incelendiğinde ise artan takviye ile birlikte elastisite modül değerinin yani malzemenin rijitliğinin arttığı görülmektedir. Çekme dayanımı sonuçlarında olduğu gibi maksimum modül değeri %5 takviye edilmiş kompozit numunelerde elde edilmiş olup, modül değeri yaklaşık %10 kadar artış göstermiştir. Ancak takviye oranı %10'a ulaştığında elastisite modülü azalma eğilimine girmiştir. Yapılan literatür çalışmaları da göstermiştir ki; rijit partikül takviyesi ile birlikte elastisite modülünün artış göstermesi beklenen bir sonuçtur. Malzeme daha rijit ve aynı zamanda gevrek bir hal almaktadır. %5 takviye oranının üzerinde rijitlik değerinin düşme eğilimine girmesi ise takviye partiküllerinin topaklanarak matris ile iyi bir tutunma yüzeyi oluşturamaması ile açıklanabilir [48, 64, 70, 75, 125-127].

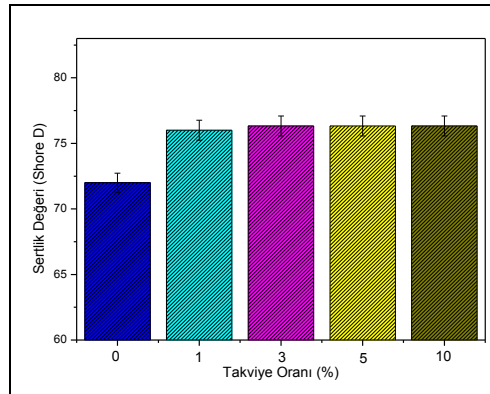
Şekil 3.41-c incelendiğinde olivin takviyesinin PPS' in kopma uzaması üzerine etkisi görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde ise elastisite modülüne paralel bir şekilde artan takviye oranı ile birlikte malzeme daha gevrek bir yapıya bürünmüş ve kopma uzaması giderek azalarak yaklaşık %5 uzama seviyelerine kadar düşmüştür. Kırılgan bir hale gelmiştir [48, 64, 70, 75, 125-127].



Şekil 3.41. Olivin takviyesinin PPS' in (a) çekme dayanımı üzerine (b) elastisite modülü üzerine etkisi.

3.5.2. Sertlik testi sonuçları

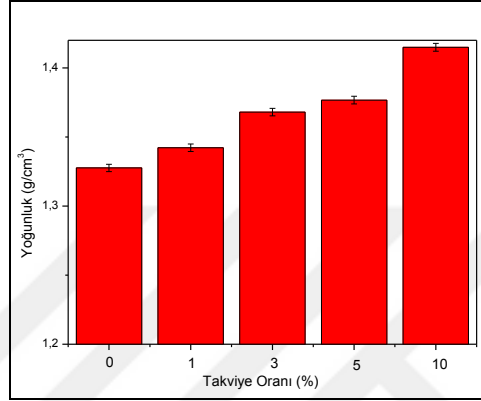
Olivin takviyesinin sertlik üzerine etkisini görmek amacı ile Shore D sertlik testi uygulanmıştır. Test sonuçları Şekil 3.42'de verilmiş olup Şekil 3.42 incelendiği takdirde olivin takviyesi ile birlikte sertlik değeri %5 kadar ani bir yükseliş sergilemiş, ancak takviye oranındaki değişim sertlik değeri üzerine belirgin bir etki göstermemiştir. Burada rijit olivin taneciklerinin varlığı numuneyi daha sert ve batıcı uca karşı direnç gösterir hale getirmiştir [6].



Şekil 3.42. Olivin takviyesinin sertlik üzerine etkisi

3.5.3. Yoğunluk testi sonuçları

Saf PPS ile olivin partikülü takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 3.43'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde olivin partiküllerinin yoğunluk değerinin PPS'ten yüksek olduğunu ve kompozit içindeki miktarı arttıkça kompozit numunelerin de yoğunluğunun arttığı, %10 olivin takviyeli kompozitin yoğunluğunun saf PPS'den yaklaşık %6.5 kadar yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 3.43. Olivin partikülü takviyesinin yoğunluk üzerine etkisi

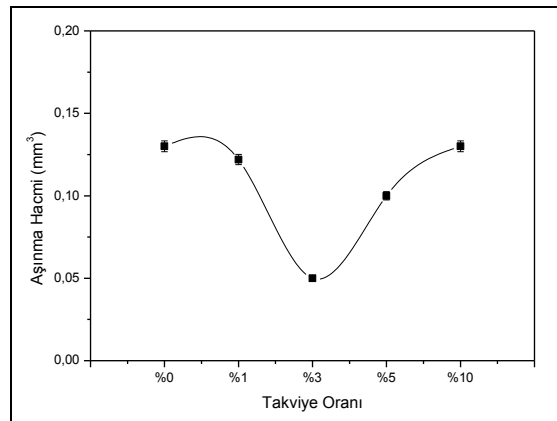
3.6. Olivin Partikülü Takviye Edilmiş PPS Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu

3.6.1. Bilya-disk Testi Sonuçları

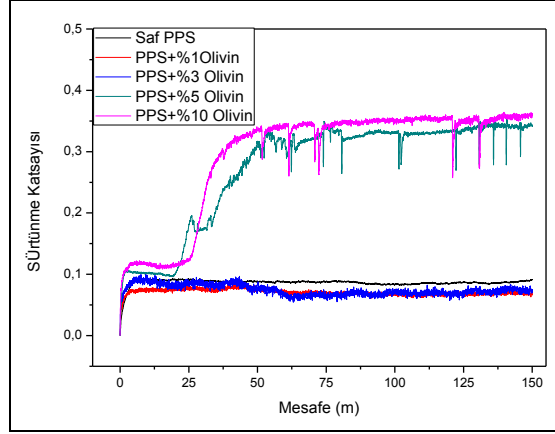
Bilya-disk test metodu kullanılarak gerçekleştirilen adhezif aşınma testi sonucu meydana gelen aşınma hacmi değerleri Şekil 3.44'te verilmiştir. Olivin takviyesinin PPS'in adhezif aşınma direncine olumlu yönde etki ettiği net bir şekilde görülmektedir. En yüksek aşınma direncini, %3 olivin takviye edilmiş kompozitler göstermiş olup, aşınan hacim miktarı yaklaşık %61 azalmıştır. Yani aşınma direnci bu oranda artmıştır. %3 takviyeye kadar artan takviye ile birlikte aşınma direnci de artmıştır, ancak %3 takviyenin üzerinde bu trend negatif yöne dönmüş olup %10 olivin takviye oranına varıldığında hemen hemen saf PPS ile eşit aşınma miktarı görülmüştür. Çalışmanın bütünü incelendiğinde kompozit numunelerin saf PPS'e kıyasla daha yüksek aşınma direnci sergilediği açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum hem rijit takviye ile birlikte numune sertliğinin artması hem de aynı zamanda bu sert takviye partiküllerinin matrise iyi tutunarak aşındırıcı uca karşı direnç göstermesi ile açıklanabilir. Yüksek takviye oranlarında olumlu etkinin olumsuzla dönmesi ise topaklanma neticesi homojen bir yapının oluşamaması, matris-takviye tutunmasının

yeterli düzeyde olmaması ve bunun neticesinde partiküllerin yerlerini terk ederek birer abrazif aşındırıcı olarak davranması ile açıklanabilir. Şekil 3.45'te verilen aşınma prosedürü süresince oluşan sürtünme katsayısı grafikleri de bu durumu destekler niteliktedir. Şekil 3.45'te görüldüğü üzere, deney süresince %1 ve %3 olivin takviye edilen numunelere ait sürtünme katsayısı eğrisi denge durumu rejimde bozulmadan devam ederken %5 ve %10 oranlarında olivin takviye edilen numunelere ait eğriler bir süre sonra rejimden çıkarak yüksek sürtünme katsayısı değerlerine ulaşmışlardır [87, 89, 91, 92]. Şekil 3.46'da numunelere ait ortalama sürtünme katsayı değerleri verilmiş olup burada da %1 ve %3 olivin takviyeli numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri saf PPS'e kıyasla düşük çıkmıştır. %5 ve %10 olivin takviyeli kompozitlerde ise ortalama sürtünme katsayısı değerleri saf PPS'in sürtünme katsayısı değerinden yüksek çıkmıştır. Grafik incelendiğinde, sürtünme katsayısı %5 takviyeye kadar saf PPS'e nazaran düşük çıkmış, ancak artan takviye ile birlikte yaklaşık olarak %180 artış göstermiştir. Bu artışın da yerinden çıkan takviye partiküllerinin aşındırıcı uç ile numune arasında birer abrazif aşındırıcı gibi davranması şeklinde açıklanabilir. Takviye tanelerinin yerinden çıkması ise aşınma mekanizmasını hızlandırarak yeni bir aşınma mekanizması meydana getirmiştir.

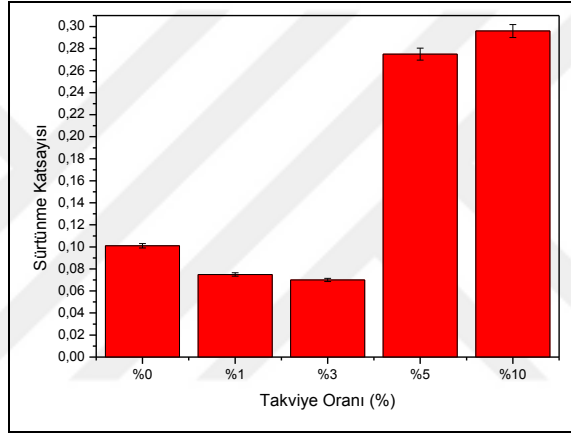
Burada yüksek aşınma direnci gereken noktalarda daha düşük oranlarda olivin takviyeli kompozitlerin kullanılabileceği, maliyetin ön plana çıktığı noktalarda ise aşınma direncinden bir miktar taviz verilerek yüksek oranda olivin takviyeli kompozitlerin kullanılabileceği öngörüsü ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.44. Adhezif aşınma testi sonucu



Şekil 3.45. Bilya-disk testi süresince anlık anlık sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 3.46. Sürtünme ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Şekil 3.47’de aşınma direncine olumsuz yönde etkide, bulunduğu meydana gelen hasar mekanizmalarını daha detaylı gözlemlemek için %10 olivin takviye edilmiş PPS kompozitlerin adhezif aşınmaya maruz kalan yüzeylerine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Aşınma sürecinde matrise iyi tutunamayan tanelerin yüzeyde meydana getirdiği oyuklar ile birlikte, yerinden çıkan tanelerin birer aşındırıcı niteliği üstlenerek yüzeyde meydana getirmiş oldukları kazıma izleri dikkat çekmektedir. Bununla birlikte yüzeyde makro boyutlu çatlakların da oluştuğu net bir şekilde görülmektedir. Olivin takviyeli kompozit yüzeye ait aşınma izleri incelendiğinde aşındırıcı uca ait penetrasyon derinliğinin saf polimerden farklı olmadığı ancak bölgesel olarak yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir. Takviye tanelerinin de yerinden çıktığı ve o bölgelerde derin oyuklar oluşturduğu açık bir şekilde gözlenmektedir. Bununla birlikte yerinden çıkan takviye tanelerinin ayrıca aşındırıcı gibi davrandığı ve yüzeyde kazıyıcı gibi davranıp aşınma meydana getirdikleri görülmektedir.



Şekil 3.47. %10 olivin takviye edilmiş PPS kompozitlere ait adhezif aşımaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları

3.6.2. Erozif aşınma testi sonuçları

Olivin takviyeli PPS kompozitlerin erozif davranışını incelemek üzere 3 bar püskürtme basıncı ile 80 mesh boyutlu alümina partikülleri 30° ve 90° açılardan numunelerin üzerine püskürtülmüştür.

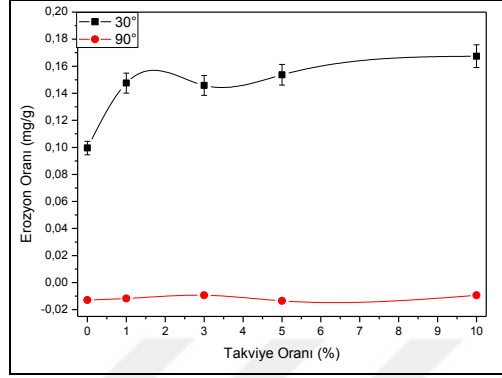
Gerçekleştirilen erozif aşınma testi sonucunda formül (4)'e göre hesaplanan erozyon oranı grafiği Şekil 3.48'de görülmektedir. Şekil 3.48'de verilmiş olan erozyon oranı sonuçları incelediği taktirde 30° partikül çarpma açısında gerçekleşen deneylerde olivin takviyesinin erozif aşınma direnci üzerine olumlu bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Hatta kompozit numunelerde erozyon oranının %60 kadar arttığı görülmektedir. 90° partikül çarpma açısında gerçekleşen deney sonuçlarında ise erozyon oranı değerleri negatif sonuç vermiş yani kütle kaybı olmamış aksine numunelerde test sonucu kütle artışı meydana gelmiştir. Bunun sebebi de numune yüzeyine saplanan aşındırıcı partiküller hedef malzemenin kütlesinde artış olmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte grafiğin bütünü incelendiği takdirde ise bütün takviye oranları için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinin 90° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinden yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu sonuçlar numunelerimizin beklenildiği gibi yarı sünek aşınma davranış sergilediği fikrini destekler nitelikte olup aynı zamanda da yöntemin yetersiz kaldığını ve erozyon aşınması tespitinde başka bir metoda gereksinim olduğunu bir kere daha göstermiştir. Çünkü erozyon oranı metodu saplanan aşındırıcı partikülleri, kopup giden malzemenin ne kadarının matris ne kadarının takviye malzemesi olduğu bilgileri gözardı etmekle birlikte en önemlisi meydana gelen hasar mekanizmasının ne kadarının plastik deformasyon sonucu ne kadarının ise yüzeyden malzeme kopması sonucu oluştuğunu göz ardı etmektedir. Görülen bu yetersizlikler sebebi ile

erozif aşınmaya tabi tutulan malzeme yüzeyleri optik profilometre ile taranarak yüzeyde meydana gelen hasar hacimleri tespit edilmiştir. Devamında (5) numaralı formül kullanılarak yüzeyde meydana gelen hasara ait plastik deformasyon miktarları hesaplanmıştır. Şekil 3.49'da optik profilometre ile hesaplanmış olan toplam hasar hacimleri görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde, 30° partikül çarpma açısında gerçekleştirilen deneylerde artan takviye ile birlikte aşınan malzeme hacminin düşüş sergilediği ve %10 olivin takviyeli numunede saf PPS'e kıyasla yaklaşık %20 daha düşük aşınma hacmi meydana geldiği görülmektedir. 90° çarpma açısında gerçekleşen deneylerin sonuçlarına bakıldığında ise takviye oranı arttıkça erozyon direncinin düşüş sergilediği görülmektedir. Bu olumsuz trend ise artan takviye ile birlikte numunenin gevrek aşınma karakteri sergilemesi ile rahat bir şekilde açıklanabilmektedir. Yine optik profilometre 90° çarpma açısında elde edilen sonuçlar da malzemenin hasara uğradığını açık bir biçimde göz önüne sererek kütsel ölçüme dayalı erozyon oranı metodunun yetersiz kaldığını ortaya koymuştur.

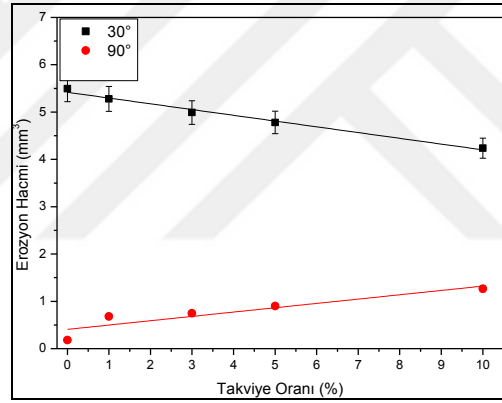
Erozif aşınma neticesinde oluşan hasar mekanizmasındaki plastik deformasyon oranı sonuçları Şekil 3.50'de görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde her bir takviye oranı için 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon oranının 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından fazla olduğu görülmüştür. Hatta saf PPS'in değerlerine bakıldığında 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarının 8 kat kadar fazlasıdır. Yine sonuçlar incelendiğinde net bir şekilde görülmektedir ki olivin takviyesi çekme testi sonuçları ile de paralel bir şekilde kompozit malzemeyi gevrek bir yapıya büründürmekte ve artan takviye ile birlikte malzemenin plastik deformasyon yeteneği yaklaşık %85 kadar düşüş sergilemektedir.

Takviye oranının aşınma yüzeylerinin pürüzlülüğü üzerine bir etkisi olup olmadığını gözlemlemek adına aşınmış yüzeylerden alınan ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 3.51'de verilmiş olup ortalama pürüzlülük değerinin takviye oranından bağımsız olduğu görülmektedir. Sonuçlar göstermiştir ki tüm kompozit numunelerde 30° partikül çarpma açısında meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü 90° partikül çarpma açısında meydana gelen pürüzlülüğe nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi düşük açılarda gerçekleşen aşınma mekanizmalarında meydana gelen derin kazıma izlerinin sebep olduğu öngörülmektedir. Ancak yine grafik incelendiğinde ise saf PPS için tam aksi durum söz konusudur. Saf PPS ile olivin takviyeli kompozit

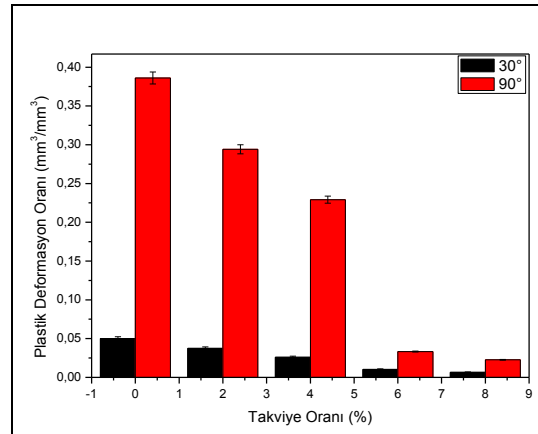
numunelerin zıt karakter çizmesi düşük açılarda gelen aşındırıcı partiküllerin takviye partiküllerini yerinden çıkartması ve yerinden çıkan tanelerinde kazıyarak yüzeyi daha fazla hasara uğratması şeklinde ifade edilebilir. Bu durum yüzeylerin SEM incelemesi sırasında dikkate alınmıştır.



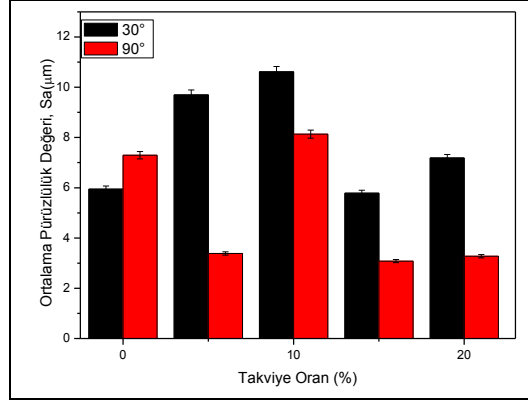
Şekil 3.48. Erozyon oranı sonuçları



Şekil 3.49. Erozyon hacmi değerleri

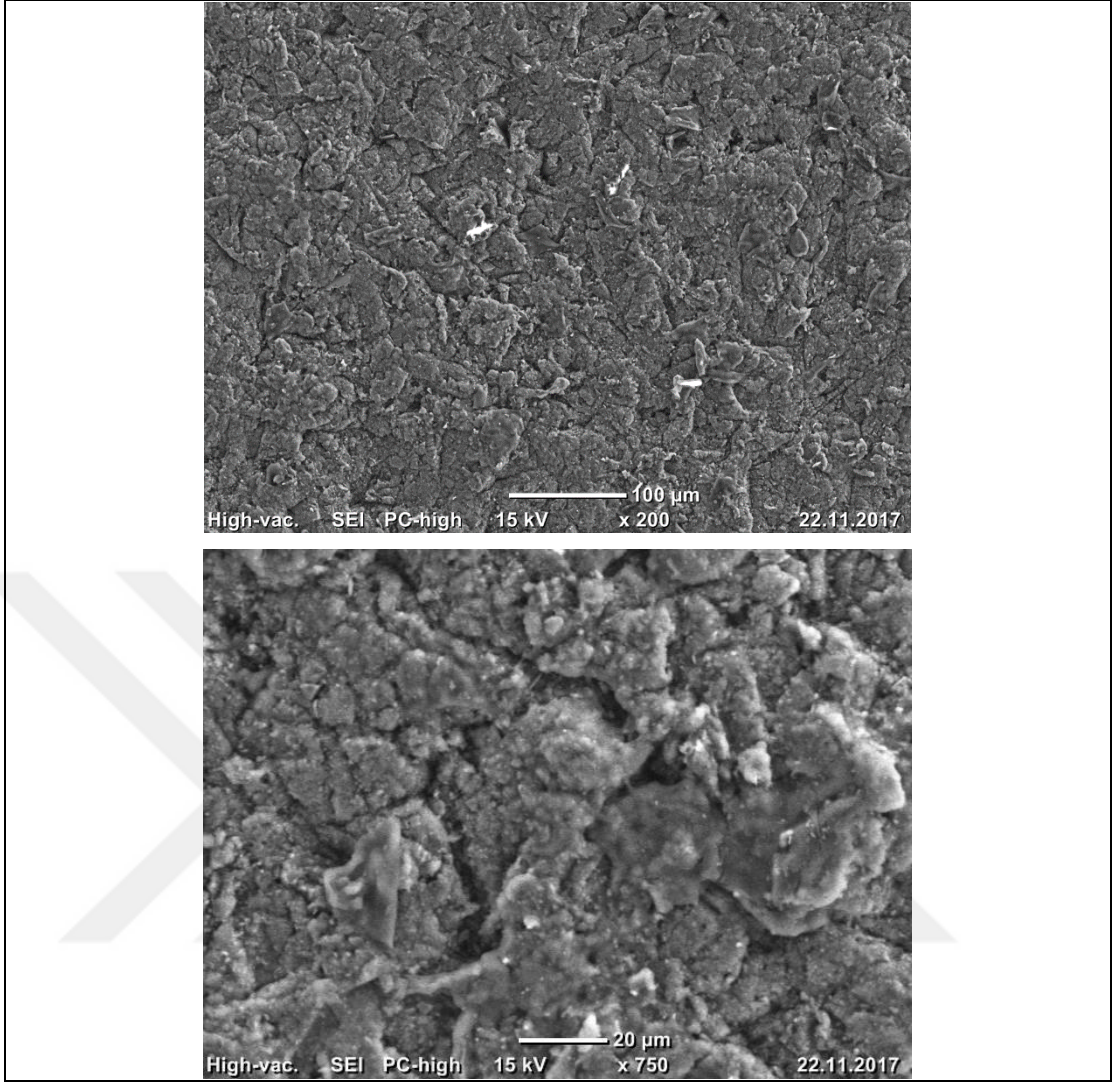


Şekil 3.50. Eroziyon aşınma sonucu plastik deformasyon sonuçları

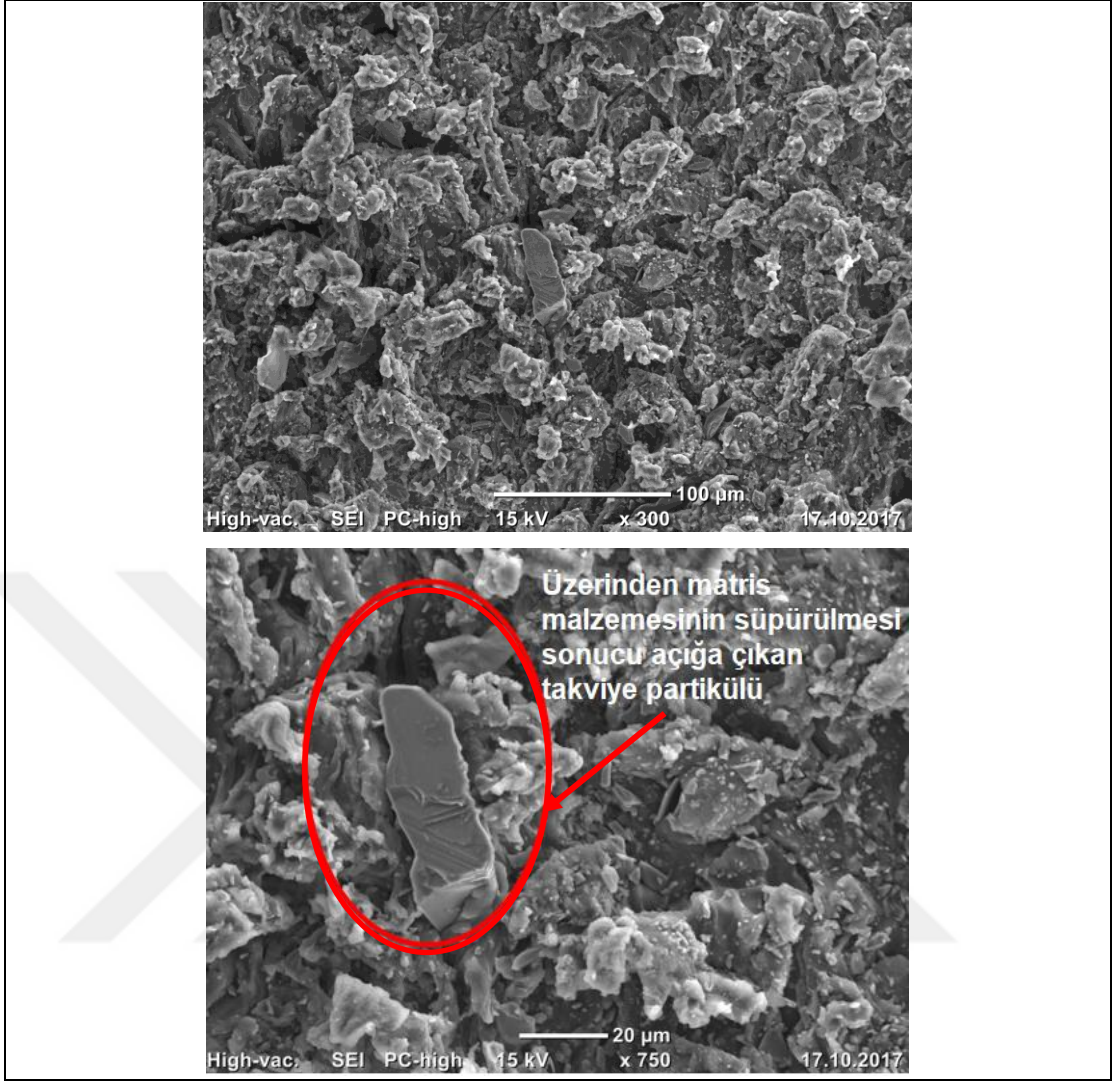


Şekil 3.51. Erozif aşınmaya maruz yüzeye ait ortalama pürüzlülük değerleri

Erozif aşınmaya maruz kalan numunelerin yüzeylerinde meydana gelen deformasyon mekanizmalarının daha detaylı incelenmesi amacı ile %10 olivin takviye edilmiş numune yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 3.52 ve 3.53'te verilmiştir. Öncelikle Şekil 3.52 incelendiği zaman %10 olivin takviye edilmiş numuneye ait 90° çarpma açısında deforme olan yüzey görülmekte ve yüzeyde yer alan dövülme izleri, mikro ve makro boyutta çatlak ve kırıklar ile yer yer krater benzeeri hasar mekanizmaları göze çarpmaktadır. Şekil 3.53'te %10 olivin takviye edilmiş numuneye ait 30° partikül çarpma açısında hasar gören yüzeyler görülmektedir. Bu yüzeylere ait fotoğraflar incelendiği takdirde yüzeyde mikro ve makro boyutta matrise ait sürünme izleri ile derin oyuklar göze çarparken, aşındırıcı tanenin kazıyarak ilerlediği matris içerisinde saplanıp kalması net bir şekilde göze çarpmaktadır. Düşük açılarda beklenen pulluk şeklinde kazıma mekanizmaları öne çıkmaktadır. SEM incelemelerinde optik profilometre yardımı ile ortaya koyulan sonuç, 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon değerinin 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından yüksek çıkmasını destekler niteliktedir. Çünkü, düşük çarpma açısında aşındırıcı partiküller yüzeyden gerek süpürme, gerekse kazıma şeklinde malzeme kaldırıp götürürken dik ve dike yakın açılarda ise yüzeyde dövme şeklinde hasar meydana getirmektedir.



Şekil 3.52. %10 olivin takviye edilmiş numunelere ait 90° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.53. %10 olivin takviye edilmiş numunelere ait 30° çarpma açısında aşındırılmış numunelere ait SEM fotoğrafları

3.7. Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu

Bu bölümden itibaren organik esaslı partiküllerin PP matrise takviye edilmesi sonrası elde edilen veriler incelenmiştir.

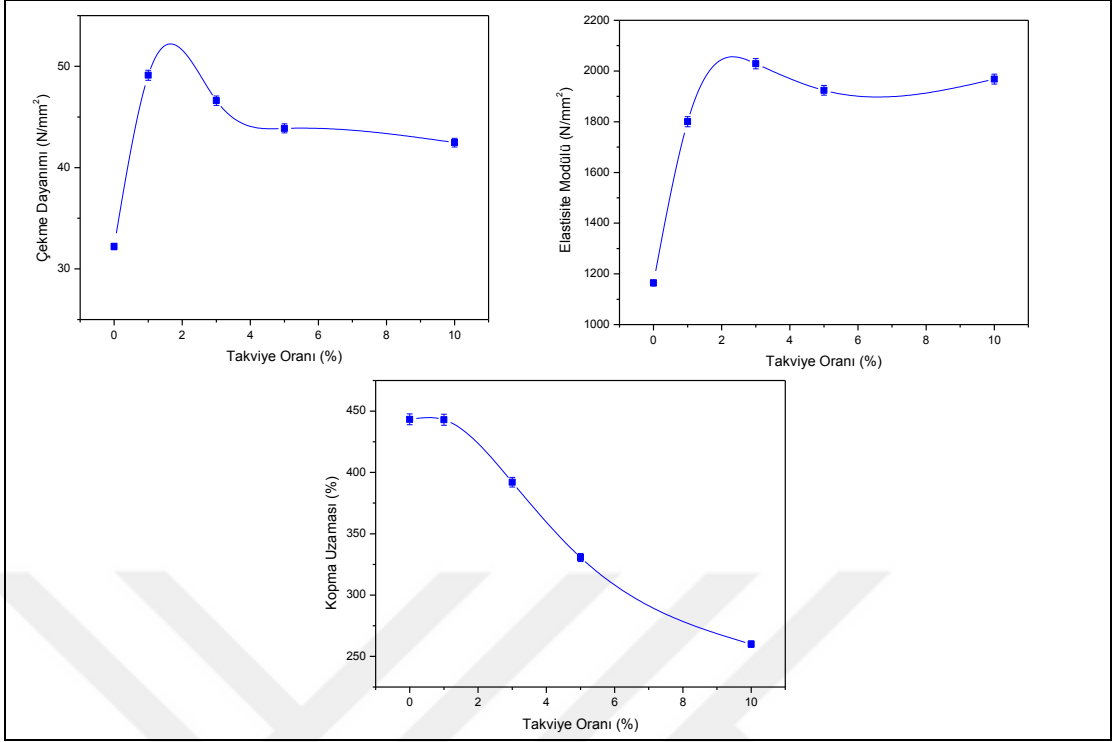
Farklı oranlarda önce kırılıp devamında öğütülmüş olan fındık kabuğu partikülleri takviye edilerek üretilmiş olan PP kompozitlerin mekanik özelliklerinin fındık kabuğu takviyesi ile değişip değişmediğini, eğer değişim olmuş ise ne yönde olduğunu tespit etmek için üretilen numunelere mekanik testler uygulanmıştır.

3.7.1. Çekme Testi

Öncelikle kırıcıda kırılıp, öğütücüde öğütülen ve devamında elekten geçirilen olan fındık kabuğu partikülü takviye edilmiş PP matrisli kompozitlere çekme testi uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 3.54'te verilmiştir. Şekil 3.54-a'daki çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde fındık kabuğu takviyesinin PP'nin çekme dayanımını olumlu yönde etkidiği ve tüm kompozit numunelerin saf PP'ye kıyasla yüksek çekme dayanımı sergilediği gözlenmiştir. %1 takviyeli kompozitin çekme dayanımının saf PP'nin dayanımından %50 daha yüksek olduğu hatta en düşük çekme dayanımına sahip %10 fındık takviyeli kompozit numunenin çekme dayanımının dahi saf PP'nin çekme dayanımından yaklaşık %30 daha yüksek olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Bu grafik incelendiğinde fındık kabuğu partikülü ilavesinin PP 'nin çekme dayanımını artırdığı ancak artan takviye ile birlikte %1 takviyesine kıyasla çekme dayanımı değerinde düşüş olduğu görülmektedir. Partikül ile matris arayüzeyinin kuvvetli olması çekme dayanımı üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Ancak artan takviye ile bu olumlu etkinin azalması topaklanma ve takviyenin matris içerisinde homojen dağılmaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Partikül takviyesi ile birlikte çekme dayanımının artması matris-takviye arası arayüzey tutunmasının iyi olduğu ve matrisin üzerine gelen yükü takviyeye aktarabildiği şeklinde açıklanabilir [43, 48, 69, 71, 124].

Şekil 3.54-b'de ise fındık kabuğu takviyesinin elastisite modül üzerine etkisi yer almaktadır. Grafik incelendiğinde ise fındık takviyesinin elastisite modül değerini arttırdığı, takviye oranının %1'in üzerine çıkması ile birlikte belirgin bir değişim olmadığı görülmektedir. Detaylı bir şekilde grafik değerleri incelendiğinde, fındık kabuğu takviyesi ile birlikte saf PP'nin modül değerinin yaklaşık %75'e kadar artış sergilediği görülmektedir. Yapılan literatür çalışmaları da göstermiştir ki rijit partikül takviyesi ile birlikte elastisite modülünün artış göstermesi beklenen bir sonuç olup, malzeme daha rijit ve aynı zamanda gevrek bir hal almaktadır [48, 64, 70, 75,125-127].

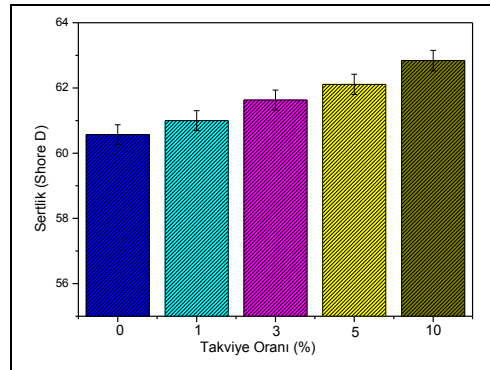
Şekil 3.54-c incelendiğinde fındık kabuğu takviyesinin PP' in kopma uzaması üzerine etkisi görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde ise %1 fındık kabuğunun çekme kopma uzamasını olumsuz yönde etkilemediği ancak artan takviye ile birlikte kopma uzaması değerinin %45 kadar düştüğü görülmüştür. Malzemenin kopma uzamasının düşmesi ile malzemenin takviye ile birlikte gevrekli bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir [48, 64, 70, 75,125-127].



Şekil 3.54. Fındık kabuğu takviyesinin PP' in (a) çekme dayanımı üzerine (b) elastisite modülü, kopma uzaması üzerine etkisi.

3.7.2. Sertlik Testi

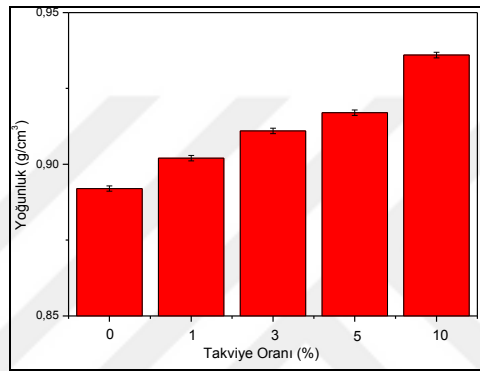
Fındık kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisini görmek amacı ile Shore D sertlik testi uygulanmıştır. Test sonuçları Şekil 3.55'te verilmiş olup Şekil 3.55 incelendiği takdirde artan fındık kabuğu takviyesi ile birlikte sertlik değerinin yaklaşık olarak %5 kadar arttığı görülmüştür. Takviye miktarı ile değişimi incelendiğinde ise takviye oranına paralel bir şekilde artan bir eğilim gösterdiği görülmüştür. Burada partikül miktarı arttıkça batıcı uç hem daha büyük oranda ihtimal ile takviye malzemelerine batmakta hem de partikül miktarı arttığı için partiküller matris içerisinde sıkışıp ilerleyememektedir [6].



Şekil 3.55. fındık kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisi

3.7.3. Yoğunluk testi sonuçları

Saf PP ile fındık kabuğu partikülü takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 3.56'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde fındık kabuğu partiküllerinin yoğunluk değerinin PP'den yüksek olduğunu ve kompozit içindeki miktarı arttıkça kompozit numunelerin de yoğunluğunun arttığı, %10 fındık kabuğu takviyeli kompozitin yoğunluğunun saf PP'den yaklaşık %5.7 kadar yüksek olduğu görülmüştür.



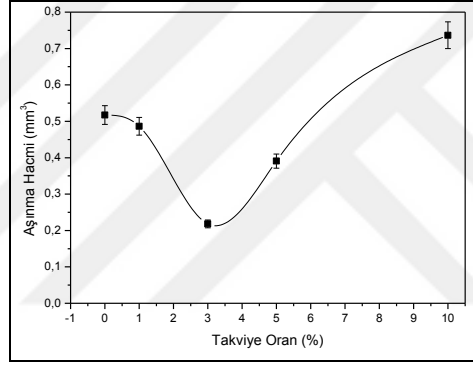
Şekil 3.56. Fındık kabuğu takviyesinin yoğunluk üzerine etkisi

3.8. Fındık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu

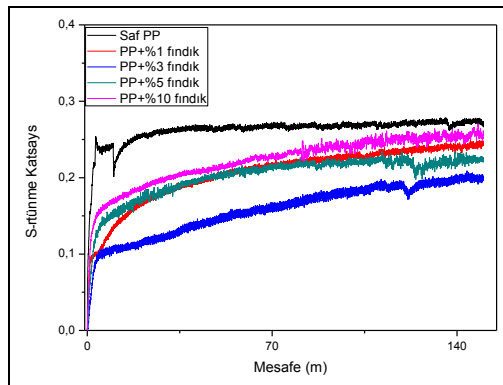
3.8.1. Bilya-disk Testi Sonuçları

Bilya-disk test metodu kullanılarak gerçekleştirilen adhezif aşınma testi sonucu meydana gelen aşınma hacmi değerleri Şekil 3.57'de verilmiştir. Fındık kabuğu takviyesinin belli bir oranda yüklemeye kadar PP'nin adhezif aşınma direncini arttırdığını, artan takviye ile birlikte de olumlu etkinin olumsuzla döndüğü görülmektedir. En düşük aşınma miktarı %3 fındık kabuğu takviye edilmiş kompozit numunelerde görülmüş ve aşınma hacmi saf PP'e kıyasla yaklaşık %62 azalmıştır. %10 oranında fındık kabuğu takviyeli kompozit hariç bütün kompozit numuneler saf PP' den daha yüksek aşınma direnci sergilemişlerdir. Bu durum hem rijit takviye ile birlikte numune sertliğinin artması hem de aynı zamanda bu sert takviye partiküllerinin matrise iyi tutunarak aşındırıcı uca karşı direnç göstermesi ile açıklanabilmektedir. Ancak belli bir yüklemenin üzerinde takviye tanelerinin topaklanması sonucu matris takviye tutunmasının zayıflaması ve takviyenin olumlu

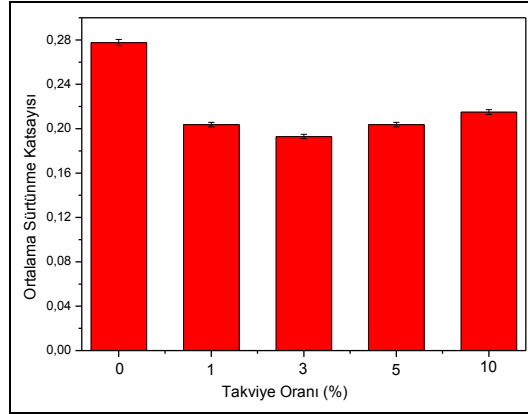
etkiden olumsuz etkiye döndüğü görülmektedir. Şekil 3.58'de deney süresince sürtünme katsayısı değişimini veren grafik verilmiş olup, saf polimerin de kompozit numunelerinde deney süresince denge durumu rejimde devam ettikleri ve artan takviye ile aşınma direncinin düşüşünün bu veriler ile tam açıklanamaması sebebi ile SEM incelemeleri daha büyük önem kazanmıştır [87, 89, 91, 99]. Şekil 3.59'da numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri verilmiş olup bütün kompozitlerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin saf polimerden daha düşük olduğu gözlenmiş olup en düşük sürtünme katsayısı %3 fındık kabuğu taviye edilmiş kompozit numunede elde edilmiş olup %40 kadar saf PP'ye kıyasla azalmıştır.. Grafiğin bütünü ve aşınma sonuçları ile ilgisi incelendiğinde, sürtünme katsayısının takviye oranı ile net bir ilişkisinin olmadığı ve aşınma hacmi miktarı ile doğrudan ilişkisi olmadığı görülmüştür.



Şekil 3.57. Adhezif aşınma testi sonucu

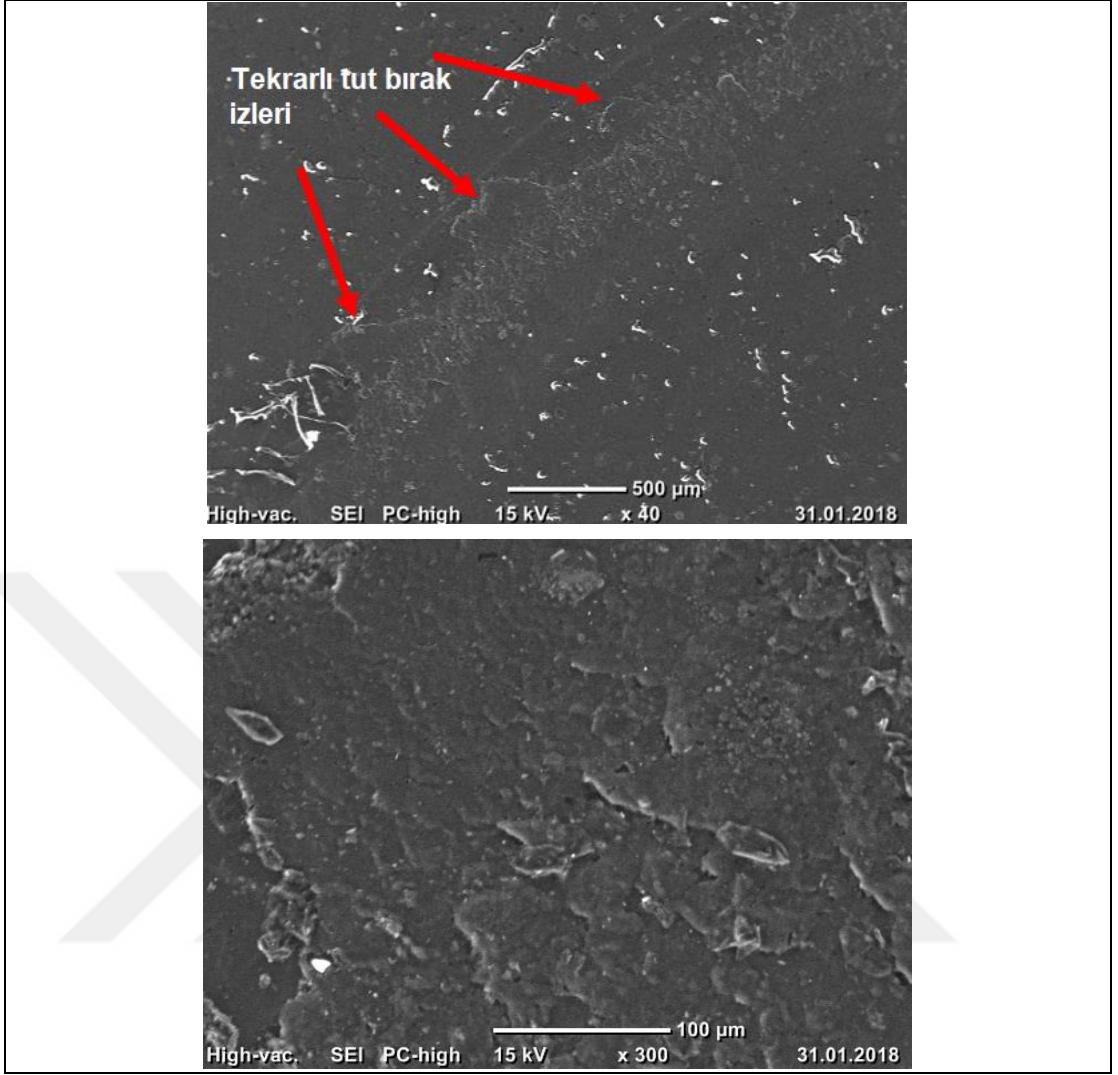


Şekil 3.58. Bilya-disk testi süresince anlık sürtünme katsayısı değişimi

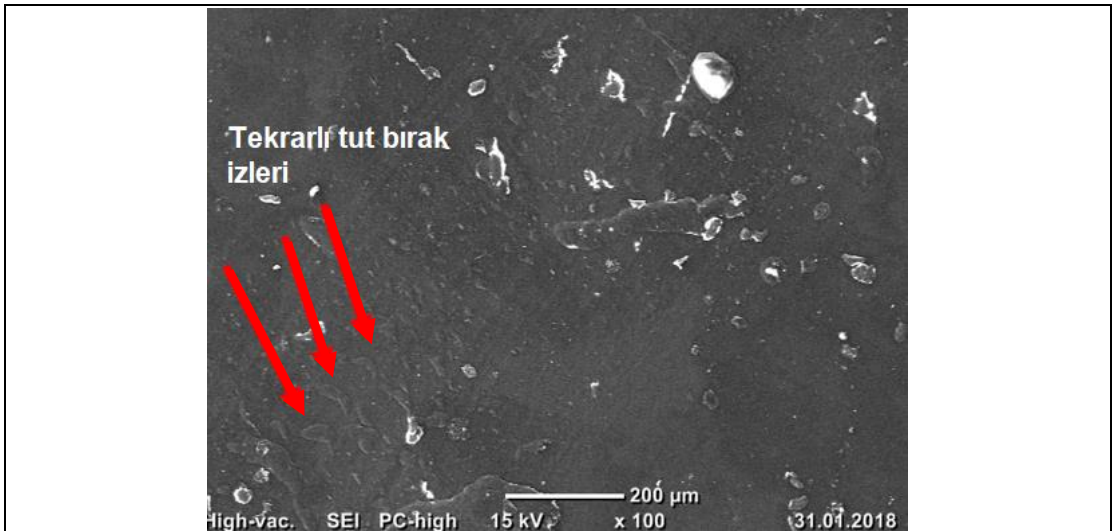


Şekil 3.59. Ortalama sürtünme katsayısı değerleri

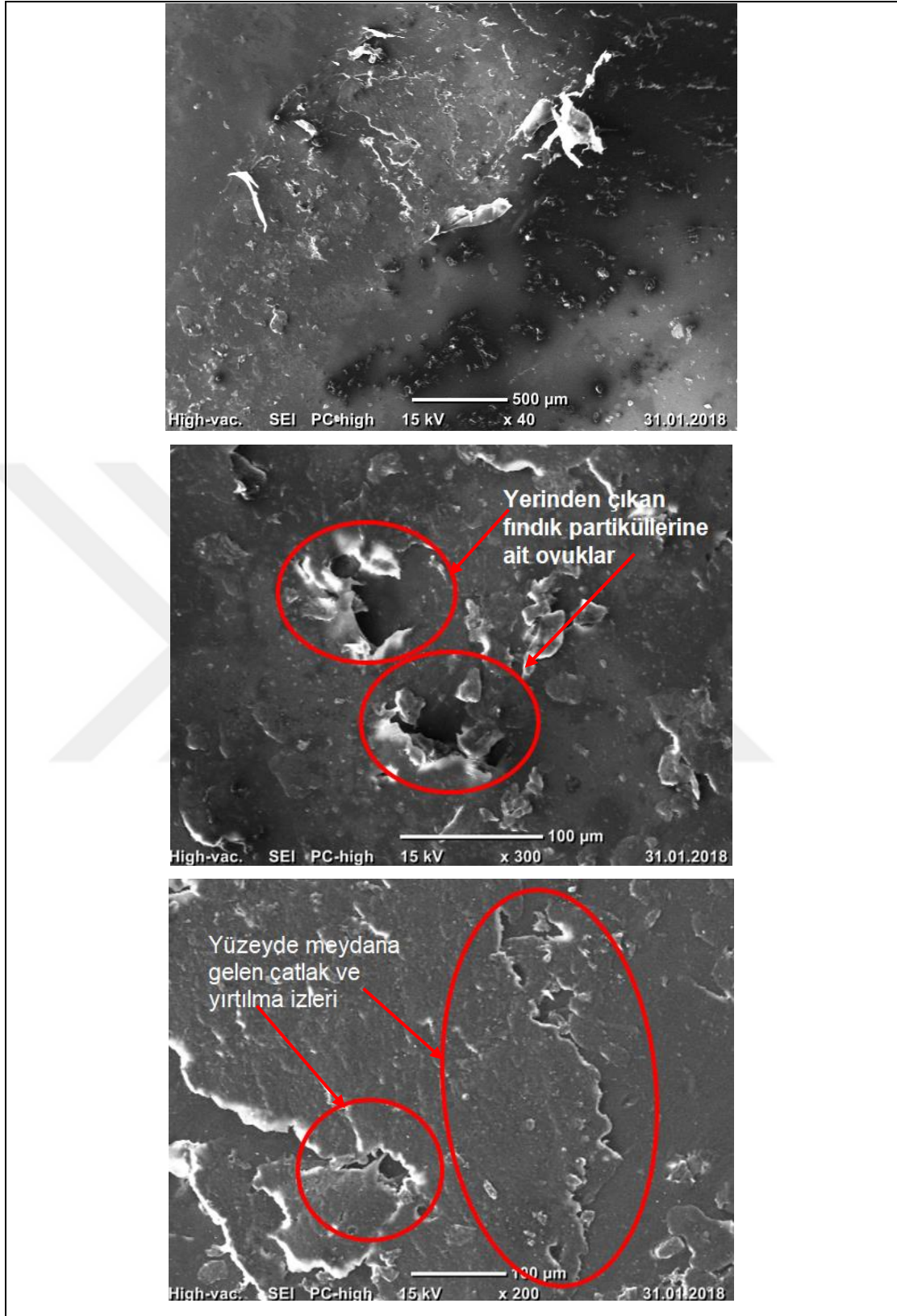
Şekil 3.60, 3.61 ve 3.62’de saf PP, %3 ve %10 fındık takviyeli PP kompozitlerin adhezif aşınmaya maruz bırakılmış yüzeylerine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Şekil 3.60 incelendiğinde, aşınma izi üzerinde plastik olarak deforme olan, sünmeye uğramış yapılar ve makro boyutta çatlak izleri görülmektedir. Yine saf PP’ye ait SEM fotoğraflarında tut-bırak (stick-slip) denilen belirgin ve büyük plastik deformasyon izleri belirgin bir şekilde göze çarpmaktadır. Şekil 3.53’te ise en yüksek aşınma direnci sergileyen %3 fındık takviye edilmiş kompozit numuneye ait SEM fotoğrafı yer almaktadır. Bu fotoğrafa bakıldığında ise aşınma izinin sığ olduğu aşındırıcı ucun derine nüfuz edemediği görülmektedir. Ayrıca tut-bırak izlerinin ise saf PP’ye kıyasla daha kısa kısa ve silik bir şekilde oluştuğu göze çarpmaktadır. Şekil 3.54’te minimum aşınma direnci sergileyen %10 fındık kabuğu takviyeli kompozit numuneye ait SEM fotoğrafı verilmiştir. Burada ise derin yırtıklar ve çatlaklar göze çarparken aynı zamanda yerinden çıkan partiküllere ait oyuklar ön plana çıkmaktadır. SEM görüntüleri ışığında %3 takviye ile artan aşınma direnci ve devamında artan takviye ile birlikte bozulan aşınma karakteri SEM fotoğraflarını ışığında net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.60. Saf PP' ye ait adhezif aşımaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları



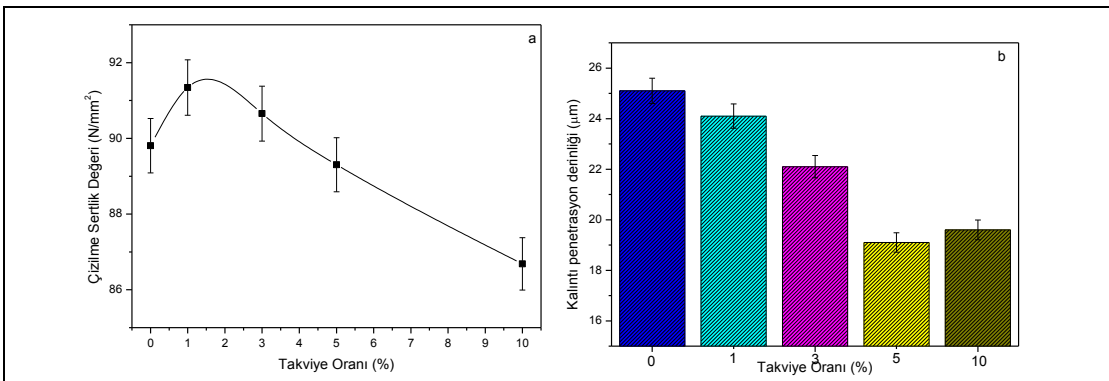
Şekil 3.61. %3 fındık kabuğu takviye edilmiş PP kompozitlere ait adhezif aşımaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.62. %10 fındık kabuğu takviye edilmiş PP kompozitlere ait adhezif aşımaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları

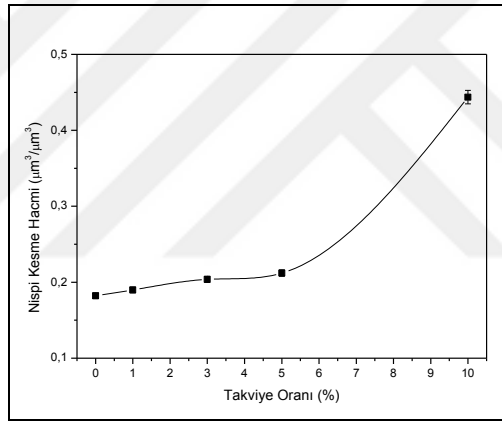
3.8.2. Çizilme testi sonuçları

Öğütülmüş fındık kabuğu takviyeli PP kompozit numunelerinin yüzey çizilme dirençlerinin tespiti için gerçekleştirilen çizilme testi sonuçları şekil 3.63'te verilmiştir. Şekil 3.63-a incelendiğinde, çizilme sertliği sonuçları görülmektedir. Grafik incelendiğinde %1 fındık kabuğu takviyesi ile birlikte çizilme sertliği değeri saf PP'ye kıyasla yaklaşık %3 kadar artmış ancak artan takviye ile birlikte bu değer negatif yönde ilerlediği ve %10 fındık kabuğu takviye edilen kompozitin çizilme sertliği değerinin saf PP'den yaklaşık %3 daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuçların değerlendirilmesi yapılırken fındık kabuğunun PP'ye göre rijit olması sebebi ile çizici ucun numune içerisine nüfuz etmesinin zorlaştığı yani başka bir ifade ile numunenin artan modül değeri ile birlikte batıcı ucun numune içerisine batmasının da zorlaştığı söylenebilir. Ancak artan takviye oranları ile matris-takviye tutunması zayıfladığı için yerinden çıkan takviye tanelerinin aşındırıcı gibi davranmaya başladığı öngörülmektedir. Keza gerek çekme test sonuçları gerekse adhezif aşınma sonuçları ile elde edilen çizilme sertliği sonuçları birbirlerini destekler niteliktedirler [79,81]. Numunelere ait sertlik testi ve modül değerleri takviye ile artarken çizilme sertliği değerinin aynı paralelde artamaması artan takviye ile matris-takviye tutunmasının zayıflaması ile açıklanabilmektedir. Şekil 3.63-b incelendiğinde, tüm kompozit numunelerin kalıcı nüfuziyet derinliğinin saf PP'den daha sığ kaldığı görülmekle birlikte kalıcı penetrasyon derinliğinin %16 kadar azaldığı görülmüştür. Bu da rijit takviyenin çizici ucun numune içine penetrasyonuna karşı direnç oluşturduğunu göstermektedir. Tüm bu sonuçlar ışığında malzemenin çizilme karakterinin tek bir kritere bağlı olmadığı aksine hem modül hem de sertlik değeri gibi birden çok parametre ile ilişkili olduğu görülmüştür.



Şekil 3.63. Çizilme testi sonucu; a) Çizilme sertlik değeri, b) Kalıntı penetrasyon derinliği

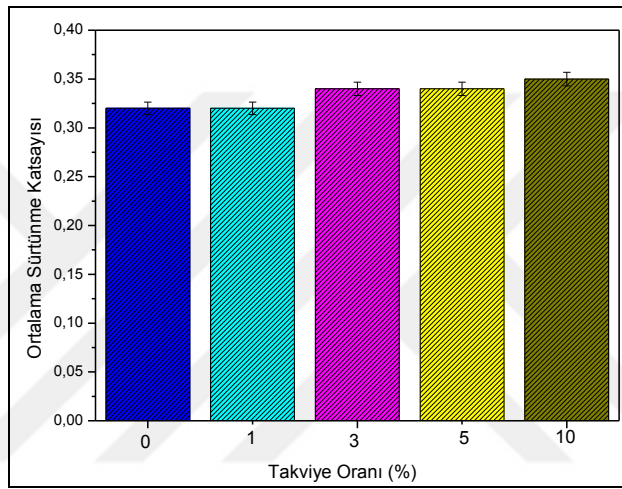
Şekil 3.64'te ise geleneksel çizilme testi sonuçlarının üzerine gerçekleştirilmiş olan bağıl kesme hacmi sonuçları verilmiştir. Bu inceleme ile meydana gelen çizilme hasarının ne şekilde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Başka bir ifade ile meydana gelen aşınma mekanizmasının ne oranda malzeme kazınması ne oranda ise plastik deformasyon sonucu meydana gelmiş olduğunun cevabı bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde saf PP'de 018 olan bağıl kesme hacim oranı değeri %10 fındık kabuğu partikülü takviye edilmiş kompozit numunelerde 0,45'e yükselmiştir. Bu da saf polimerde baskın olan hasar mekanizması plastik deformasyon şeklinde iken %10 fındık kabuğu takviyeli kompozitte çok belirgin bir şekilde kazınma mekanizması hakimdir. Bu sonuçlar ışığında, takviye ile birlikte numunenin sünek karakterini belli bir seviyeye kadar koruyabildiğini ancak %10 takviye ile birlikte numunelerin gevrekleşerek plastik deformasyon yeteneğinin düşüş sergilediği görülmüştür [82,121].



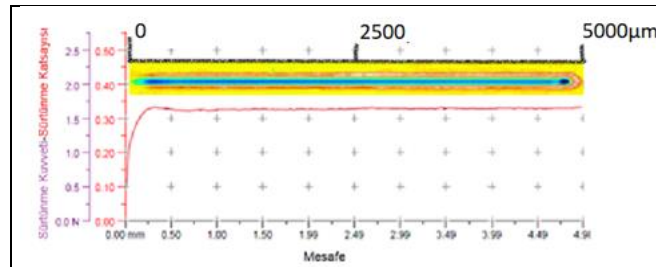
Şekil 3.64. Bağıl Kesme Hacim oranı

Şekil 3.65'te ise saf PP ile fındık kabuğu partikülü takviye edilmiş kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri görülmektedir ve artan takviye ile paralel bir şekilde çizik yüzeylerine ait ortalama sürtünme katsayısı değerinin %12 kadar artış gösterdiği görülmektedir. Başka bir ifade ile fındık takviyesi ile birlikte çizilme izi kalitesinin kötüleştiği tespit edilmiştir. Meydana gelen bu kötüleşmenin sonucunu açıklamak için Şekil 3.66 ve 3.67'de yer alan saf PP ile %10 fındık kabuğu takviye edilmiş PP kompozite ait optik profilometre fotoğrafları ile deney süresince ölçülen sürtünme kuvveti grafikleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda açık bir şekilde görülmüştür ki; şekil 3.66'da yer alan saf PP'ye ait çizilme izi düzgün ve sabit bir şekilde ilerlemektedir. Bununla birlikte saf PP'ye ait sürtünme kuvveti eğrisi de büyük değişimler göstermeyip sabit bir şekilde devam etmektedir. Şekil 3.67'de ise %10 fındık kabuğu takviye edilen numuneye ait

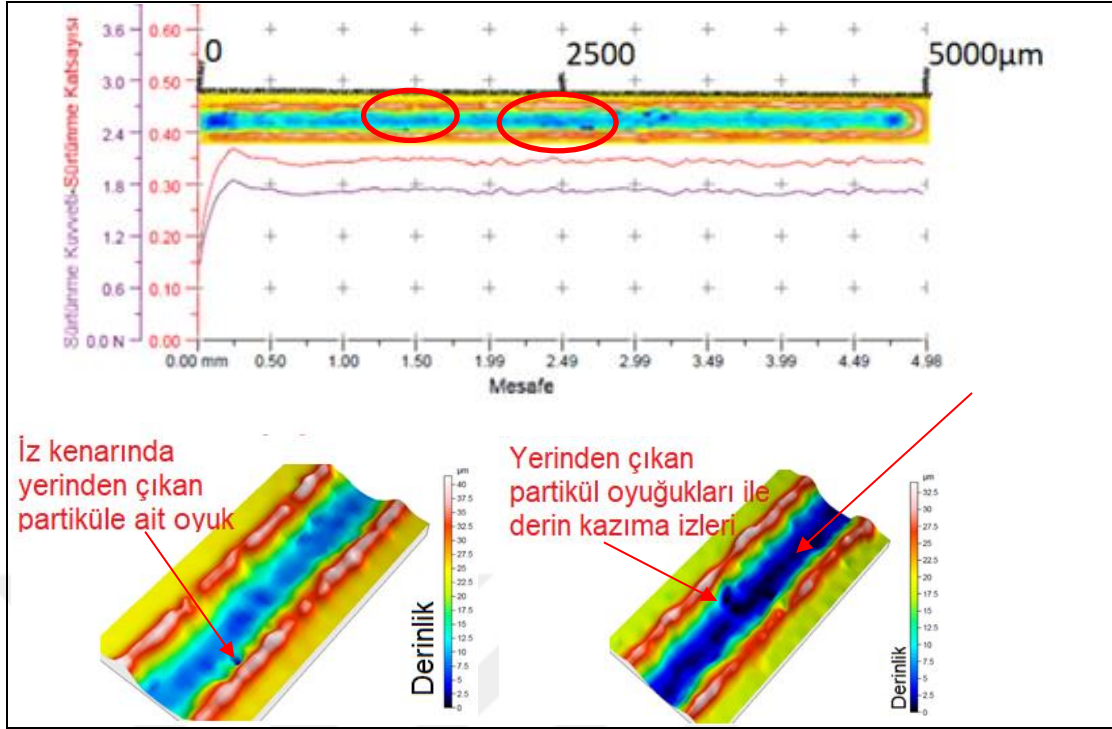
profilometre görüntüleri yer almaktadır. Bu görüntüler ışığında da görülmektedir ki; çizilme testi süresince takviye taneleri yerinden çıkmakta ve ayrı bir aşındırıcı gibi davranarak yüzeyi kazımaktadır. Bu da hem yüzey kalitesini kötüleştirmekte hem de derin kazıma izleri meydana getirmektedir. Elde edilen bu sonuçlar adhezif aşınma sonuçları ile birbirini destekler nitelikte olup artan takviye ile matris-takviye tutunmasının zayıfladığını ve kazıyıcı uç ile yerinden çıktığının göstermektedir. Çizilme işlemi süresince oluşan sürtünme kuvveti ile çizilme izi üst üste yerleştirildiğinde tanelerin yerinden çıktığı bölgelerde sürtünme kuvveti değeri de anlık yükselen değerler vermiştir.



Şekil 3.65. Ortalama sürtünme katsayısı



Şekil 3.66. Saf PP'ye ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti ile sürtünme katsayısı eğrisi değişimi



Şekil 3.67: %10 fındık kabuğu takviye edilmiş PP kompozite ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti eğrisi değişimi

3.8.3. Eroziyon aşınma testi sonuçları

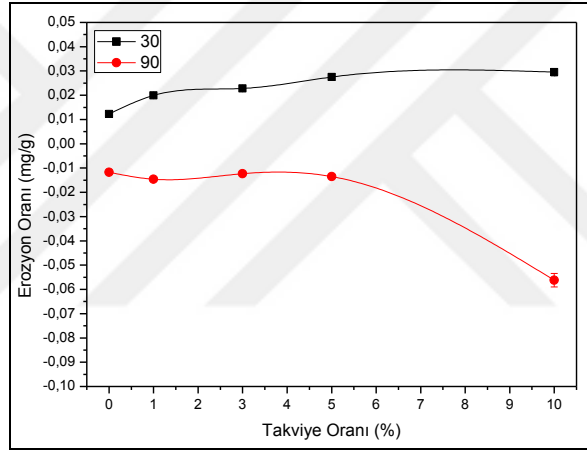
Fındık kabuğu takviyeli PP kompozitlerin eroziyon aşınma davranışını incelemek üzere 3 bar püskürtme basıncı ile 80 mesh boyutlu alümina partikülleri 30° ve 90° açılardan numunelerin üzerine püskürtülmüştür.

Gerçekleştirilen eroziyon aşınma testi sonucunda formül (4)'e göre hesaplanan erozyon oranı grafiği Şekil 3.68'de görülmektedir. Şekil 3.68'de verilmiş olan erozyon oranı sonuçları incelendiği takdirde 30° partikül çarpma açısında gerçekleşen deneylerde fındık takviyesinin erozyon direncine olumlu bir etkisi olmadığı aksine artan takviye ile birlikte erozyon oranı değerinin yaklaşık %150 kadar artış sergilediği görülmüştür. 90° partikül çarpma açısında gerçekleşen deney sonuçlarında ise negatif yönde erozyon oranı sonuçlarının varlığı gözlenmiştir. Yani aşındırıcı partiküllerin hedef numuneye çarpması sonucunda numunelerde başlangıç kütlesine kıyasla kütle artışı tespit edilmiştir. Bununla birlikte grafiğin bütünü incelendiği ise bütün takviye oranları için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinin 90° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinden yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu sonuçlar numunelerin beklenildiği gibi yarı sünek aşınma davranışı sergilediği fikrini destekler nitelikte olup aynı zamanda da yöntemin yetersiz kaldığını ve erozyon aşınması tespitinde başka bir metoda

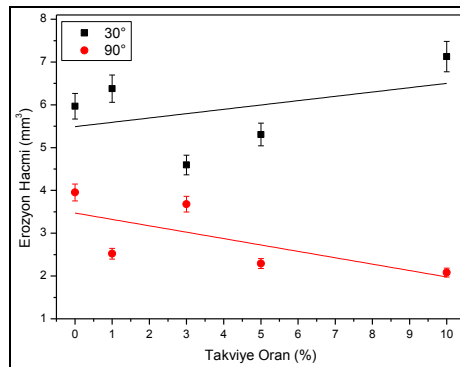
gereksinim olduğunu bir kere daha göstermiştir. Daha önceki bölümlerde belirtmiş olduğumuz yetersizliklerden dolayı aşınmaya tabi tutulan malzeme yüzeyleri optik profilometre ile taranarak yüzeyde meydana gelen hasar hacimleri tespit edilmiştir. Devamında (5) numaralı formül kullanılarak yüzeyde meydana gelen hasara ait plastik deformasyon miktarları hesaplanmıştır. Şekil 3.69'da optik profilometre ile hesaplanmış olan toplam hasar hacimleri görülmektedir ve bu grafik incelendiğinde 30° partikül çarpma açısında erozyon oranı sonuçlarına paralel bir şekilde erozyon hacmi değerlerinin de artan takviye ile birlikte arttığı ancak erozyon oranı değeri kadar yüksek değil %18 kadar bir artış olduğu görülmüştür. Fındık takviyesinin 30° partikül çarpma açısında PP'nin erozif aşınma direncini olumsuz etkilediği gözlenmiştir. 90° çarpma açısında gerçekleşen deneylerin sonuçlarına bakıldığında ise takviye oranı arttıkça erozyon direncinin artış sergilediği ve erozyon direncinin yaklaşık olarak %100 kadar arttığı görülmüştür. Deney sonuçlarının bütünü incelendiğinde ise tüm takviye oranları için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen hasar miktarının 90° partikül çarpma açısında meydana gelen hasar miktarından fazla olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Yine optik profilometre 90° çarpma açısında elde edilen sonuçlarda malzemenin hasara uğradığını açık bir biçimde göz önüne sererek kütleli ölçüme dayalı erozyon oranı metodunun yetersiz kaldığını ortaya koymuştur.

Erozyon hacimlerini hesaplayıp erozyon oranı metodunda göremediğimiz sonuçları elde edince çalışmayı bir aşama daha ileriye götürerek meydana gelen hasar mekanizmasında yer alan plastik deformasyon oranı üzerine çalışılmıştır. Plastik deformasyon oranı sonuçları da Şekil 3.70'de görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde açık bir şekilde görülmektedir. ki her bir takviye oranı için 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon oranı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından fazladır. Hatta saf PP'nin değerlerine bakıldığında, 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarının 5 kat kadar fazlasıdır. Hem 30° hem de 90° partikül çarpma açılarındaki gerçekleşen deneylerde meydana gelen plastik deformasyon miktarları artan takviye ile birlikte beklenilenin aksine artış sergilemiştir. Oysaki hem çekme testi sonuçları hem de çizilme testi sonuçları numunelerin fındık takviyesi ile birlikte gevrekleştiği sonucunu ertmektedir. Bu noktada sonuçları değerlendirdiğimizde erozif aşınma testini gerçekleştirmiş olduğumuz püskürtme basıncı değerinin PP malzemesi için çok yüksek olduğunu ve malzemenin plastik şekil değişimine izin

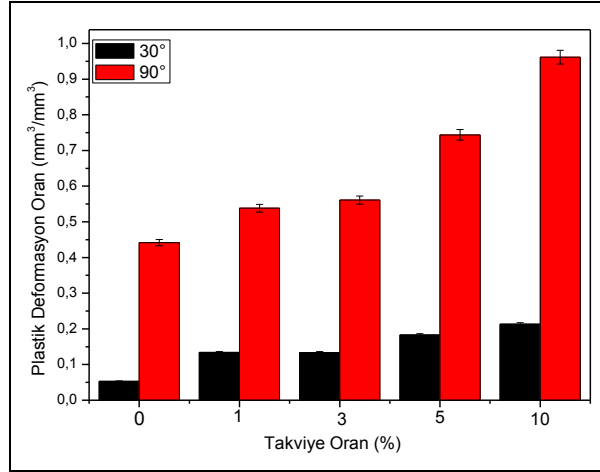
vermeden numuneyi parçaladığı sonucuna varılmıştır. Artan takviye ile birlikte esasında gevrekleşen numunelerimiz yükselen elastisite değerleri sayesinde yüksek basınçta gelen partiküller karşısında direk parçalanmayıp, direnç göstererek az da olsa bir miktar plastik değişimi sergileyebilmektedir. Başka bir ifade ile partikül püskürtme basıncı yüksek olduğundan malzemede meydana gelen plastik deformasyon basıncı gözlemlenememiştir. Deneylerin daha düşük basınç altında gerçekleştirilmesi halinde PPS ve kompozitlerinde gözlemlenmiş olduğumuz artan takviye ile birlikte plastik deformasyon oranının düşmesi durumu gözlenebilecektir. Takviye oranının aşınma yüzeylerinin pürüzlülüğü üzerine bir etkisi olup olmadığını gözlemlmek adına aşınmış yüzeylerden alınan ortalama pürüzlülük değerleri şekil 3.71’de verilmiş olup ortalama pürüzlülük değerinin hem takviye oranından hem de partikül çarpma açısından bağımsız sonuç verdiği görülmüştür.



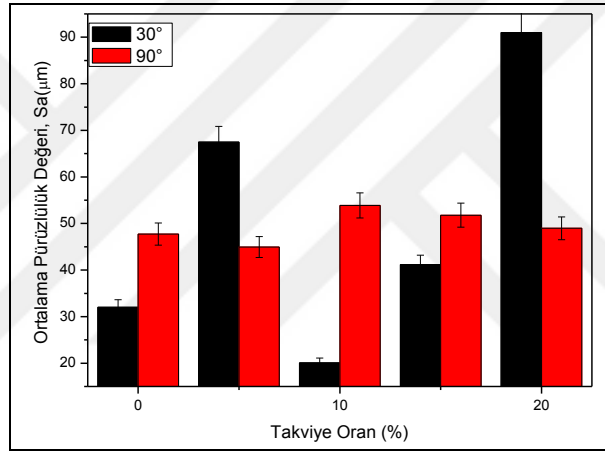
Şekil 3.68. Erozyon oranı sonuçları



Şekil 3.69. Erozyon hacmi değerleri



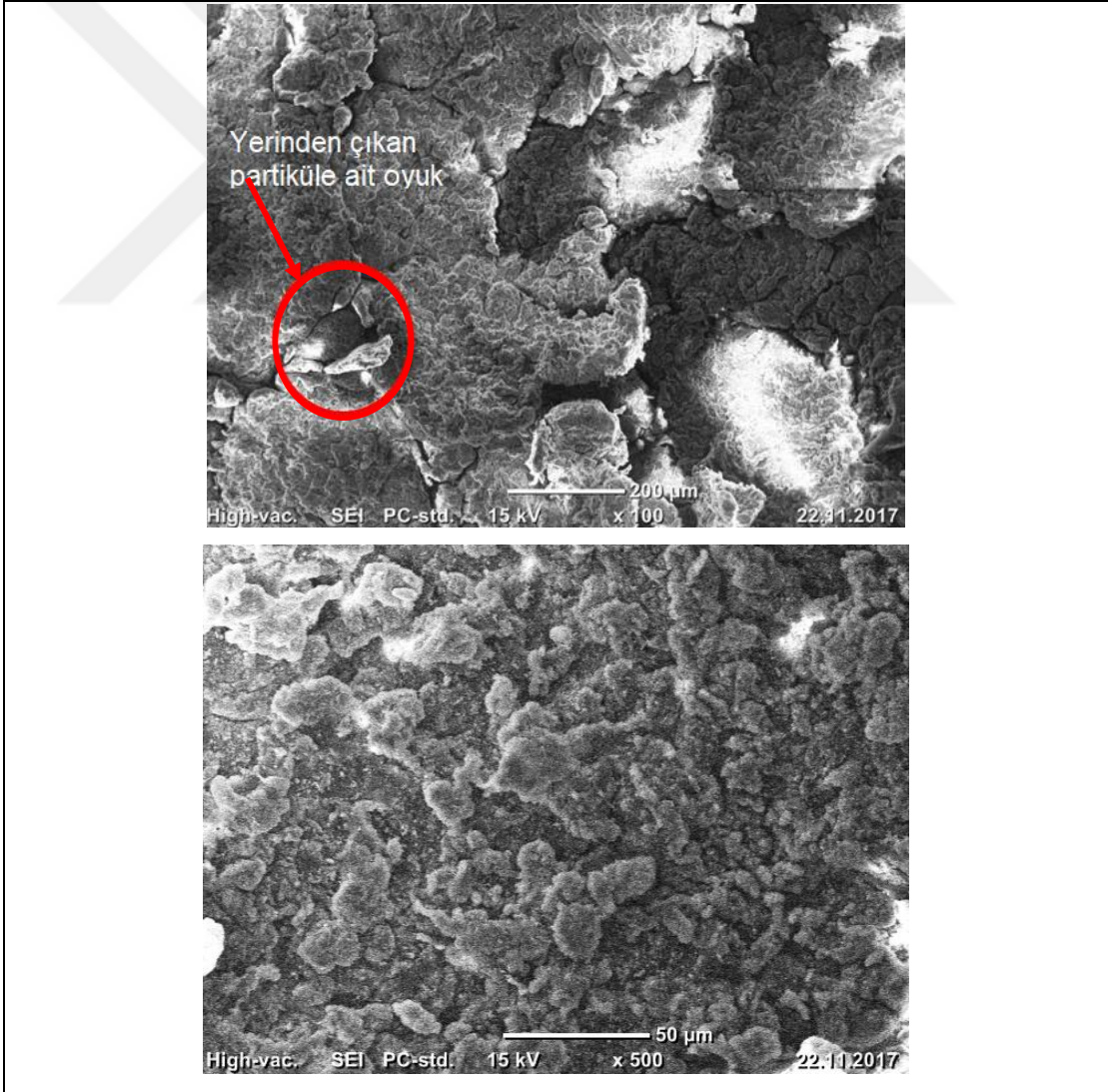
Şekil 3.70. Eroziyon aşınma sonucu plastik deformasyon sonuçları



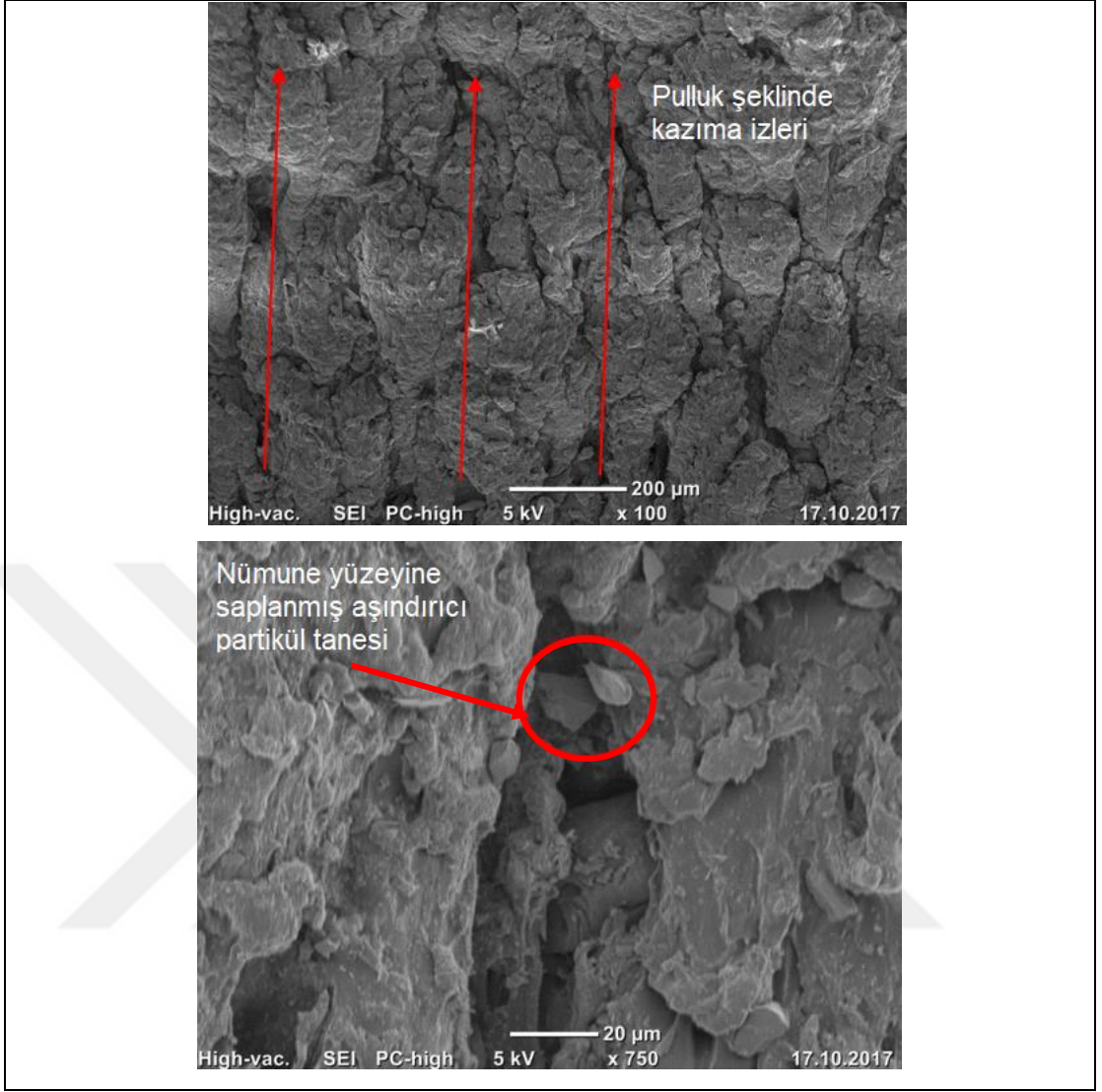
Şekil 3.71. Eroziyon aşınmaya maruz yüzeye ait ortalama pürüzlülük değerleri

Eroziyon aşınmaya maruz kalan numunelerin yüzeylerinde meydana gelen deformasyon mekanizmalarının daha detaylı incelenmesi amacı ile %1 ve %10 fındık kabuğu takviye edilmiş numune yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 3.72, 3.73 ve 3.74'te verilmiştir. Öncelikle Şekil 3.72 incelendiği zaman, %10 fındık kabuğu takviye edilmiş numuneye ait 90° çarpma açısında deforme olan yüzey görülmekte olup yüzeye saplanan aşındırıcı tane ile birlikte yüzeyde oluşmuş olan dövülme izleri ile birlikte mikro çatlak izleri ön plana çıkmaktadır. Şekil 3.73'te ise %10 fındık takviye edilmiş numuneye ait 30° çarpma açısında deforme olan yüzeye ait SEM fotoğrafları yer almaktadır. Bu görüntüler incelendiğinde, yüzeyde belirgin bir şekilde görülen kazıma püskürtme yönüne paralel kazıma izleri göze çarpmaktadır. Ayrıca görüntüler dikkatle incelendiğinde, yüzeyde meydana gelen makro çatlak ve yırtılma izleri göze çarpmaktadır. Yine aynı görüntüler özelinde konuşulduğunda, derin yırtık izi içerisinde yer alan aşındırıcı tanenin görüntüsü net

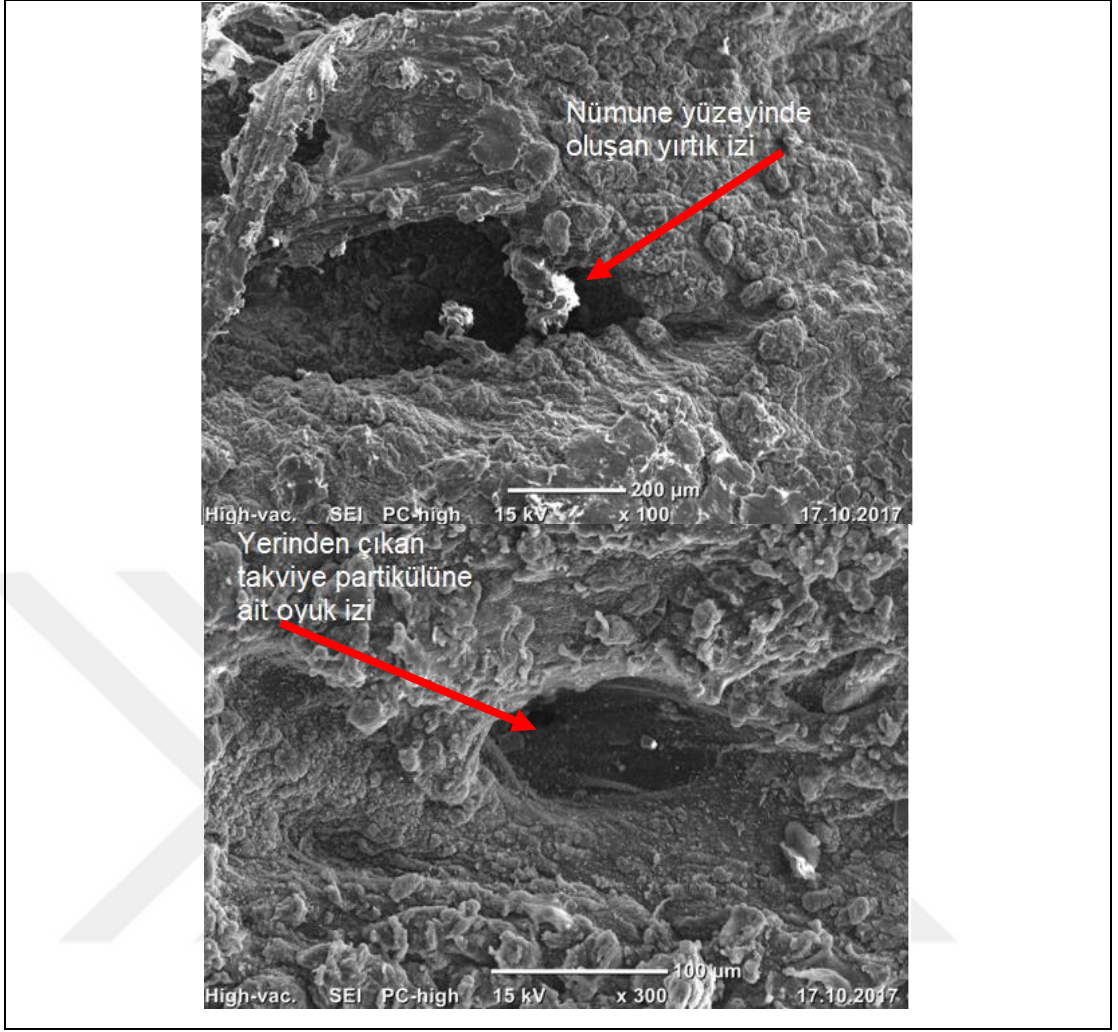
bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.74’de ise %1 fındık kabuğu takviye edilmiş numuneye ait 30° partikül çarpma açısında hasar gören yüzeyler görülmektedir. Görüntüler detaylı incelendiğinde, derin oyuklar göze çarpmakta, aşındırıcı tanenin darbesi ile yerinden çıkan partiküle ait boşluklar görülmektedir. SEM incelemeleri neticesinde erozif aşınma karakteristiği üzerine partikül çarpma açısının baskın bir etkisi olduğu göze çarpmaktadır. Optik profilometre yardımı ile ortaya koyulan; 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon değerinin 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından yüksek çıkmasını destekler niteliktedir. Çünkü düşük çarpma açısında aşındırıcı partiküller yüzeyden gerek süpürme şeklinde gerekse kazıma şeklinde malzeme kaldırıp götürürken dik ve dike yakın açılarda ise yüzeyde dövme şeklinde ve plastik şekil değişiminin ön planda olduğu hasar meydana getirmektedir.



Şekil 3.72. %10 fındık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 90° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.73. %10 fındık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 30° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.74. %1 fıstık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 30° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları

3.9. Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu

Farklı oranlarda önce kırılıp devamında öğütülmüş olan fıstık kabuğu partikülleri takviye edilerek üretilmiş olan PP kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek için mekanik testler uygulanmıştır.

3.9.1. Çekme Testi

Öncelikle kırıcıda kırılan, öğütücüde öğütülen olan ve devamında elekten geçirilen fıstık kabuğu partikülü takviye edilmiş PP matrisli kompozitlere çekme testi uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 3.75’de verilmiştir. Şekil 3.75-a’daki çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde fıstık kabuğu takviyesinin PP’nin çekme dayanımını olumlu yönde etkidiği ve çekme dayanımının yaklaşık %40 kadar

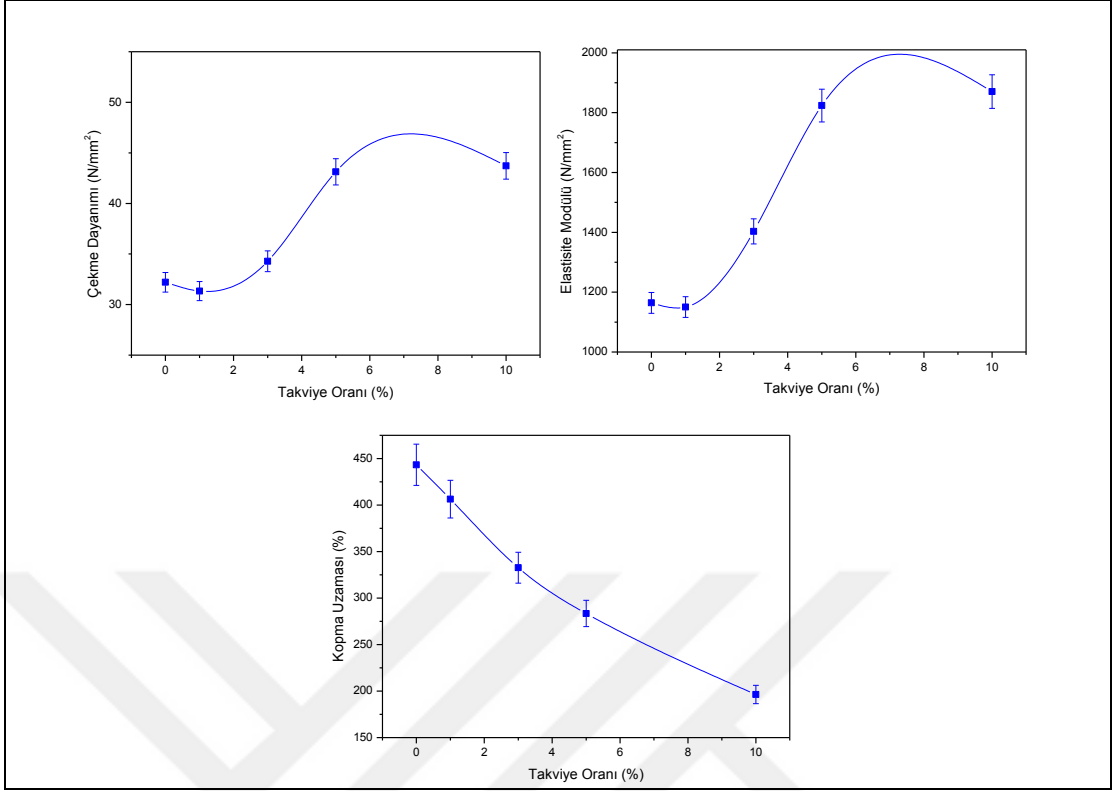
iyileştiği görölmüştür. Grafikte verilen sonuçlar incelendiğinde, %5 oranında fıstık kabuğu takviyesi ile çekme dayanımının ani artış gösterdiği ve %10 takviye oranında da aynı yüksek mukavemet değerini koruduğu görölmektedir. Fıstık takviyesi ile birlikte çekme dayanımının artmış olması, bize matris-partiköl tutunmasının olumlu olduğu ipucunu vermektedir. Artan takviye ile birlikte dayanımın düşmemiş olması, partikölerin matris içerisinde topaklanmadığını aksine homojen bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Bu sayede matris üzerine gelen yükü tek başına taşımak yerine takviye malzemesine aktararak yükü bölüşmektedir. Bu durum çekme dayanımını daolumlu yönde etkilediği öngörüsü yapmamıza olanak sağlamıştır [43, 48, 69, 74, 124].

Şekil 3.75-b'de ise fıstık kabuğu takviyesinin elastisite modöl üzerine etkisi yer almaktadır. Grafik incelendiğinde, fıstık takviyesinin elastisite modöl değerini %5 takviye oranında yaklaşık %60 kadar arttırdığı, %5 takviye oranı üzerinde ise belirgin bir artış değerinin olmadığı görölmektedir. Yapılan literatür çalışmaları da göstermiştir ki; rijit partiköl takviyesi ile birlikte elastisite modölünün artış göstermesi beklenen bir sonuç olup malzeme daha rijit ve aynı zamanda gevrek bir hal almaktadır [48, 65, 70, 75,125-127].

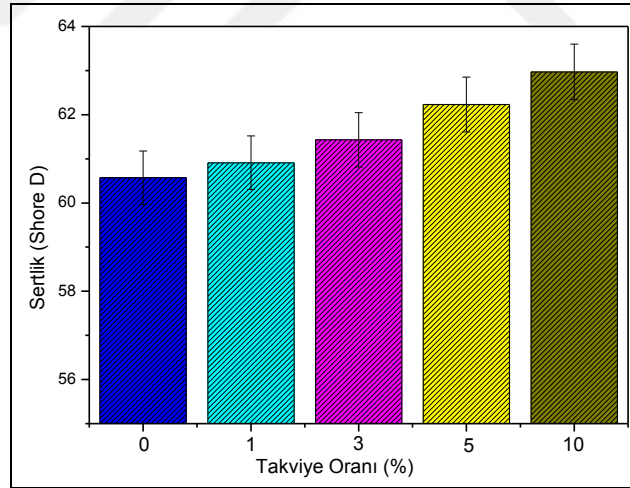
Şekil 3.75-c incelendiğinde fıstık kabuğu takviyesinin PP'nin kopma uzaması üzerine etkisi görölmektedir. Sonuçlar incelendiğinde ise artan takviye ile orantılı bir şekilde numunelerin gevrekleştiği ve kopma uzamasının %55 kadar azaldığı görölmektedir [48, 64, 70, 75,125-127].

3.9.2. Sertlik Testi

Fıstık kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisini görmek amacı ile Shore D sertlik testi uygulanmıştır. Test sonuçları Şekil 3.76' de verilmiş olup şekil 3.76 incelendiği taktirde artan fıstık kabuğu takviyesinin sertlik değerinin az da olsa %3,3 kadar artış sergilediği sonucu görölmüştür. Bununla birlikte sertlik değeri sonuçlarının artan takviye ile paralel bir şekilde artış eğiliminde olduğu sonucu da görölmektedir. Burada partiköl miktarı arttıkça batıcı uç hem daha büyük oranda ihtimal ile takviye malzemelerine batmakta hem de partiköl miktarı arttığı için partiköller matris içerisinde sıkışıp ilerleyememektedir [6].



Şekil 3.75. Fıstık kabuğu takviyesinin PP' nin (a) çekme dayanımı üzerine (b) elastisite modülü (c) kopma uzaması üzerine etkisi.

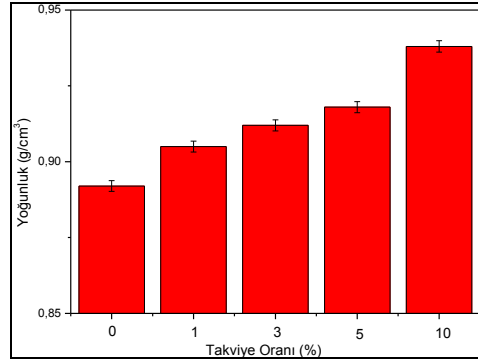


Şekil 3.76. fıstık kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisi

3.9.3. Yoğunluk testi sonuçları

Saf PP ile fıstık kabuğu partikülü takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 3.77'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde fıstık kabuğu partiküllerinin yoğunluk değerinin PP'den yüksek olduğunu ve kompozit içindeki miktarı arttıkça kompozit

numunelerin de yoğunluğunun arttığı,%10 fıstık kabuğu takviyeli kompozitin yoğunluğunun saf PP'den yaklaşık %5.9 kadar yüksek olduğu görülmüştür.



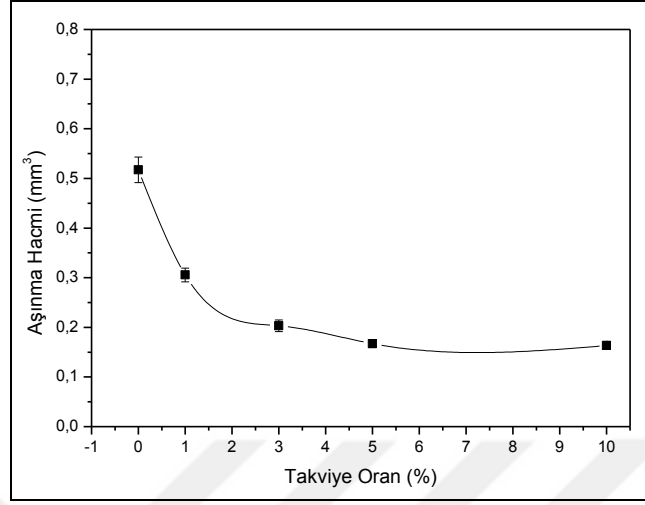
Şekil 3.77. Fıstık kabuğu takviyesinin yoğunluk üzerine etkisi

3.10. Fıstık Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu

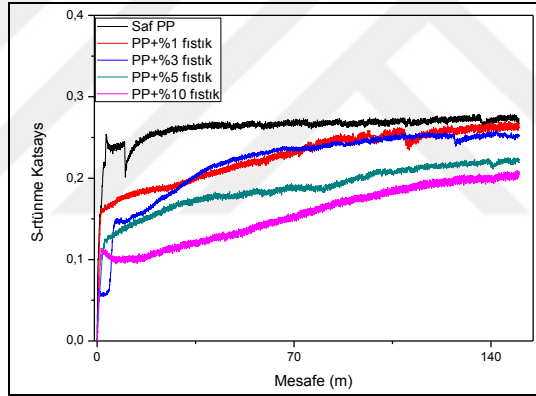
3.10.1. Bilya-disk Testi Sonuçları

Bilya-disk test metodu kullanılarak gerçekleştirilen adhezif aşınma testi sonucu meydana gelen aşınma hacmi değerleri Şekil 3.78'de verilmiştir. Fıstık kabuğu takviyesi ile birlikte PP'nin adhezif aşınma direncinin olumlu yönde arttığı ve bütün kompozit numunelerin aşınma dirençlerinin saf PP'den daha yüksek olduğu net bir şekilde görülmüştür. Belli bir oranda yüklemeye kadar PP'nin adhezif aşınma direncini arttırdığı artan takviye ile birlikte olumlu etkinin olumsuzla döndüğü görülmektedir. %5 fıstık kabuğu takviyesi ile birlikte aşınma hacmi %68 kadar düşüş göstermiş ve bu düşük aşınma değeri %10 takviyede de yerini korumuştur. Bu durum hem rijit takviye ile birlikte numune sertliğinin artması hem de aynı zamanda bu sert takviye partiküllerinin matrise iyi tutunarak aşındırıcı uca karşı direnç göstermesi ile açıklanabilir. Şekil 3.79'te deney süresince sürtünme katsayısı değişimini veren grafik verilmiş olup, tüm numunelerin denge durumu rejimde devam ettiği tespit edilmiştir. Kompozitlerin hepsi saf PP'den daha düşük değerlerde sürtünme katsayısı değeri sergilemiştir [87, 89, 91, 99]. Şekil 3.80'de numunelere ait ortalama sürtünme katsayı değerleri verilmiş olup bütün kompozitlerin ortalama sürtünme katsayı değerinin saf polimerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. En düşük sürtünme katsayısı %10 fıstık kabuğu ile takviye edilmiş kompozit numunede elde edilmiştir. Grafiğin bütünü ve aşınma sonuçları ile ilgisi incelendiğinde bu

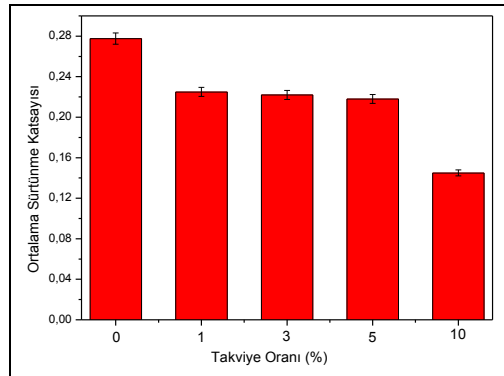
malzeme çifti özelinde sürtünme katsayısı düştükçe aşınma miktarının da azalmış olduğu görülmüştür.



Şekil 3.78. Adhezif aşınma testi sonucu

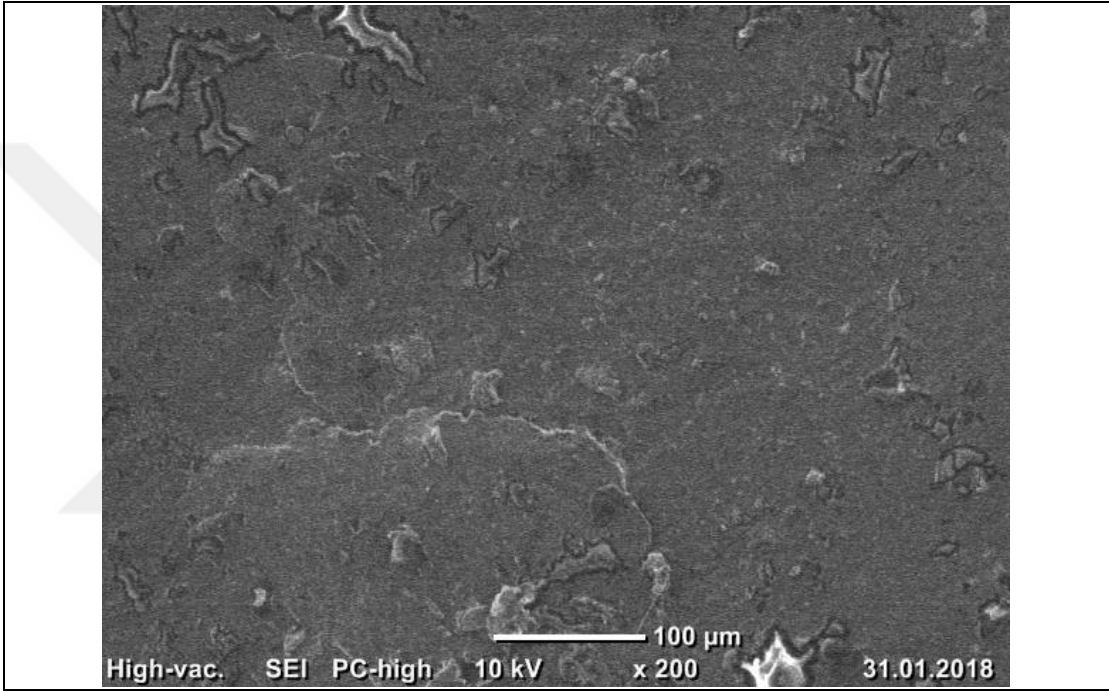


Şekil 3.79. Bilya-disk testi süresince anlık sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 3.80. Ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Şekil 3.81’de yüksek aşınma direnci sergileyen %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş PP kompozitin adhezif aşınmaya maruz bırakılmış yüzeylerine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Şekil 3.81 incelendiğinde, aşınma izinin çok yüzeysel olduğu, aşındırıcı topun numune yüzeyine derinlemesine nüfuz edemediği gözlenmektedir. Keza sertlik sonuçları da bu durumu destekler niteliktedir. Fıstık kabukları sert ve rijit yapıları sayesinde aşındırıcı top numuneyi aşınmaya karşı dirençli kılmaktadır. SEM fotoğraflarının da verdiği destekleyici görüntüler ile kompozit numunelerin saf PP’den daha dirençli olmasını açıklamaktadır.

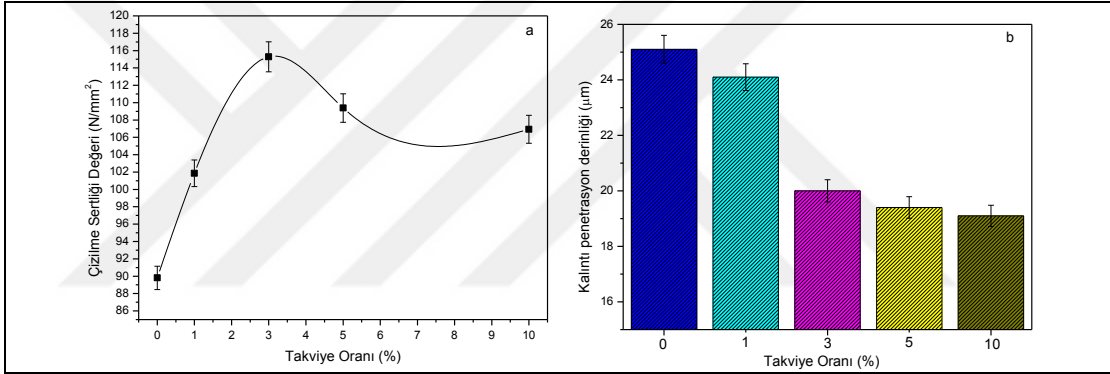


Şekil 3.81. %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş PP kompozitlere ait adhezif aşınmaya maruz yüzeyin SEM fotoğrafları

3.10.2. Çizilme testi sonuçları

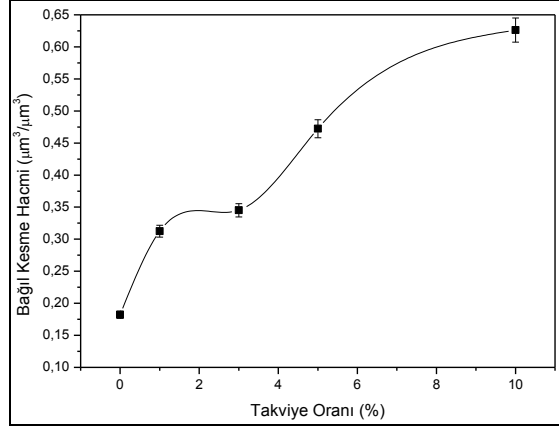
Öğütülmüş fıstık kabuğu takviyeli PP kompozit numunelerinin yüzey çizilme dirençlerinin tespiti için gerçekleştirilen çizilme testi sonuçları Şekil 3.82’te verilmiştir. Şekil 3.82-a incelendiğinde en yüksek çizilme sertliği değeri %3 fıstık kabuğu takviyeli kompozitlerde elde edilmiş olup saf PP’nin yaklaşık %27’si kadar fazla bir değere sahiptir. Grafiğin bütünü incelendiği takdirde ise bütün kompozit numunelerin saf PP’ye kıyasla daha yüksek çizilme direnci sergiledikleri görülmüştür. Şekil 3.82-b’de ise kalıntı penetrasyon değerleri verilmiş olup, çizilme işlemi sonrası iz derinliği değerleri görülmektedir ve artan takviye değeri ile birlikte kalıntı penetrasyon değerinin yaklaşık %25 kadar azaldığı görülmüştür. Sonuçların değerlendirilmesi yapılırken fıstık kabuğunun PP’ye göre rijit olması sebebi ile çizici ucun numune

içerisine nüfuz etmesinin zorlaştığı, yani başka bir ifade ile numunenin artan modül değeriyle birlikte batıcı ucun numune içerisine batmasının da zorlaştığı şeklinde ifade edilebilir. Burada kalıcı penetrasyon değeri düşerken çizilme sertliği değerinin beklenen aksine %5 ve %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş kompozitlerde %3 fıstık kabuğu takviye edilen kompozitten düşük çıkmaktadır. Bu durum yerinden çıkan partiküllerin kazıyıcı gibi davranarak çizilme izini genişletici yönde etkilemeleri şeklinde değerlendirilebilir. Keza gerek çekme test sonuçları gerekse adhezif aşınma sonuçları ile elde edilen çizilme sertliği sonuçları birbirlerini destekler niteliktedirler [79,81]. Kompozit numunelere ait sertlik testi ve modül değerleri saf PP'ye kıyasla yüksek olduğu gibi çizilme sertliği değerinin de artması malzemelerin modül ve sertlik değerlerinin çizilme karakteri üzerinde etkin olduğunu göstermektedir. Keza Şekil 3.82-b incelendiğinde tüm kompozit numunelerin kalıntı penetrasyon derinliğinin saf PP'den daha sığ kalması bunu desteklemektedir.



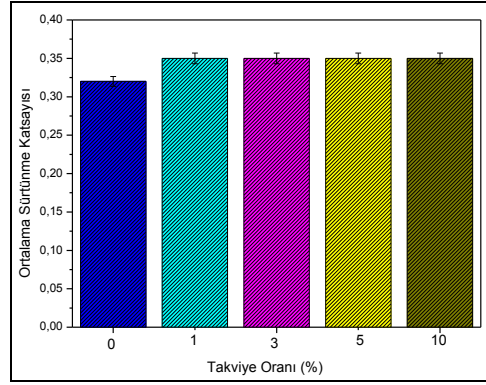
Şekil 3.82. Çizilme testi sonucu; a) Çizilme sertlik değeri, b) Kalıntı penetrasyon derinliği

Şekil 3.83' te ise geleneksel çizilme testi sonuçlarının üstüne gerçekleştirilmiş olan bağıl kesme hacmi sonuçları verilmiştir. Bu inceleme ile meydana gelen çizilme hasarının ne şekilde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Başka bir ifade ile meydana gelen aşınma mekanizmasının ne oranda malzeme kazıması ne oranda ise plastik deformasyon sonucu meydana gelmiş olduğunun cevabı bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde açık bir şekilde görülmüştür ki; saf polimerde elde edilen değer 0.18'dir ve baskın olan aşınma mekanizması plastik deformasyon şeklindedir. Takviye oranı arttıkça bu değer 0,65'e yaklaşmaktadır ve aşınma mekanizması üzerinde baskın olan plastik deformasyon mekanizmasının etkinliği azalarak yerini kazıma mekanizmasına bırakmaktadır. Kazıma şeklinde meydana gelen hasar mekanizmasının ağırlığı artmaktadır. Bu sonuçlar ışığında takviye ile birlikte PP polimerinin sahip olduğu sünek karakterin giderek azaldığı ve gevrek bir yapıya sahip oldukları görülmüştür [82,121].

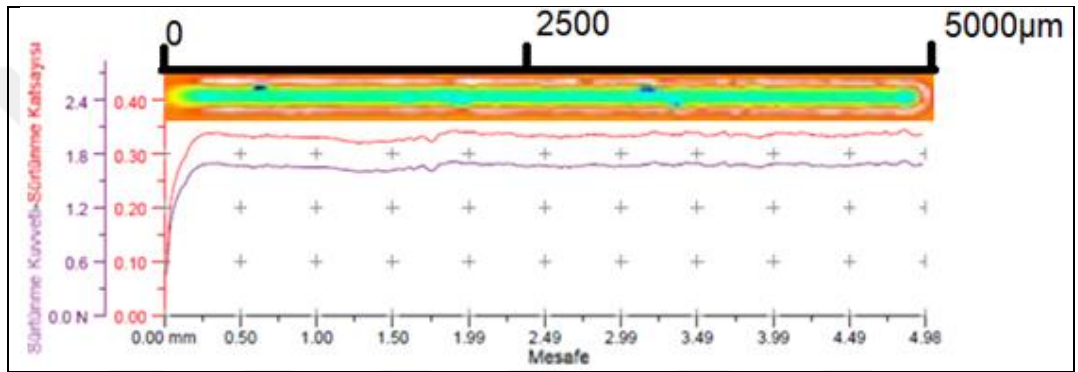


Şekil 3.83. Bağıl Kesme Hacim oranı

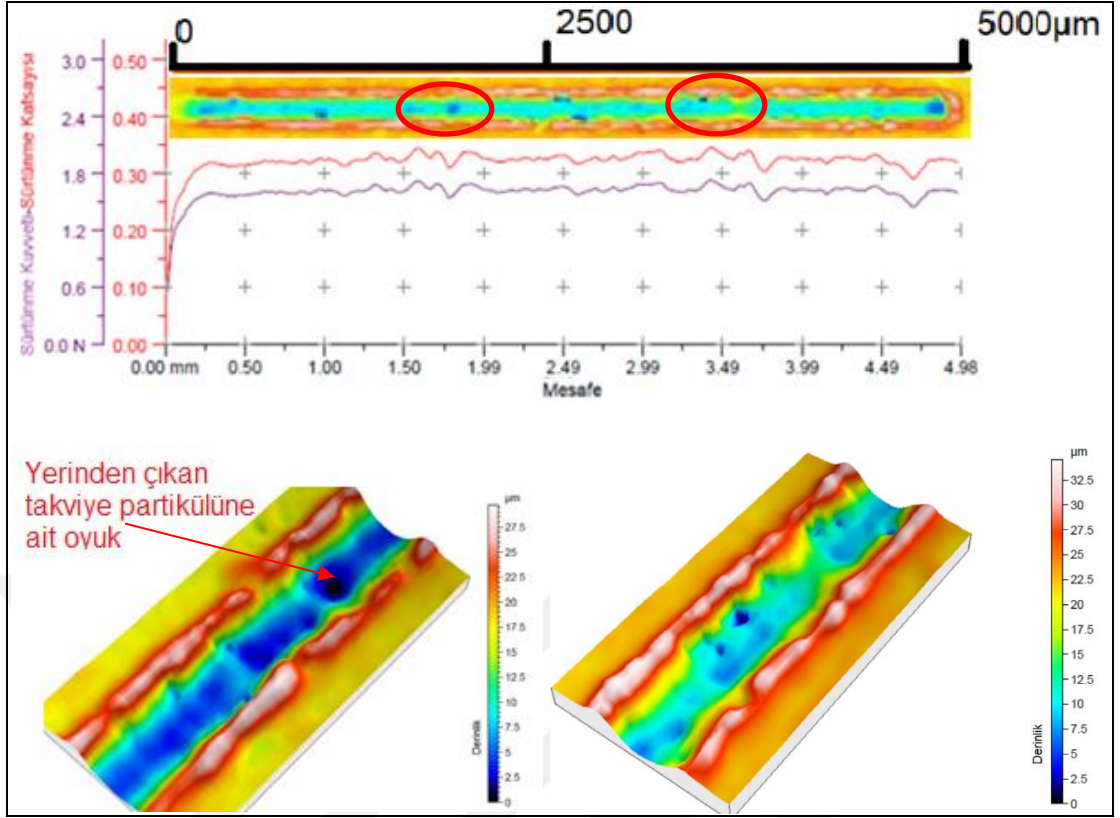
Şekil 3.84'te ise numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri görülmektedir. Kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı değerinin saf PP'den %16 daha yüksek olduğu, ancak kendi aralarında belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Hem kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı değerinin artışını hem de şekil 3.73'te kalıntı penetrasyon derinliği ve çizilme sertliği değerleri arası çıkan ters sonuçların cevabını aramak maksadı ile Şekil 3.85 ve Şekil 3.86' da verilmiş olan %3 ve %5 fıstık kabuğu takviye edilmiş PP kompozitlere ait optik profilometre fotoğrafları ile deney süresince ölçülen sürtünme kuvveti eğrileri incelenmiştir. Şekil 3.85'da yer alan %3 fıstık kabuğu takviye edilmiş numuneye ait sürtünme kuvveti eğrisi saf PP'ye benzer bir şekilde stabil olarak ilerlerken optik profilometre fotoğrafında da çizilme izinde oyukların yok denecek kadar az ve seyrek olduğu görülmektedir. Şekil 3.86'de verilmiş olan %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş kompozite ait sürtünme katsayısı eğrisi üzerinde birçok ani değer değişimleri görülürken optik profilometre resminde de özellikle izin yanal bölgesinde yerinden çıkan takviye malzemesine ait oyuklar olduğu göze çarpmaktadır. Yapılan optik profilometre incelemeleri neticesinde, çizilme sertliği değerinin kalıntı penetrasyon derinliği düşmesine rağmen azalıyor olması da izin yanal bölgesinde yerinden çıkan taneler olması ile açıklanabilirken, artan takviye ile ortalama sürtünme katsayısının artışı da yerinden çıkan takviye tanelerinin ayrı bir aşındırıcı gibi davranması şeklinde açıklanmaktadır.



Şekil 3.84. Ortalama sürtünme katsayısı



Şekil 3.85. %3 fıstık kabuğu takviye edilmiş PP kompozite ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti eğrisi değişimi



Şekil 3.86. %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş PP kompozite ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti eğrisi değişimi

3.10.3. Eroziyon aşınma testi sonuçları

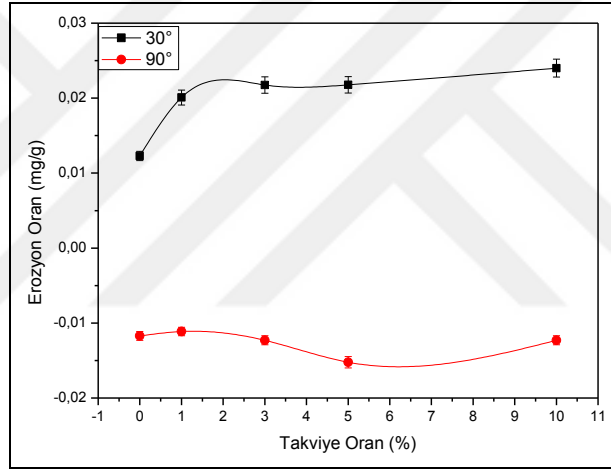
Fıstık kabuğu takviyeli PP kompozitlerin eroziyon davranışını incelemek üzere 3 bar püskürtme basıncı ile 80 mesh boyutlu alümina partikülleri 30° ve 90° açılardan numunelerin üzerine püskürtülmüştür.

Gerçekleştirilen eroziyon aşınma testi sonucunda formül (4)'e göre hesaplanan erozyon oranı grafiği Şekil 3.87'de görülmektedir. Şekil 3.87'de verilmiş olan erozyon oranı sonuçları incelendiğinde 30° partikül çarpma açısında gerçekleşen deneylerde fıstık kabuğu takviyesinin erozyon direncine olumlu bir etkisi olmadığı, kompozit numunelerde erozyon oranı değerinin %125 kadar artış gösterdiği ve tüm kompozit numunelerde meydana gelen erozyon oranı değerlerinin saf PP'den daha yüksek olduğu görülmüştür. 90° partikül çarpma açısında ise daha önceki bölümlerde olduğu gibi negatif yönde erozyon oranı sonuçlarının varlığı gözlenmiştir. Yani aşındırıcı partiküllerin hedef numuneye çarpması sonucunda numunelerde başlangıç kütlelerine kıyasla kütle artışı tespit edilmiştir Bununla birlikte grafiğin bütünü incelendiği takdirde ise saf PP ve bütün fıstık takviyeli kompozit numuneler için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinin 90°

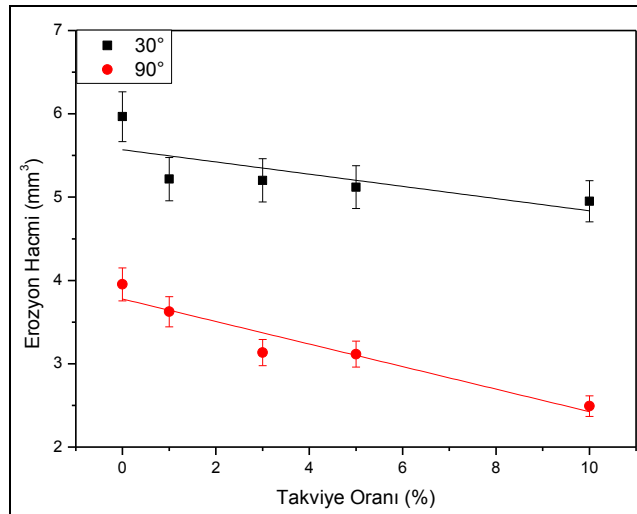
partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinden yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu sonuçlar numunelerimizin beklenildiği gibi yarı sünek aşınma davranışı sergilediği fikrini destekler nitelikte olup aynı zamanda da yöntemin yetersiz kaldığını ve erozyon aşınması tespitinde başka bir metoda daha gereksinim olduğunu bir kere daha göstermiştir. Daha önceki bölümlerde belirttiğimiz yetersizliklerden dolayı aşınmaya tabi tutulan malzeme yüzeyleri optik profilometre ile taranarak yüzeyde meydana gelen hasarın hacimsel değerleri tespit edilmiştir. Devamında (5) numaralı formül kullanılarak hasara uğrayan yüzeylerde meydana gelen hasara ait plastik deformasyon miktarları hesaplanmıştır. Şekil 3.88'de optik profilometre ile hesaplanmış olan toplam hasar hacimleri görülmektedir ve bu grafik incelendiğinde 30° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı sonuçlarının aksine erozyon ile aşınan hacim miktarının artan takviye ile birlikte %10 oranında düşüş sergilediği yani fıstık kabuğu takviyesi ile 30° partikül çarpma açısında PP'nin erozif aşınma direncini olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir. 90° çarpma açısında gerçekleşen deneylerin sonuçlarına bakıldığında ise bu parametrede de takviye oranı arttıkça erozyon direncinin artış sergilediği ve erozyon direncinin yaklaşık olarak %50 kadar arttığı görülmüştür. Deney sonuçlarının bütünü incelendiğinde, Hem saf PP hemde bütün fıstık kabuğu takviye edilmiş kompozit numuneler için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen hasar miktarının 90° partikül çarpma açısında meydana gelen hasar miktarından fazla olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Yine optik profilometre 90° çarpma açısında elde edilen sonuçlarda malzemenin hasara uğradığı görülmüştür. Bu durum da kütleli ölçüme dayalı erozyon oranı metodunun yetersiz kaldığını açık bir şekilde ortaya koymuştur.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında meydana gelen erozif aşınma hasar mekanizmasında ortaya çıkan plastik deformasyon oranı üzerine çalışılmıştır. Plastik deformasyon oranı sonuçları da Şekil 3.89'da görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde açık bir şekilde görmekteyiz ki; her bir takviye oranı için 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon oranı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından fazladır. Hatta %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş kompozit numunelerin değerlerine bakıldığında, 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarının 6 kat kadar fazlasıdır. Fıstık kabuğu takviye edilmiş kompozit numune grubu için de fındık kabuğu kabuğu takviye edilmiş kompozit grubunda olduğu gibi hem 30° hem de 90° partikül çarpma açılarında gerçekleşen deneylerde meydana gelen plastik deformasyon miktarları

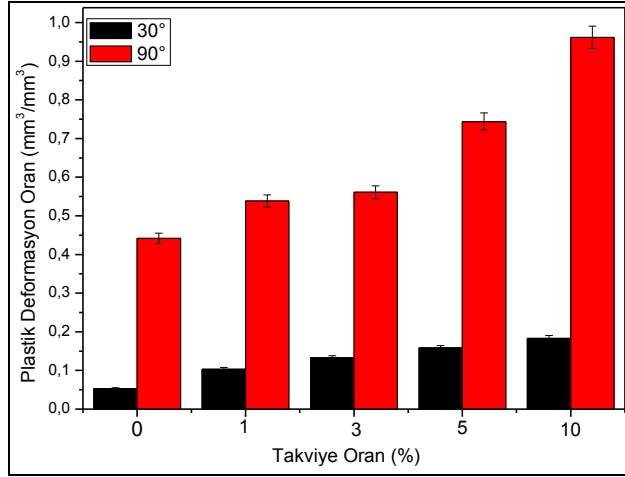
artan takviye ile birlikte beklenilenin aksine artış sergilemiştir. Daha önceki bölümde de açıkladığımız gibi bu durum deneylerin gerçekleştirildiği aşındırıcı partikül püskürtme basıncının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü gerek çekme testi sonuçları gerekse çizilme testinden elde edilen bağıl kesme hacmi sonuçları fıstık takviyesi ile birlikte PP'nin gevrekleştiği sonucunu ortaya koymaktadır. Takviye oranının aşınma yüzeylerinin pürüzlülüğü üzerine bir etkisi olup olmadığını gözlemlemek adına aşınmış yüzeylerden alınan ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 3.90'da verilmiş olup ortalama pürüzlülük değerinin takviye oranlarından bağımsız olduğu ancak partikül çarpma açısına göre 90° partikül çarpma açısında hasara uğrayan yüzeylerin ortalama pürüzlülük değerinin 30° partikül çarpma açısında hasara uğrayan yüzeylerin ortalama pürüzlülük değerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



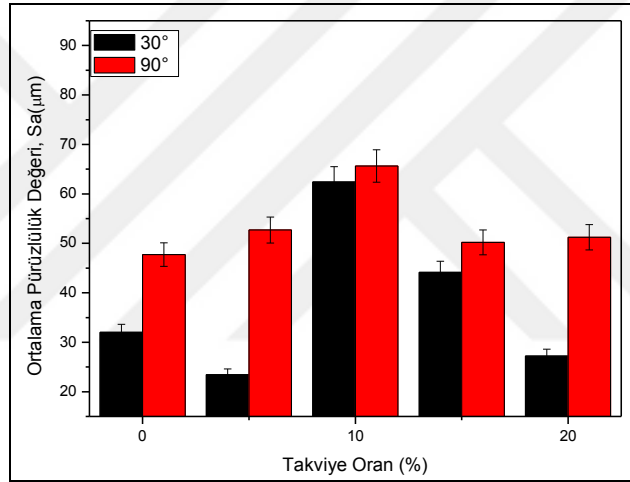
Şekil 3.87. Erozyon oranı sonuçları



Şekil 3.88. Erozyon hacmi değerleri



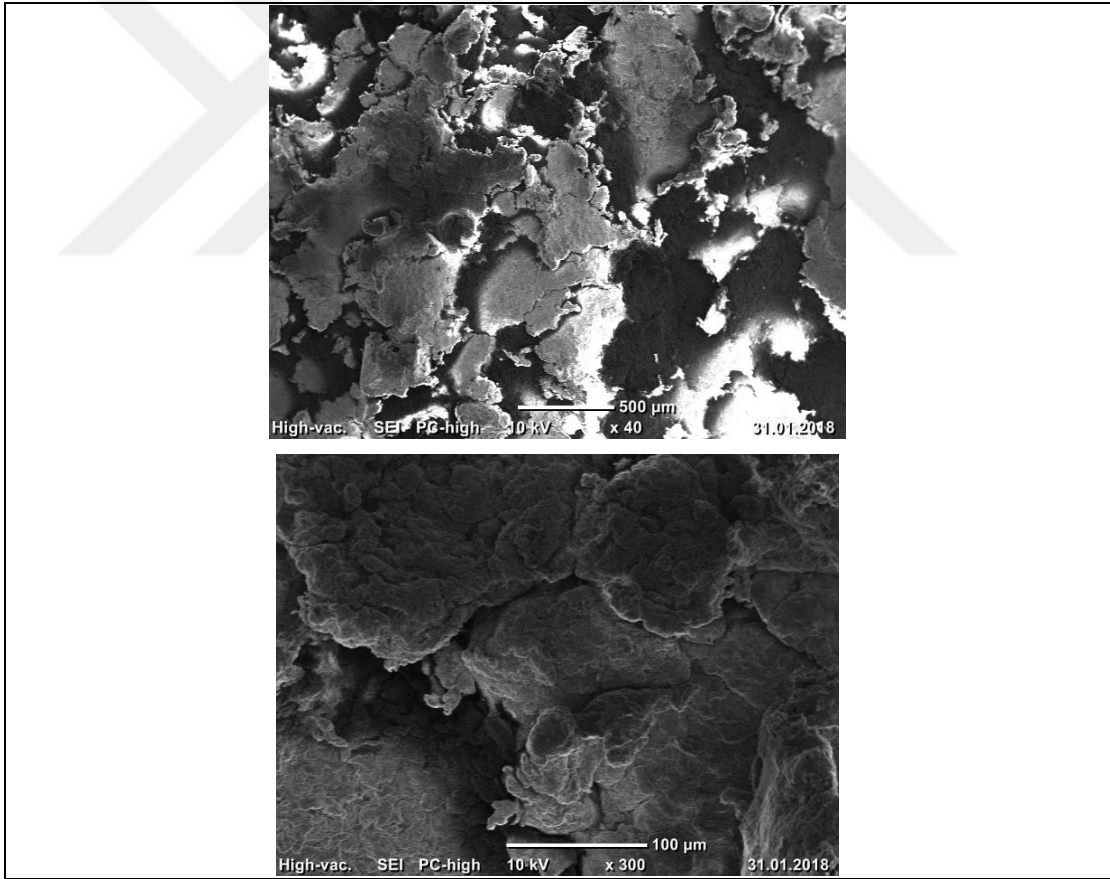
Şekil 3.89. Erozif aşınma sonucu plastik deformasyon sonuçları



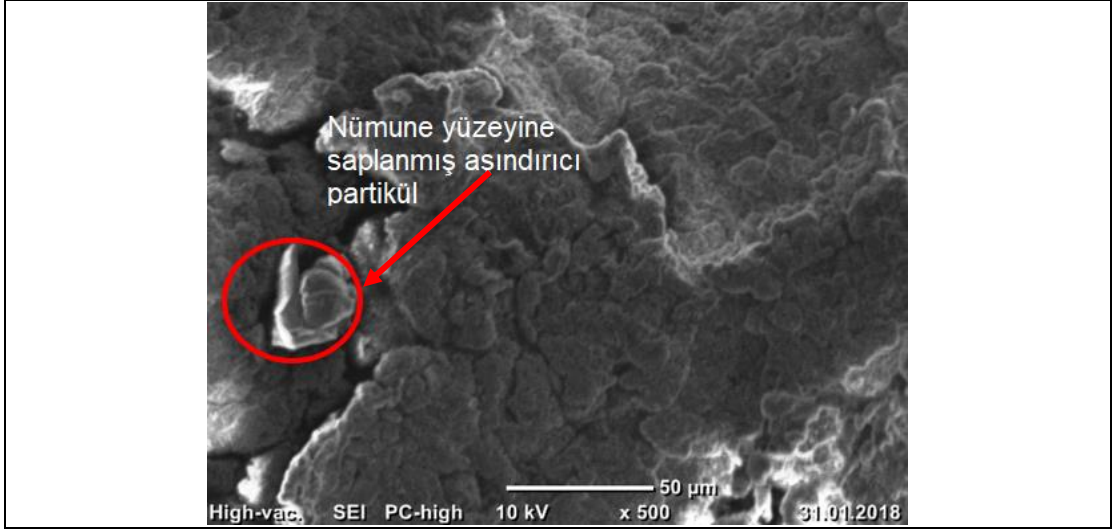
Şekil 3.90. Erozif aşınmaya maruz yüzeye ait ortalama pürüzlülük değerleri

Erozif aşınmaya maruz kalan numunelerin yüzeylerinde meydana gelen deformasyon mekanizmalarının daha detaylı incelenmesi amacı ile %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 30° ve 90° partikül çarpma açılarında hasara uğrayan yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 3.91 ve 3.92'de verilmiştir. Öncelikle şekil 3.91 incelendiği zaman, %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş numuneye ait 90° çarpma açısında deforme olan yüzey görülmektedir. Bununla birlikte yüzeyde yer alan dövülme izleri, makro ve mikro boyutta çatlak ve kırıklar ile birlikte numune yüzeyine saplanan aşındırıcı partikül taneleri de net bir şekilde görülmektedir. Yine aynı yüzeye ait fotoğraflarda yüzeyde meydana gelen farklı katmanlar ile ufalanmış yüzeyler göze çarpmaktadır. Şekil 3.92'de ise %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş numuneye ait 30° çarpma açısında deforme olan yüzeye ait SEM fotoğrafları yer almaktadır. Bu yüzeylere ait fotoğraflar incelendiği takdirde yüzeyde sürülen tarla

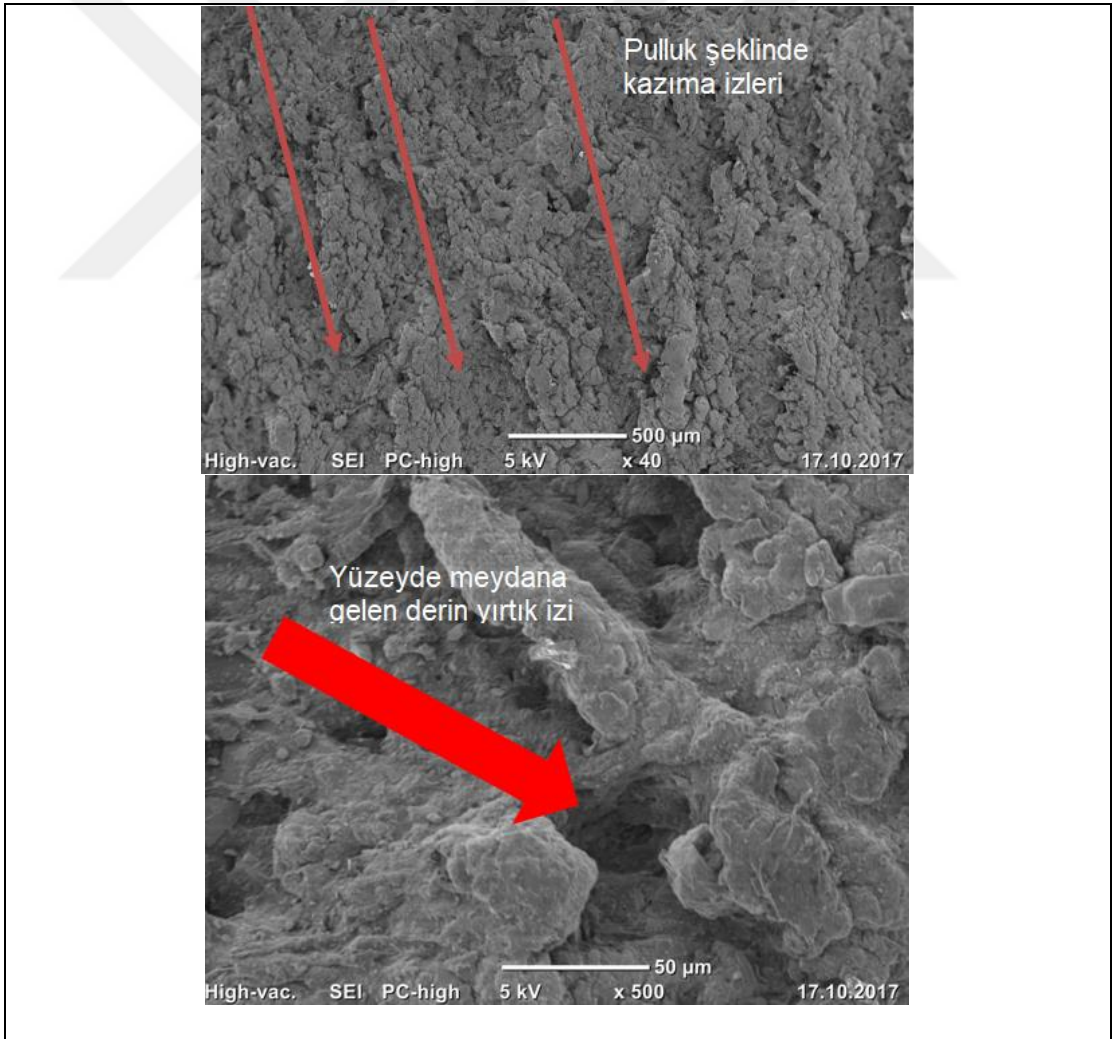
benzeri partikül izleri göze çarpmaktadır. Yüzeyde derin ve makro boyutta oyuk ve yırtıklar göze çarpmaktadır. Aşındırıcı taneler numune yüzeyinde derin kazıma izleri oluştururken, numune yüzeyine saplanıp kalan aşındırıcı taneler net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca yine aşındırıcı tanelerin meydana getirdiği darbe sonucu takviye tanelerinin yerinden fırladığı ve takviye tanelerine ait oyuklar numune yüzeyinde açık bir şekilde görülmüştür. SEM incelemeleri optik profilometre yardımı ile ortaya koyulan; 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon değerinin 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından yüksek çıkmasını destekler niteliktedir. Çünkü düşük çarpma açısında aşındırıcı partiküller yüzeyden gerek süpürme şeklinde gerekse kazıma şeklinde malzeme kaldırıp götürürken dik ve dike yakın açılarda ise yüzeyde dövme şeklinde hasar meydana getirerek plastik şekil değişimi şeklinde deformasyon meydana getirmektedirler.



Şekil 3.91. %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 90° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.91(Devamı). %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 90° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.92. %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 30° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları



3.92 (Devamı). %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş numunelerin 30° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları

3.11. Ceviz Kabuğu ile Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu

Farklı oranlarda kırılarak öğütücüde öğütülen ve devamında ceviz kabuğu partikülleri takviye edilerek üretilmiş olan PP kompozitlerin mekanik özelliklerinin ceviz kabuğu takviyesi ile değişip değişmediğini, eğer değişim olmuş ise ne yönde olduğunu tespit etmek için üretilen numunelere mekanik testler uygulanmıştır.

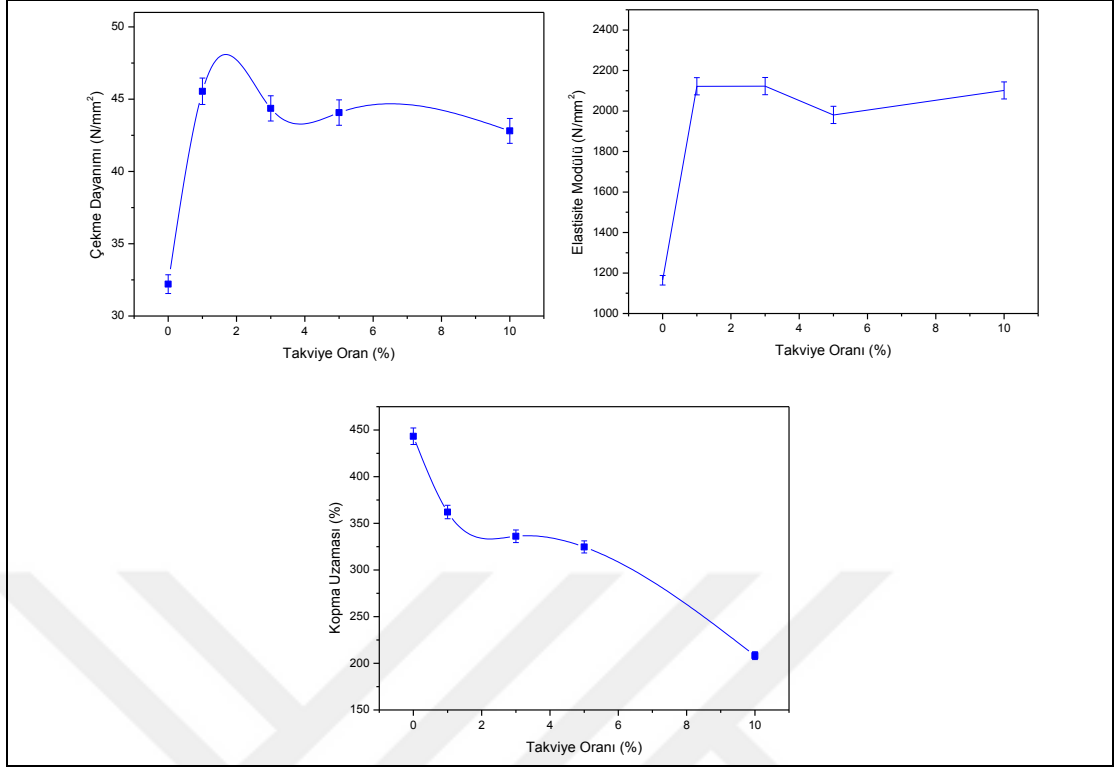
3.11.1. Çekme Testi

Öncelikle kırıcıda kırılarak öğütücüde öğütülen ve devamında elekten geçirilen ceviz kabuğu partikülü takviye edilmiş PP matrisli kompozitlere çekme testi uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 3.93'te verilmiştir. Şekil 3.93-a'daki çekme dayanımı

sonuçları incelendiğinde, ceviz kabuğu takviyesinin PP'nin çekme dayanımını olumlu yönde etkilediği ve tüm kompozit numunelerin saf PP'ye kıyasla yüksek çekme dayanımı sergilediği gözlemlenmiştir. Ceviz kabuğu takviyesi çekme dayanımını arttırdığı ve çekme dayanımı değerinin ceviz kabuğu takviyesi ile birlikte %50 oranında artış sergilediği görülmüştür. Grafiğin bütünü incelendiğinde ise takviye oranının değişimi ile birlikte çekme dayanımının çok fazla etkilenmediği ve tüm kompozit numunelerin saf PP'den daha yüksek çekme dayanımı değeri sergilediği görülmüştür. Partikül takviyesi ile birlikte çekme dayanımının artması matris-takviye arası arayüzey tutunmasının iyi olduğu ve matrisin üzerine gelen yükü takviyeye aktarabildiği şeklinde açıklanabilir [43, 48, 69, 74, 124].

Şekil 3.93-b' de ise ceviz kabuğu takviyesinin elastisite modül üzerindeki etkisi verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ceviz kabuğu takviyesi ile birlikte elastisite modül değerinin %85 oranında arttığı ve takviye oranının artışı ile birlikte elastisite modülünde kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Yapılan literatür çalışmaları da göstermiştir ki; rijit partikül takviyesi ile birlikte elastisite modülünün artış göstermesi beklenen bir sonuç olup malzeme daha rijit ve aynı zamanda gevrek bir hal almaktadır [48, 64, 70, 75,125-127].

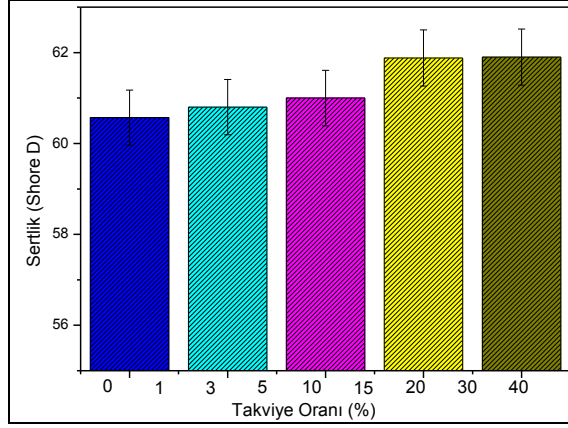
Şekil 3.93-c incelendiğinde, ceviz kabuğu takviyesinin PP'nin kopma uzaması üzerine etkisi görülmektedir. Artan takviye ile birlikte malzemenin gevrekleşerek kopma uzaması değerinin yaklaşık %55 oranında düşüş sergilediği görülmüştür [48, 64, 70, 75,125-127].



Şekil 3.93. Ceviz kabuğu takviyesinin PP'nin (a) çekme dayanımı üzerine (b) elastisite modülü kopma uzaması üzerine etkisi

3.11.2. Sertlik Testi

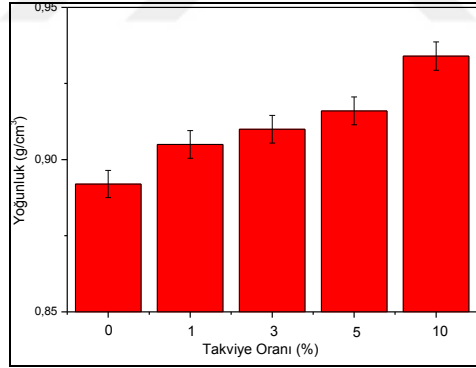
Ceviz kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisini görmek amacı ile Shore D sertlik testi uygulanmıştır. Test sonuçları Şekil 3.85'te verilmiş olup Şekil 3.85 incelendiği takdirde artan ceviz kabuğu takviyesinin sertlik değeri üzerine çok belirgin bir etkisi olmadığı, %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş kompozit numunenin sertlik değerinin saf PP'den yaklaşık %2,5 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. Grafiğin geneli incelendiğinde sertlik değerinin artışı az olsa da takviye miktarı ile paralel bir şekilde artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Burada partikül miktarı arttıkça batıcı uç hem daha büyük ihtimal ile takviye malzemelerine batmakta hem de partikül miktarı arttığı için partiküller matris içerisinde sıkışıp ilerleyememektedir. Bu sebeple sertlik değeri saf PP'ye kıyasla daha yüksek çıkmaktadır [6].



Şekil 3.94. Ceviz kabuğu takviyesinin sertlik üzerine etkisi

3.11.3. Yoğunluk testi sonuçları

Saf PP ile ceviz kabuğu partikülü takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 3.95'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde ceviz kabuğu partiküllerinin yoğunluk değerinin PP'den yüksek olduğunu ve kompozit içindeki miktarı arttıkça kompozit numunelerin de yoğunluğunun arttığı, %10 fıstık kabuğu takviyeli kompozitin yoğunluğunun saf PP'den yaklaşık %4,7 kadar yüksek olduğu görülmektedir.



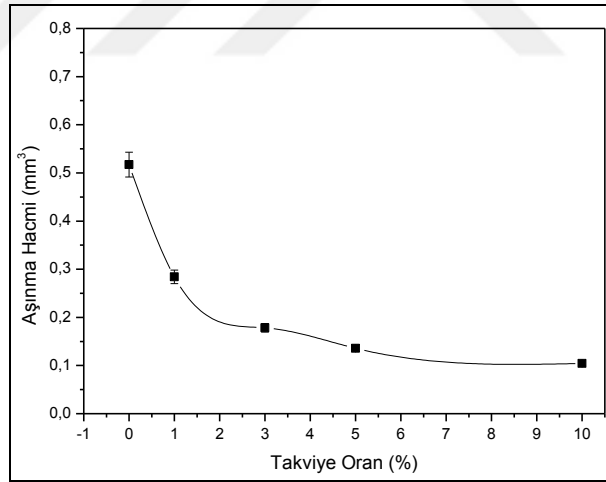
Şekil 3.95. Ceviz kabuğu takviyesinin yoğunluk üzerine etkisi

3.12. Ceviz Kabuğu Takviye Edilmiş PP Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu

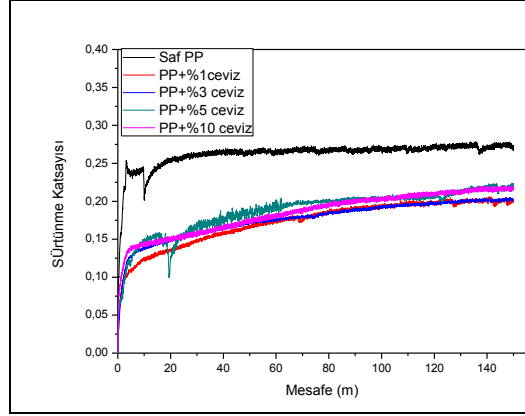
3.12.1. Bilya-disk testi sonuçları

Bilya-disk test metodu kullanılarak gerçekleştirilen adhezif aşınma testi sonucu meydana gelen aşınma hacmi değerleri Şekil 3.96'da verilmiştir. Ceviz kabuğu takviyesinin adhezif aşınma direncini olumlu yönde etkilediği ve artan takviye ile aşınan malzeme hacminin düşüş gösterdiği görülmüştür. En yüksek aşınma

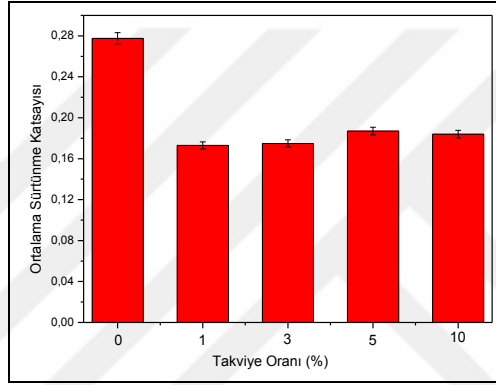
direncini %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş kompozitler sergilemiş olup aşınma hacmi saf PP'ye kıyasla %80 düşmüştür. Bu durum rijit yapılı partikül tanelerinin matrise iyi tutunduğunu göstermektedir. Rijit ve sert yapılı partiküller aşındırıcı uç karşısında direnç göstermiş olup matrisle de iyi yapışma sergilediği için yerinden kopup ayrılmamaktadır. Şekil 3.97'de deney süresince sürtünme katsayısı değişimini veren grafik verilmiş olup saf polimerin de kompozit numunelerin de deney süresince denge durumunda devam ettikleri ve bütün kompozit numunelerin sürtünme katsayısı değerlerinin saf PP'den daha düşük olduğu görülmektedir. Böylelikle takviye partiküllerinin matris ile iyi bir tutunma gösterdiği ve aşındırıcı topun uyguladığı kuvvet ile birlikte yerinden çıkmayarak aşınma direncine katkı sağladığı bu sonuçlarla desteklenmiştir [87, 89, 91, 99]. Şekil 3.98'de numunelere ait ortalama sürtünme katsayı değerleri verilmiş olup ortalama sürtünme katsayısı %1 ceviz kabuğu takviyesi ile yaklaşık olarak %35 düşüş göstermiştir. Takviye oranının değişimi ile birlikte ortalama sürtünme katsayısı değerinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Grafiğin bütünü ve aşınma sonuçları ile ilgisi incelendiğinde, sürtünme katsayısının takviye oranı ile net bir ilişkisinin olmadığı, ancak düşük sürtünme katsayısının da aşınma direncine olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.96. Adhezif aşınma testi sonucu

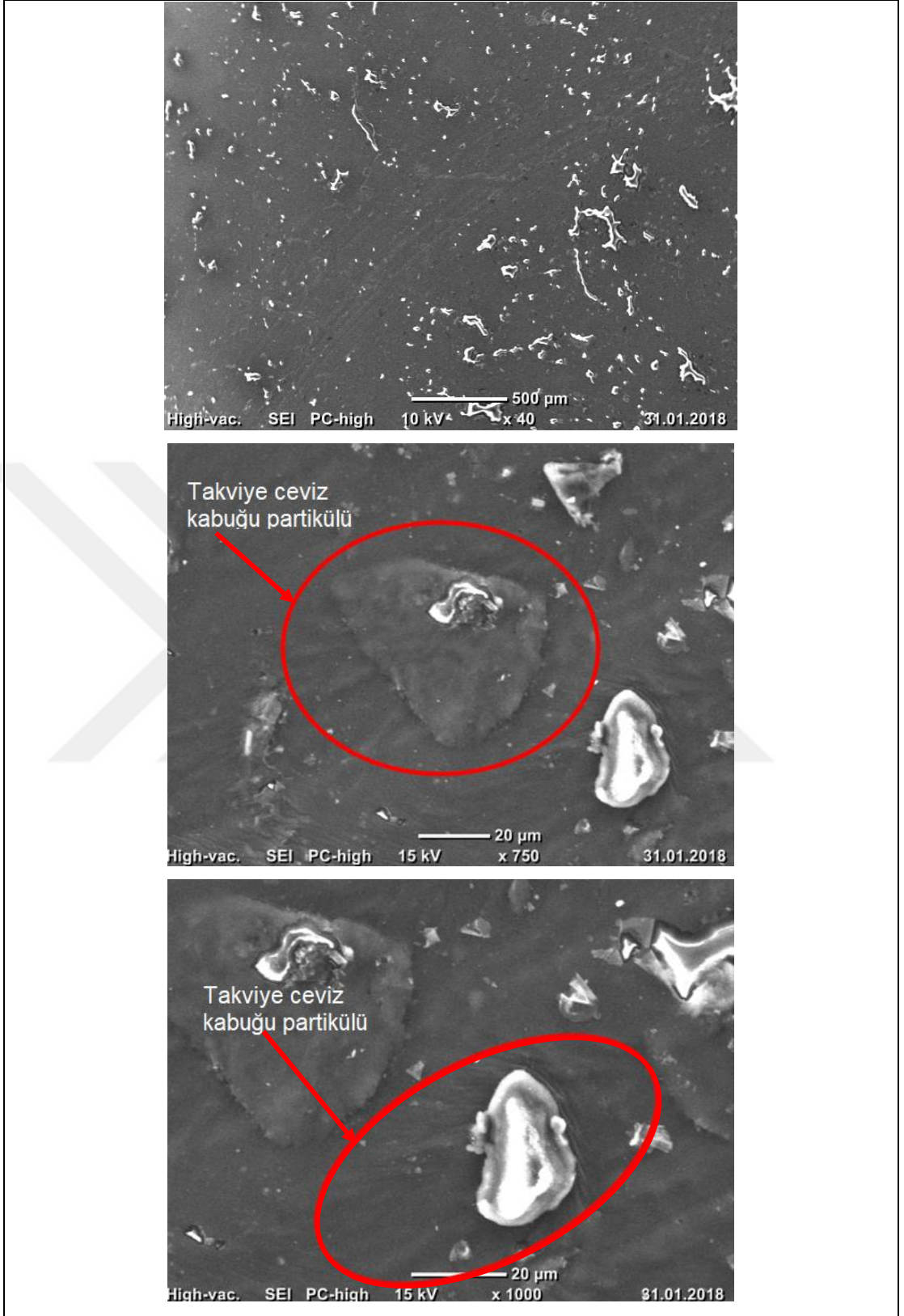


Şekil 3.97. Bilya-disk testi süresince anlık sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 3.98. Ortalama sürtünme katsayısı değerleri

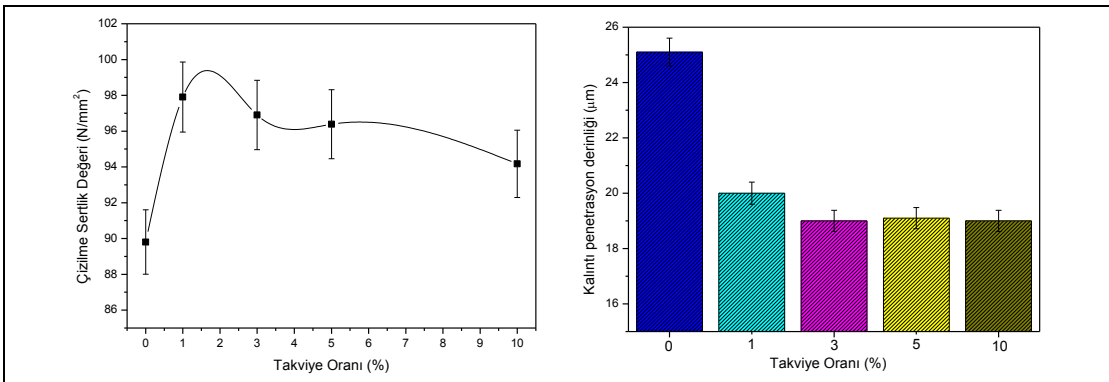
Şekil 3.99'da %10 ceviz kabuğu takviyeli PP kompozitlerin adhezif aşınmaya uğrayan yüzeylerine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Şekil 3.99 incelendiğinde, aşınma izinin yüzeysel kaldığı ve çok derin olmadığı görülmektedir. Devamında ise daha yakından yapılan incelemelerde, matrisle iyi tutunma sağlayan takviye tanelerine ait fotoğraflar dikkat çekmektedir. Takviye tanelerine ait olan bu bu fotoğraflar, hem sürtünme katsayısının düşüklüğünü hem de aşınma direncinin artışıını açıklamaktadır.



Şekil 3.99. %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş PP kompozitlere ait adhezif aşınmaya maruz yüzeyine ait SEM fotoğrafları

3.12.2. Çizilme testi sonuçları

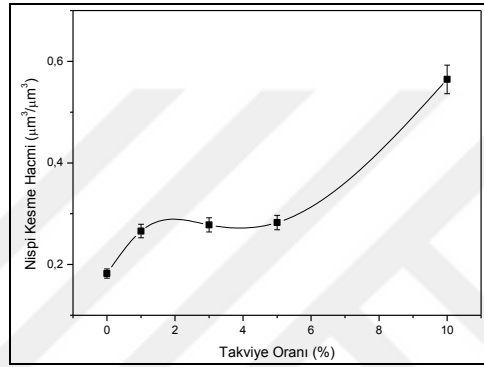
Öğütülmüş ceviz kabuğu takviyeli PP kompozit numunelerinin yüzey çizilme dirençlerinin tespiti için gerçekleştirilen çizilme testi sonuçları Şekil 3.100'da verilmiştir. Şekil 3.100-a incelendiğinde, çizilme sertliği sonuçları görülmektedir. Grafik incelendiğinde, %1 ceviz kabuğu takviyesi ile birlikte çizilme sertliği değeri saf PP'ye kıyasla %9 artmış, ancak artan takviye ile birlikte bu değer negatif yönde eğim gösterdiği gözlemlenmiştir. Grafiğin bütünü incelendiğinde ise bütün kompozit numunelerin saf PP'den daha yüksek çizilme sertliği değerine sahip olduğu görülmektedir. Sonuçların değerlendirilmesi yapılırken ceviz kabuğunun PP'ye göre rijit olması sebebi ile çizici ucun numune içerisine nüfuz etmesinin zorlaştığı, yani başka bir ifade ile numunenin artan modül değeri ile birlikte batıcı ucun numune içerisine batmasının da zorlaştığı söylenebilir. Ancak kazıma şeklinde ilerleyen çizici ucun numune üzerinde ilerlerken yerinden çıkarttığı tanelerin ayrı bir abrasif aşındırıcı gibi davranması sebebi ile artan takviye ile çizilme sertliği değeri düşük oranlarda takviye edilen kompozitlere nazaran daha düşük çizilme sertliği değeri verdiği görülmektedir. Keza gerek çekme test sonuçlarında gerekse adhezif aşınma sonuçlarında görüldüğü üzere kompozit numuneler çizilme testi sonuçlarında saf PP'den daha iyi sonuçlar vermektedir [79,81]. Şekil 3.100-b incelendiğinde ise tüm kompozit numunelerin kalıcı nüfuziyet derinliğinin saf PP'den daha sığ kaldığı ve bu değer %10 ceviz kabuğu takviye edildiğinde %33 azaldığı gözlemlenmiştir. Bu da aynı adhezif aşınma testinde olduğu gibi rijit takviyenin çizici ucun numune içine penetrasyonuna karşı direnç oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 3.100. Çizilme testi sonucu; a) Çizilme sertlik değeri, b) Kalıntı penetrasyon derinliği

Şekil 3.101'de ise geleneksel çizilme testi sonuçlarının üzerine gerçekleştirilmiş olan bağıl kesme hacmi sonuçları verilmiştir. Bu inceleme ile meydana gelen çizilme hasarının ne şekilde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Başka bir ifade ile meydana gelen aşınma mekanizmasının ne oranda malzeme kazıması ne oranda ise plastik

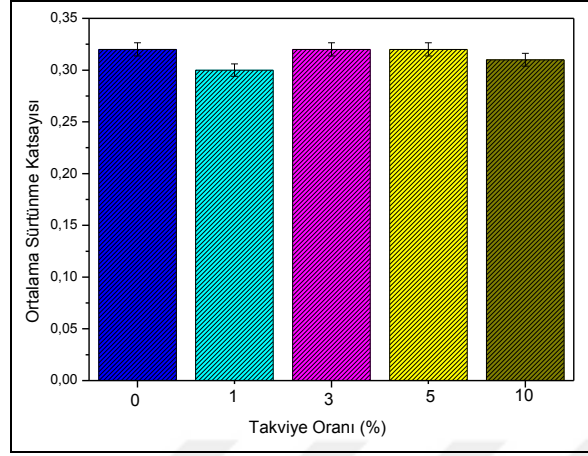
deformasyon sonucu meydana gelmiş olduğunun cevabı bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde görülmüştür ki; saf polimerde baskın olan hasar mekanizması plastik deformasyon şeklinde iken %10 ceviz kabuğu takviyeli kompozitte 0,6'ya yaklaşmaktadır. Bu da baskın olan plastik deformasyon şeklinde ki hasar mekanizmasının kazıma şeklinde gerçekleşen hasar mekanizmasına dönüştüğünü göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında, takviye ile birlikte numunenin sünek karakterini belli bir seviyeye kadar koruyabildiği, ancak %10 takviye ile birlikte numunelerin gevrekleşerek plastik deformasyon yeteneğinin düşüş sergilediği görülmektedir [82,121].



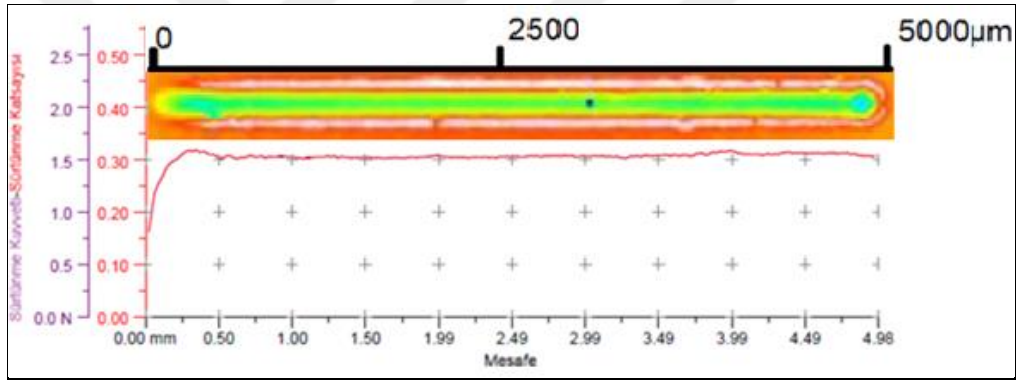
Şekil 3.101. Bağlı Kesme Hacim oranı

Şekil 3.102'de ise numunelere ait ortalama sürtünme katsayı değerleri verilmiştir. Sürtünme katsayısının %1 oranında ceviz kabuğu takviyesi ile biraz da olsa düştüğü, ancak daha yüksek yükleme oranlarında yeniden saf PP ile yakın sürtünme katsayısı değerlerine ulaştığı görülmektedir. Meydana gelen bu artışın sonucunu açıklamak için Şekil 3.103 ve 3.104'te yer alan %1 ve %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş PP kompozite ait optik profilometre fotoğrafları ile deney süresince ölçülen sürtünme kuvveti grafikleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda açık bir şekilde görülmüştür ki; Şekil 3.103'te yer alan %1 ceviz kabuğu takviyeli kompozit numuneye ait çizilme izi saf PP'ye benzer şekilde düzgün ve sabit olarak ilerlemektedir. Benzer şekilde %1 ceviz kabuğu takviyeli kompozite ait sürtünme kuvveti eğrisi de büyük değişimler göstermeyip sabit bir şekilde ilerlemektedir. Şekil 3.104'te %10 ceviz kabuğu takviye edilen numuneye ait profilometre görüntüsünde ise yerinden çıkan partiküllere ait boşluk ve oyuklar açık bir şekilde görülmektedir. Bu görüntüler ışığında, çizilme testi süresince takviye partiküllerinin yerinden çıktığı ve ayrı bir aşındırıcı gibi davranarak yüzeyi kazıdığı tespit edilmiştir. Bu da hem yüzey kalitesini kötüleştirmekte hem de derin kazıma izleri ve yüzeyde oyuklar meydana getirmektedir. Çizilme işlemi süresince oluşan sürtünme kuvveti ile çizilme

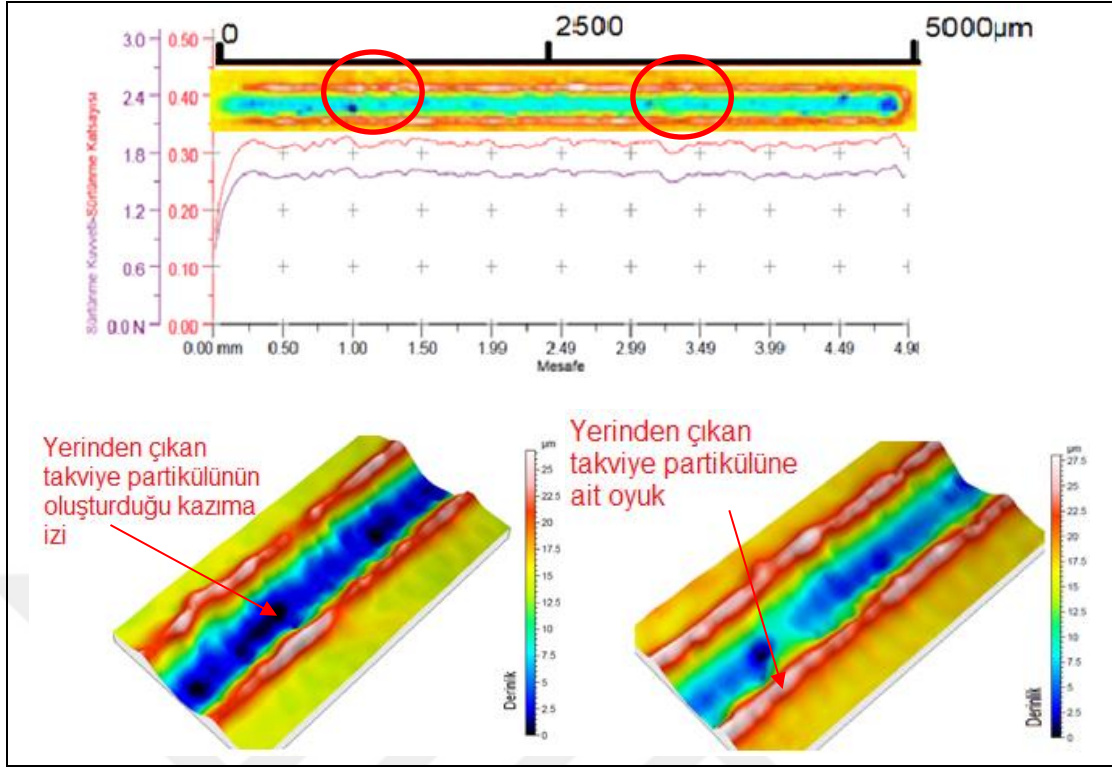
izi üst üste yerleştirildiğinde, tanelerin yerinden çıktığı bölgelerde sürtünme kuvvetinin de anlık yükselen değerler verdiği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.102. Ortalama sürtünme katsayısı



Şekil 3.103. %1 ceviz kabuğu takviye edilmiş PP kompozite ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti eğrisi değişimi



Şekil 3.104. %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş PP kompozite ait çizilme izi optik profilometre görüntüsü ve test süresince sürtünme kuvveti eğrisi değişimi

3.12.3. Eroziyon aşınma testi sonuçları

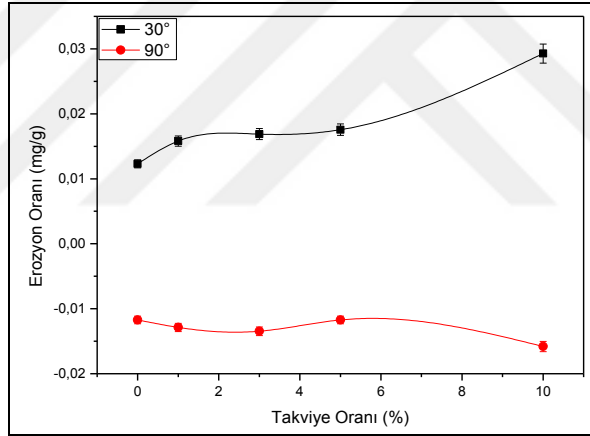
Ceviz kabuğu takviyeli PP kompozitlerin eroziyon aşınma davranışını incelemek üzere 3 bar püskürtme basıncı ile 80 mesh boyutlu alümina partikülleri 30 ve 90° açılardan numunelerin üzerine püskürtülmüştür.

Gerçekleştirilen eroziyon aşınma testi sonucunda formül (4)'e göre hesaplanan erozyon oranı grafiği Şekil 3.105'te görülmektedir. Şekil 3.105'te verilmiş olan erozyon oranı sonuçları incelediği takdirde 30° partikül çarpma açısında gerçekleşen deneylerde ceviz kabuğu takviyesinin erozyon direncine olumlu bir etkisi olmadığı, aksine artan takviye ile birlikte erozyon oranı değerinin %200 kadar artış sergilediği görülmüştür. 90° partikül çarpma açısında gerçekleşen deney sonuçlarında ise negatif yönde erozyon oranı sonuçlarının varlığı bir kez daha gözlemlenmiştir. Başka bir ifade ile aşındırıcı partiküllerin hedef numuneye çarpması sonucunda numunelerde başlangıç kütlesine kıyasla kütle artışı tespit edilmiştir. Bununla birlikte grafiğin bütünü incelendiğinde ise bütün takviye oranları için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinin 90° partikül çarpma açısında meydana gelen erozyon oranı değerlerinden daha yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu sonuçlar numunelerimizin beklenildiği gibi yarı sünek aşınma

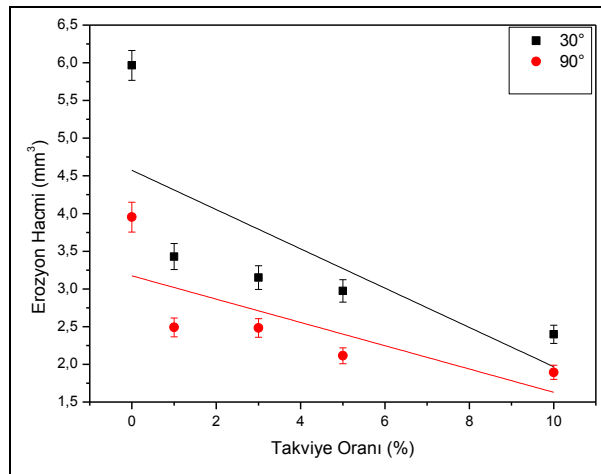
davranışı sergilediği fikrini destekler nitelikte olup aynı zamanda da yöntemin yetersiz kaldığını ve erozyon aşınması tespitinde başka bir metoda daha gereksinim olduğunu göstermiştir. Daha önceki bölümlerde belirttiğimiz yetersizliklerden dolayı aşınmaya tabi tutulan malzeme yüzeyleri optik profilometre ile taranarak yüzeyde meydana gelen hasar hacimleri tespit edilmiştir. Devamında (5) numaralı formül kullanılarak yüzeyde meydana gelen hasara ait plastik deformasyon miktarları hesaplanmıştır. Şekil 3.106'da optik profilometre ile hesaplanmış olan toplam hasar hacimleri görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde, 30° partikül çarpma açısında erozyon oranı sonuçlarının aksine erozyona uğrayan hacim değerlerinin artan takviye ile birlikte düşüş sergilediği, yani ceviz kabuğu takviyesinin 30° partikül çarpma açısında PP'nin erozif aşınma direncini olumsuz değil aksine olumlu yönde etkilediği sonucu ortaya çıkmıştır. Hesaplanan erozif aşınma hacmi değerleri %10 ceviz kabuğu takviye edilen kompozit numunelerde saf PP'te kıyasla yaklaşık %55 azalmıştır. 90° çarpma açısında gerçekleşen deneylerin sonuçlarına bakıldığında, takviye oranı arttıkça erozyon direncinin artış sergilediği ve erozif aşınma hacmi yaklaşık %60 kadar azalmıştır. Deney sonuçlarının bütünü incelendiğinde ise tüm takviye oranları için 30° partikül çarpma açısında meydana gelen hasar miktarının 90° partikül çarpma açısında meydana gelen hasar miktarından fazla olduğu görülmüştür. Yine optik profilometrede 90° çarpma açısından elde edilen sonuçlarda malzemenin hasara uğradığını açık bir biçimde göz önüne sererek kütleli ölçüme dayalı erozyon oranı metodunun yetersiz kaldığını ortaya koymuştur.

Erozyon hacimlerini hesaplayıp erozyon oranı metodunda göremediğimiz sonuçları elde edince çalışmayı bir aşama daha ileriye götürerek meydana gelen hasar mekanizmasında yer alan plastik deformasyon oranı üzerine çalışılmıştır. Plastik deformasyon oranı sonuçları da Şekil 3.107'de görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde açık bir şekilde görmekteyiz ki; her bir takviye oranı için 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon oranı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından fazladır. Hatta saf PP'nin değerlerine bakıldığında, 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarı 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarının 5 kat kadar fazlasıdır. Bu oran %10 ceviz kabuğu takviyesine çıktığında 8 kat fazla olmasına kadar varmaktadır. Hem 30° hem de 90° partikül çarpma açılarındaki gerçekleşen deneylerde meydana gelen plastik deformasyon miktarları artan takviye ile birlikte beklenilenin aksine artış sergilemiştir. Ancak bu durum fındık kabuğu ve fıstık kabuğu takviye edilen PP

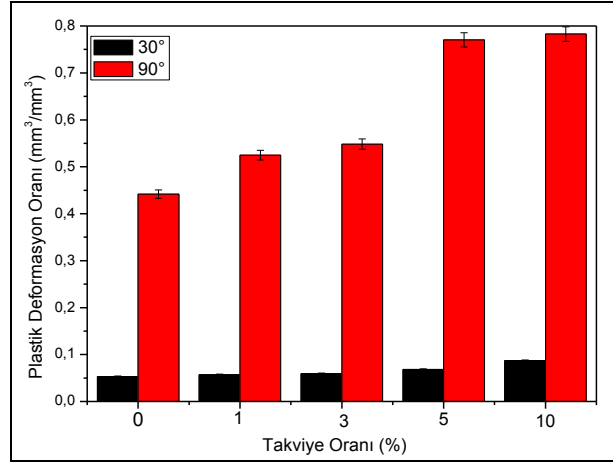
kompozitlere ait olan bölümlerde açıklandığı gibi, uygulanan püskürtme basıncının PP malzemeye fazla gelerek plastik deformasyonun ötesinde malzeme yüzeyinde parçalama yönünde hasar meydana getirmesi ile açıklanabilir. Takviyeli kompozitlerde ise elastisite modül ve dayanımının da artışı ile saf PP'ye kıyasla daha düşük hasar mekanizması meydana geldiği için meydana gelen hasar plastik deformasyon boyutunda kalmış ve artan takviye ile birlikte plastik deformasyon miktarı artış sergilemiş gibi bir sonuç ortaya çıkmıştır. Takviye oranının aşınma yüzeylerinin pürüzlülüğü üzerine bir etkisi olup olmadığını gözlemlemek adına aşınmış yüzeylerden alınan ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 3.108'de verilmiş olup ortalama pürüzlülük değerinin takviye oranlarından bağımsız olduğu gözlemlenmiştir. Aşındırıcı partikül püskürtme açısının etkisine bakıldığında ise 90° partikül çarpma açısı ile aşındırılan yüzeylerin pürüzlülüğü 30° partikül çarpma açısında aşındırılan numune yüzeylerinden daha yüksek pürüzlülük değerine sahip olduğu görülmüştür.



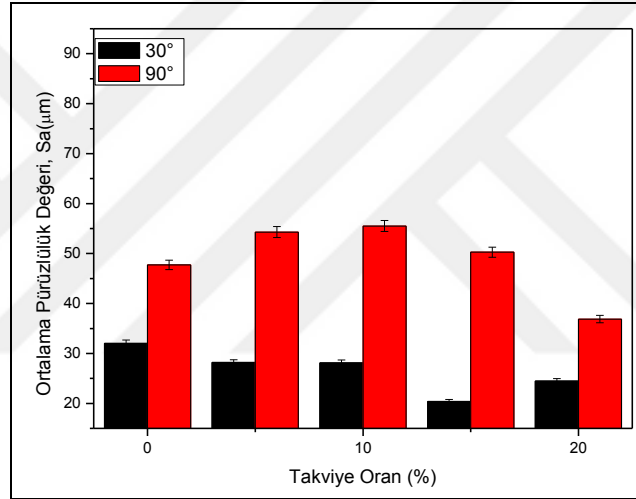
Şekil 3.105. Erozyon oranı sonuçları



Şekil 3.106. Erozyon hacmi değerleri



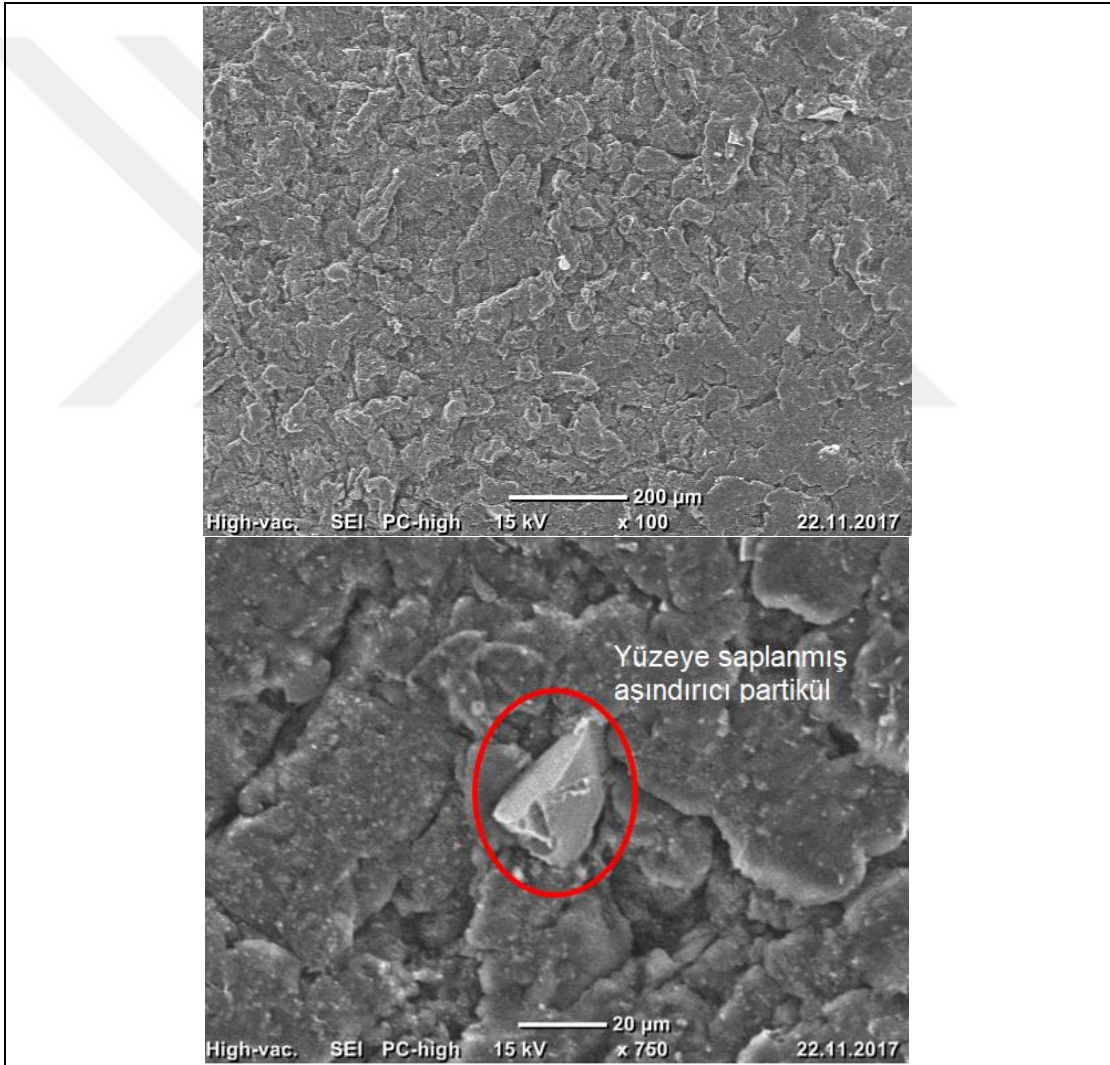
Şekil 3.107. Erozif aşınma sonucu plastik deformasyon sonuçları



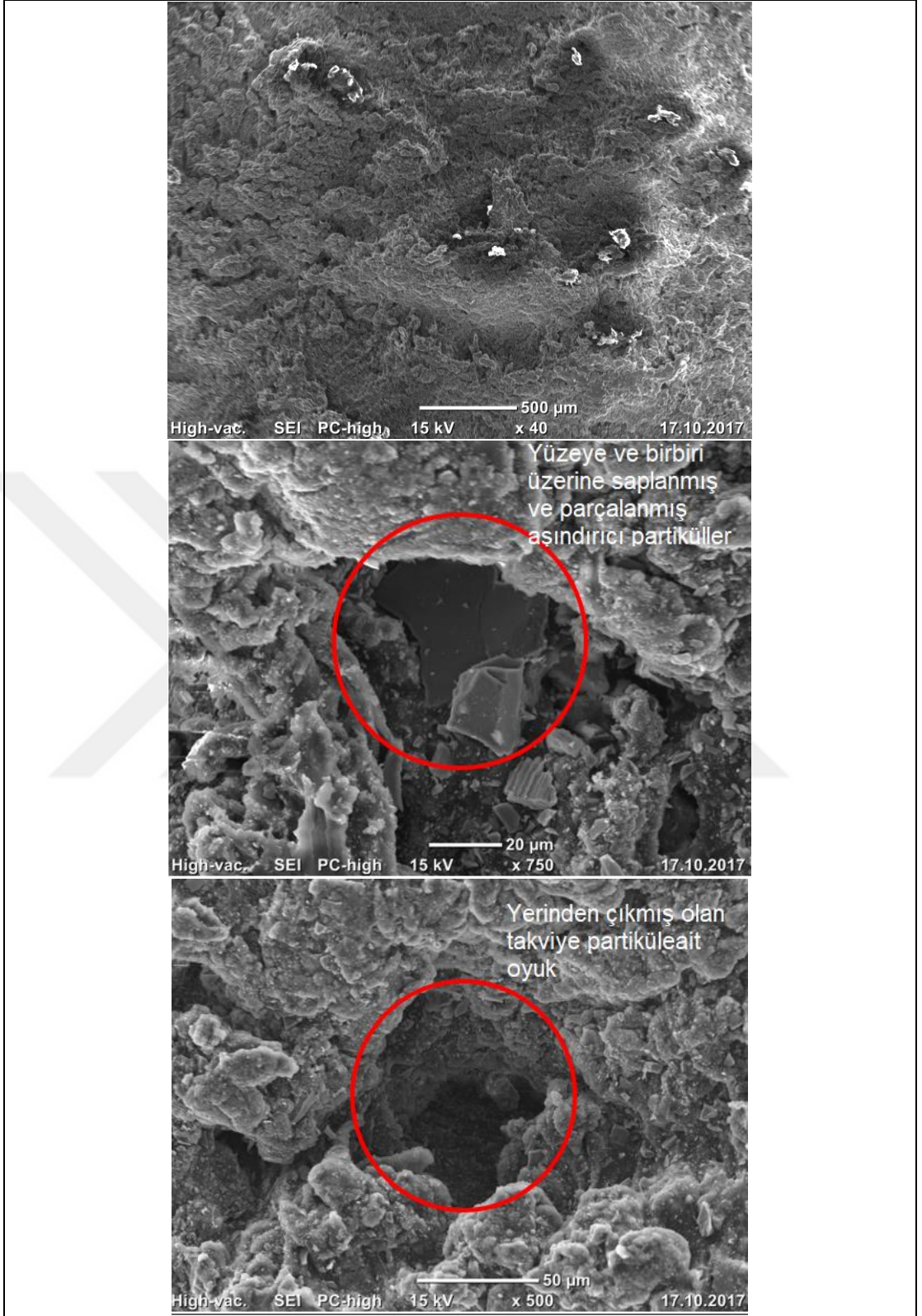
Şekil 3.108. Erozif aşınmaya maruz yüzeye ait ortalama pürüzlülük değerleri

Erozif aşınmaya maruz kalan numunelerin yüzeylerinde meydana gelen deformasyon mekanizmalarının daha detaylı incelenmesi amacı ile %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş numunelerin 30° ve 90° partikül çarpma açısı ile aşındırılan yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 3.109 ve 3.110'de verilmiştir. Öncelikle Şekil 3.109 incelendiği zaman, %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş PP kompozit numunenin 90° partikül çarpma açısı ile aşındırılan yüzeyi görülmektedir. Yüzeye ait fotoğraflara bakıldığında, dik açı ile gelen aşındırıcı tanelerin yüzeyde dövme şeklinde deformasyon meydana getirdiği, hatta yüzeyde ufalanmalara sebebiyet verdiği görülmektedir. Yine aşınmış yüzeyler incelendiğinde, yüzeylerde meydana gelen mikron boyutlu çatlaklar dikkat çekerken aşındırıcı partiküle ait yüzeye saplanma fotoğrafı da dikkat çekmektedir. Şekil 3.110'de %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş numuneye ait 30° partikül çarpma açısında hasar gören yüzeyler görülmektedir. Bu

yüzeylere ait fotoğraflar incelendiği takdirde aşındırıcı tanelerin oluşturmuş olduğu pulluk izleri ile birlikte yüzeye saplanmış aşındırıcı taneler ve aşındırıcı tanelerin yerinden söküp attığı takviye tanelerine ait oyuklar görülmektedir. Hatta yüzeye çarparak parçalanan ve birbiri üzerine saplanmış aşındırıcı partiküller göze çarpmaktadır. SEM incelemeleri, optik profilometre yardımı ile ortaya koyulan 90° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon değerinin 30° partikül çarpma açısında meydana gelen plastik deformasyon miktarından yüksek çıkmasını destekler niteliktedir. Çünkü, düşük çarpma açısında aşındırıcı partiküller yüzeyden gerek süpürme şeklinde gerekse kazıma şeklinde malzeme kaldırıp götürürken dik ve dike yakın açılarda ise yüzeyde dövme şeklinde hasar meydana getirmektedir.



Şekil 3.109. %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş numunelerin 90° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları



Şekil 3.110: %10 ceviz kabuğu takviye edilmiş numunelerin 30° çarpma açısında aşındırılmış yüzeylere ait SEM fotoğrafları

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma dahilinde ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemi ile midye kabuğu, patlatılmış perlit ve olivin takviyeli PPS kompozitler ile fındık, fıstık ve ceviz kabuğu takviyeli PP kompozitler üretilmiş olup yapılan takviyelerin polimerlerin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerinde ne şekilde etki yaptığı irdelenmiştir.

Çalışmanın başlangıcında hem ekolojik hem de ekonomikliği bir arada barındıran kompozit numuneler üreterek üretilen kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Devamında yapılan literatür çalışmaları ile birlikte çalışma desteklenerek farklı inorganik ve organik takviyelerin kullanılmış olduğu kompozit numuneler üretilerek mekanik ve tribolojik özellikleri detaylı bir şekilde tarmıştır. yapılan çalışmalar sonucunda;

- Midye kabuğu takviyesi PPS polimerinin çekme dayanımını %1 takviye oranında olumlu yönde etkilemiş devamında artan takviye ile birlikte çekme dayanımı düşüş eğilimine girmiştir. Bu düşüşün kabuk üzerinde kalan organik kalıntılar sebebi ile olduğu öngörülmektedir. Ancak çalışmanın temel amacı içerisinde son ürün maliyeti düşürmek olduğu için midye kabukları takviye edilmeden önce maliyet artırıcı ayrı bir temizlik işlemine tabi tutulmamıştır. Bununla birlikte rijit yapısı sayesinde elastisite modülünü artırıcı yönde etkilemiş ve buna paralel bir şekilde kopma uzaması artan takviye oranı ile birlikte düşüş sergilemiştir. Midye kabuğu takviyesi PPS'in sertlik değerini artırıcı yönde etki göstermiştir.
- Midye kabuğu takviyesinin PPS polimerinin adhezif aşınma direncini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Bütün kompozit numunelerin saf PPS'den daha yüksek aşınma direnci sergilediği ancak %1'in üzerinde takviye yapıldığında aşınma direncinde bir düşme eğilimi gözlenmektedir. Söz konusu olan bu düşüşün sebebi olarak aşındırıcının yerinden çıkarttığı tanelerin birer abrazif aşındırıcı gibi davrandıkları sonucu elde edilmiştir.
- Midye kabuğu takviyesinin PPS'in çizilme davranışına etkisi incelendiğinde, rijit yapılı midye kabuğu partikülleri PPS'in çizilme sertliği değerini artırmış yani çizilme direncini olumlu yönde etkilemiştir. Yine çizilme testi sonucu elde edilen verilerde midye kabuğu takviyesi oranı arttıkça numunelerde kazıma şeklinde

- aşınma mekanizması ağır basmaktadır. Numuneler gevrek bir yapıya dönüşmektedirler.
- Midye kabuğu takviyesinin erozif aşınma karakteri üzerine etkisi incelenir, literatürde mevcut bulunan ve tamamen aşınan numunenin kütle kaybını esas alan erozyon oranı metodunun yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Alternatif olarak optik profilometre kullanılarak aşınan yüzeyde meydana gelen aşınma izinin hacmi ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda midye kabuğu takviyesi 30° partikül çarpma açısında PPS'in erozif aşınma direncini artırırken 90° partikül çarpma açısında olumsuz yönde etkilemiştir. Çalışmanın devamında plastik deformasyon hesabı yapılmıştır. Tüm kompozit numuneler ve saf PPS için plastik deformasyon miktarı 90° partikül çarpma açısında 30° partikül çarpma açısından daha yüksek çıkmıştır. Artan takviye miktarı ile birlikte plastik deformasyon miktarı düşüş göstermiştir.
- Patlatılmış perlit takviyesi PPS polimerinin çekme dayanımını olumlu yönde etkileyerek çekme dayanımını artırıcı yönde sonuç vermiştir. Bununla birlikte rijit yapısı sayesinde elastisite modülünü artırıcı yönde etkilemiş ve buna paralel bir şekilde kopma uzaması artan takviye oranı ile birlikte düşüş sergilemiştir. Patlatılmış perlit takviyesi PPS'in sertlik değeri üzerine artırıcı yönde etkiye bulunmuştur.
- Patlatılmış perlit takviyesinin PPS polimerinin adhezif aşınma direncini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Artan takviye miktarı ile adhezif aşınma direnci artış göstermiştir.
- Patlatılmış perlit takviyesinin PPS'in çizilme davranışına etkisi incelendiğinde, rijit yapılı perlit partikülleri PPS'in çizilme sertliği değerini artırmış yani çizilme direncini oluml yönde etkilemiştir. Yine çizilme testi sonucu elde edilen verilerde perlit takviyesi oranı arttıkça numunelerde kazıma şeklinde aşınma mekanizması ağır basmaktadır. Numunelerin gevrek bir yapıya dönüştüğü görülmektedir.
- Patlatılmış perlit takviyesinin erozif aşınma karakteri üzerine etkisi incelendiğinde, Aşınan numunenin kütle kaybını esas alan erozyon oranı metodunun yetersiz olması sebebi ile alternatif olarak optik profilometre kullanılarak aşınan yüzeyde meydana gelen aşınma izinin hacmi ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda patlatılmış takviyesi 30° partikül çarpma açısında PPS'in erozif aşınma direncini düşürürken 90° partikül çarpma açısında kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Çalışmanın devamında plastik deformasyon hesabı yapılmıştır. Tüm kompozit numuneler ve saf PPS

için plastik deformasyon miktarı 90° partikül çarpma açısında 30° partikül çarpma açısından daha yüksek çıkmıştır. Artan takviye miktarı ile birlikte plastik deformasyon miktarı düşüş göstermiştir.

- Olivin takviyesi PPS polimerinin çekme dayanımını olumlu yönde etkilenmiştir. %5 takviye oranına kadar olivin takviyesi ile artan çekme dayanımı %10 takviye oranı ile birlikte düşüş eğilimine girmiştir. Bununla birlikte rijit yapısı sayesinde elastisite modülünü artırıcı yönde etkilemiş ve buna paralel bir şekilde kopma uzaması artan takviye oranına paralel bir şekilde düşüş sergilemiştir. Olivin takviyesi PPS'in sertlik değeri üzerine kayda değer bir etki göstermemiştir.
- Olivin takviyesi PPS'in polimerinin adhezif aşınma direncini olumlu yönde etkilemiştir. %3 takviye oranına kadar artan takviye ile birlikte aşınma direncinin arttığı devamında ise takviye miktarının artışı ile aşınma direncinin düşüşe geçtiği tespit edilmiştir.
- Olivin takviyesinin erozif aşınma karakteri üzerine etkisi incelendiğinde, optik profilometre kullanılarak aşınan yüzeyde meydana gelen aşınma izinin hacmi ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda olivin takviyesi 30° partikül çarpma açısında PPS'in erozif aşınma direncini artırırken 90° partikül çarpma açısında olumsuz yönde etkilemiştir. Çalışmanın devamında plastik deformasyon hesabı yapılmıştır. Tüm kompozit numuneler ve saf PPS için plastik deformasyon miktarı 90° partikül çarpma açısında 30° partikül çarpma açısından daha yüksek çıkmıştır. Artan takviye miktarı ile birlikte plastik deformasyon miktarı düşüş göstermiştir.
- Fındık kabuğu takviyesi PP polimerinin çekme dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Ancak %1 takviye oranından sonra dayanım değeri düşüş yönünde trend sergilemektedir. Elastisite modülü beklenildiği gibi artmıştır. Kopma uzaması ise artan takviye ile birlikte giderek azalmıştır. Fındık kabuğu takviyesi PP'nin sertlik değeri kısmi olarak artırsa da kayda değer bir etkide bulunmamıştır.
- Fındık kabuğu takviyesi PP'nin adhezif aşınma direncini artırmıştır. Takviye miktarının %5'in üzerine çıkması ile birlikte adhezif aşınma direnci düşme eğilimine girmiştir.
- Fındık kabuğu takviyesinin PPS'in çizilme davranışına etkisi incelendiğinde, yerinden çıkan fındık kabuğu taneleri extra abrazif aşındırıcı gibi davranmışlardır. Bunun neticesinde fındık kabuğu takviyesi ile birlikte çizilme sertliği değeri düşüş göstermiştir. Bununla birlikte bağıl kesme hacmi hesabı incelendiğinde çizilme testi sonucu fındık kabuğu takviyeli kompozitlerde

kazıma şeklinde aşınma mekanizması baskın gelmektedir. Numuneler gevrek bir yapıya dönüşmektedirler.

- Fındık kabuğu takviyesinin PP polimerinin erozif aşınma karakteri üzerine etkisi incelendiğinde, Optik profilometre kullanılarak aşınan yüzeyde meydana gelen aşınma izinin hacmi ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda fındık kabuğu takviyesi 30° partikül çarpma açısında PP'nin erozif aşınma direncini düşürürken, 90° partikül çarpma açısında olumlu yönde etkilemiştir. Çalışmanın devamında plastik deformasyon hesabı yapılmıştır. Tüm kompozit numuneler ve saf PP için plastik deformasyon miktarı 90° partikül çarpma açısında 30° partikül çarpma açısından daha yüksek çıkmıştır. Ancak beklenilenin aksine artan takviye miktarı ile birlikte plastik deformasyon miktarı artış göstermiştir.
- Fıstık kabuğu takviyesi PP polimerinin çekme dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Artan takviye ile birlikte çekme dayanımı değeride artmıştır. Elastisite modülü beklenildiği gibi artmıştır. Kopma uzaması ise artan takviye ile birlikte giderek azalmıştır. Fıstık kabuğu takviyesi PP'nin sertlik değeri üzerine kayda değer bir etkide bulunmamıştır.
- Fıstık kabuğu takviyesi PP'nin adhezif aşınma direncini artırmıştır. Artan takviye ile birlikte bu dirençli yapısını korumuştur.
- Fıstık kabuğu takviyesinin PPS'in çizilme davranışına etkisi incelendiğinde, fıstık kabuğu takviyesi PP'nin çizilme direncini olumlu yönde geliştirmiştir. %3 takviye oranına kadar artan takviye ile birlikte çizilme sertliği değeri artış göstermiş olup, devamında takviye miktarının artışı ile birlikte düşüş trendine geçmiştir. Ancak bütün kompozit numunelerin çizilme sertliği değeri saf PP'den daha yüksektir. Bununla birlikte bağıl kesme hacmi hesabı incelendiğinde çizilme testi sonucu fıstık kabuğu takviyeli kompozitlerde kazıma şeklinde aşınma mekanizması baskın gelmektedir. Numuneler gevrek bir yapıya dönüşmektedir.
- Fıstık kabuğu takviyesinin PP polimerinin erozif aşınma karakteri üzerine etkisi incelendiğinde, Optik profilometre kullanılarak aşınan yüzeyde meydana gelen aşınma izinin hacmi ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda fıstık kabuğu takviyesi hem 30° partikül çarpma açısında hemde 90° partikül çarpma açısında PP'nin erozif aşınma direncini olumlu yönde etkileyerek erozyon hacmini düşürmüştür. Çalışmanın devamında plastik deformasyon hesabı yapılmıştır. Tüm kompozit numuneler ve saf PP için plastik deformasyon miktarı 90° partikül çarpma açısında 30° partikül çarpma açısından daha yüksek

çıkmiştir. Ancak beklenilenin aksine artan takviye miktarı ile birlikte plastik deformasyon miktarı artış göstermiştir.

- Ceviz kabuğu takviyesi PP polimerinin çekme dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Takviye oranının bariz bir etkisi gözlenmemiştir. Tüm kompozit numuneler saf PP'den daha yüksek çekme dayanımına sahiptirler. Elastisite modülü beklenildiği gibi artmıştır. Kopma uzaması ise artan takviye ile birlikte giderek azalmıştır. Ceviz kabuğu takviyesi PP'nin sertlik değerini artırıcı yönde etki göstermiştir.
- Ceviz kabuğu takviyesi PP'nin adhezif aşınma direncini artırmış olup artan takviye miktarı ile birlikte adhezif aşınma direnci de artış sergilemiştir.
- Ceviz kabuğu takviyesinin PPS'in çizilme davranışına etkisi incelendiğinde, ceviz kabuğu takviyesi ile birlikte PP'nin çizilme sertliği değeri artış göstermiştir. Çizilme sertliği %1 takviye oranı ile birlikte ani bir yükseliş sergilemiştir. Artan takviye miktarı ile birlikte çizilme sertliği değeri düşüş eğilimine girmiştir. Ancak tüm kompozit numuneler saf PP'dan daha yüksek çizilme sertliği değerine sahiptir. Bununla birlikte bağıl kesme hacmi hesabı incelendiğinde çizilme testi sonucu ceviz kabuğu takviyeli kompozitlerde kazıma şeklinde aşınma mekanizması baskın gelmektedir. Numuneler gevrek bir yapıya dönüşmektedirler.
- Ceviz kabuğu takviyesinin PP polimerinin erozif aşınma karakteri üzerine etkisi incelendiğinde, Optik profilometre kullanılarak aşınan yüzeyde meydana gelen aşınma izinin hacmi ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda ceviz kabuğu takviyesi hem 30° partikül çarpma açısında hemde 90° partikül çarpma açısında PP'nin erozif aşınma direncini olumlu yönde etkilemiştir. Çalışmanın devamında plastik deformasyon hesabı yapılmıştır. Tüm kompozit numuneler ve saf PP için plastik deformasyon miktarı 90° partikül çarpma açısında 30° partikül çarpma açısından daha yüksek çıkmıştır. Ancak beklenilenin aksine artan takviye miktarı ile birlikte plastik deformasyon miktarı artış göstermiştir.

Çalışma kapsamında iki farklı polimer matris üzerine çalışma gerçekleştirdik. Bu polimerlerden PPS'i inorganik esaslı partikül takviye ederken, PP'yi organik esaslı partiküller ile takviye ettik. Çalışmanın genel sonuçlarını bu iki matris malzemeleri özelinde ikiye ayırarak özetleyecek olursak;

- PPS matrisli kompozitlere uygulanan çekme testi neticesinde; midye kabuğu takviyesi çekme dayanımını olumsuz yönde etkilerken, patlatılmış perlit ve olivin takviyesi ile birlikte çekme dayanımı değerinin artış gösterdiği açık bir şekilde

görülmüştür. Bu durumda çekme dayanımının ön planda olduğu uygulamalarda PPS polimeri patlatılmış perlit veya olivin partikülü ile takviye edilebilir ve bu sayede hem ekonomil hem de yüksek çekme dayanımına sahip son ürünler elde edilebilir. Bu noktada perlit mi yoksa olivin mi tercihi noktasına geldiğimizde brim maliyetleri hemen hemen aynı olan perlit ve olivin için; renk, tepkimeye girme gibi yan faktörler göz önüne alınarak hangisinin tercih edileceği belirlenebilir. Yine deneysel sonuçlar incelendiğinde perlit takviyesinin %20 takviye oranına kadar mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediği ancak olivin takviyesinin %5'in üzeri oranlarda olumsuz sonuç verdiği görülmektedir. Bu durumda göz önüne alındığında çekme dayanımı ön plana çıkan uygulamalar için patlatılmış perlit takviyesi en uygun takviye malzemesi olarak öne çıkmaktadır.

- PPS matrisli kompozitlere uygulanan bilya-disk testi neticesinde; Midye kabuğu takviyesinin adhezif aşınma direnci üzerine negatif etkisi olduğu artan takviye oranı ile birlikte adhezif aşınma direncinin daha da düştüğü görülürken, olivin ve patlatılmış perlit takviyesinin adhezif aşınma direnci üzerine olumlu etki ettiği gözlenmiştir. Olivin ile patlatılmış perlit takviyelerinin mukayesesi yapıldığında; olivin takviyesinin en yüksek adhezif aşınma direncini %3 takviye oranında verdiği ancak artan takviye ile birlikte aşınma direnci olumsuz yönde eğilim sergilemiştir. Patlatılmış perlit takviyeli kompozitlerin adhezif aşınma direnci incelendiğinde ise %20 takviye oranına kadar artan takviye oranı ile birlikte adhezif aşınma direncinde arttı, bu oranın üzerinde ise artan takviye oranı ile birlikte adhezif aşınma direncinin negatif yönde eğilim gösterdiği görülmüştür. Bu veriler göz önüne alındığı taktirde; renk çalışma ortamına uygunluk gibi faktörler uygunluk gösterdiği durumda adhezif aşınmanın ön planda olduğu uygulamalar için patlatılmış perlit takviyesi ön plana çıkmaktadır. Bu sayede yüksek oranda perlit takviyesi ile hem adhezif aşınma direnci yüksek hemde son ürün maliyeti düşük malzemeler üretilebilir.
- PPS matrisli kompozit numunelere uygulanan çizilme testi sonuçlarına göre midye kabuğu hem midye kabuğu takviyesi hem de patlatılmış perlit takviyesi ile birlikte PPS'nin çizilme direnci artış göstermiştir. Bununla birlikte midye kabuğu takviyesi ile çizilme sertliği %10 takviye oranında %20 kadar ortarken, perlit takviyesi ile birlikte %40 takviye oranında %75 kadar artmıştır. Bu veriler göz önüne alındığında son ürünün ekonomikliği düşünüldüğü zaman perlit takviyesinin daha öncelikli tercih olacağı görülmektedir.
- Erozyon aşınma test sonuçları değerlendirilirken, erozyon oranı sonuçlarının yetersizliği tespit edilerek erozyon hacmi hesabı yapılmıştır. Erozyon hacmi

sonuçları değerlendirildiğinde; 30° partikül çarpma açısında perlit takviyesi PPS'nin erozif aşınma direncini olumsuz etkilerken, midye kabuğu ve olivin takviyesi olumlu yönde etkilemiştir. Olumlu sonuç veren olivin ve midye kabuğu takviyelerinin kendi içerisinde mukayesesi yapıldığında midye kabuğunun erozyon hacmini %50 kadar düşürürken, olivin partikülünün %20 kadar düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında düşük çarpma açılarına maruz kalan uygulamalarda midye kabuğu tercih edilerek hem ekonomik ve ekolojik, hemde erozyon direnci yüksek malzemeler kullanılmış olur.

- PP matrisli kompozitlere uygulanan çekme testi neticesinde; fındık, fıstık ve ceviz kabuğu takviyesi ile birlikte çekme dayanımının olumlu yönde etkilendiği görülmüştür. her üç takviye partikülü ile birbirine yakın çekme dayanım sonuçları elde edilmiş ve ortalama saf PP'ye kıyasla çekme dayanımı %33 oranında iyileşmiştir. Ancak kopma uzaması da çok yüksek oranda düşerek malzemenin gevrekleştiği görülmüştür. Bu çerçevede PP polimerinin özellikle çekme dayanımının ön planda olduğu ve sünekliğin gözardı edilebileceği uygulamalarda fındık, fıstık ve ceviz kabuğu partikülleri ile takviye edilerek kullanılabileceği, bu sayede hem ekolojik hemde son ürün maliyeti düşük ürünler elde edilecektir.
- PP matrisli kompozitlere uygulanan bilya-disk testi neticesinde; fındık kabuğu partikülü takviyesi %3 oranında yapıldığında adhezif aşınma direncini %62 oranında arttırmış olup artan takviye oranı ile adhezif aşınma direnci düşmeye başlamıştır. Takviye oranı %10'a ulaştığında kompozit numunelerin aşınma direnci saf PP'den dahi düşüktür. Fıstık ve ceviz kabuğu takviyeleri ile birlikte artan takviye ile birlikte adhezif aşınma direncinin de arttığı görülmüştür. Fıstık kabuğu takviyesi ile birlikte PP polimerinin adhezif aşınma direnci %68 kadar artış gösterirken Ceviz kabuğu takviyesi ile birlikte %80 oranında artış göstermiştir. Adhezif aşınmaya maruz kalan uygulamalarda ceviz kabuğu takviyesi en doğru takviye türü olarak görülmektedir.
- PP matrisli kompozit numunelere uygulanan çizilme testi sonuçlarına göre üç takviye çeşidinde çizilme direnci üzerine olumlu yönde etki edebilmektedir. Ancak sonuçlar detaylı bir şekilde ele alındığında fındık kabuğu takviyesi ile birlikte en yüksek çizilme sertliği değeri %1 oranında takviye edildiğinde edilmiştir. Artan takviye ile çizilme direnci azalmaya başlamış ve %5 ve üzeri takviye oranlarında saf PP'den dahi düşük çizilme direnci sergilemiştir. Ceviz kabuğu takviyesi ise %1 takviye oranında %9 kadar çizilme direncini artırmış, artan takviye oranlarında çizilme direnci olumsuz yönde meyil almıştır. Bütün kompozit

numuneler saf PP'den daha iyi çizilme direnci sergilemiştir. Fıstık kabuğu takviyesi ise %3 takviye oranında çizilme direncini %27 kadar artırmış, devamında artan takviye oranı ile birlikte çizilme direnci düşüş eğilimi göstermiştir. Bu duruma rağmen %10 fıstık kabuğu takviye edilmiş kompozit numuneler saf PP'den %19 daha yüksek çizilme sertliği değeri vermiştir. Bu sonuçlar ışığında kullanılan malzememiz çizilme, kazıma gibi hasar mekanizmalarına maruz kalan uygulamalarda hem çizilme direncine yaptığı katkı hem de yüksek oranlarda beslendiğinde dahi iyi çizilme direnci sergileyerek düşük maliyetli son ürün eldesine imkan sağlaması sebebi ile fıstık kabuğu en ideal takviye olarak karşımıza çıkmaktadır.

- PP matrisli kompozitlerin erozyon hacmi sonuçları değerlendirildiğinde; 30° partikül çarpma açısında gerçekleşen deneylerde ceviz kabuğu takviyesinin %55, fıstık kabuğu takviyesinin ise %10 aşınma hacmini düşürdüğü ancak fındık kabuğu takviyesinin ise aşınma hacmini olumsuz etkileyerek %18 kadar artırdığı görülmüştür. 90° partikül çarpma açısında aşındırılan yüzeylere ait sonuçlar incelendiğinde ise üç takviye türünün de aşınma hacmini düşürdüğü görülmüştür. ceviz ve fıstık kabuğu takviyelerinin sırasıyla %60 ve %50 düşürdüğü fındık kabuğunun ise yaklaşık %100 düşürdüğü görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında eğerki malzememiz erozif aşınmaya maruz koşullarda çalışıyor ise düşük partikül açısına maruz kalan yüzeyler için ceviz kabuğu takviyesi ideal takviye çeşidi olurken, dik ve dike yakın partikül çarpma açısına maruz kalan yüzeyler için fındık kabuğu takviyesi doğru tercih olacaktır.
- Matris malzemesi olarak kullandığımız PPS ve PP polimerlerine genel olarak bakarsak, çekme sonuçlarında görmüş olduğumuz PP malzemesinin PPS malzemesinden daha sünek olması durumu kendini aşınma testlerinde de göstermiştir. Şöyle ki, bağıl kesme hacmi sonuçları incelendiğinde PP'nin PPS'e kıyasla 0'a daha yakın sonuç vererek meydana gelen hasardaki plastik deformasyon miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Eroziyon aşınma testlerinde ise partikül püskürtme basıncı PP malzemesinin taşıyabileceğinin çok üzerinde olmasına ve bu sebeple meydana gelen plastik deformasyon miktarı tam olarak ortaya çıkmasa da bu şartlar altında dahi 90° partikül çarpma açısında Saf PP malzemesinde meydana gelen plastik deformasyon oranı saf PPS'den daha yüksektir.

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

- Midye kabuğu takviyesi PPS'in çizilme direncini artırmıştır. PPS'in kazıma şeklinde hasar mekanizmasına maruz kalan uygulamalar midye kabuğu takviyesi değerlendirilebilir. Yine midye kabuğu takviyeli kompozit numuneler düşük açılarda erozif aşınmaya karşı saf PPS'ten daha yüksek direnç göstermiştir. Bunun neticesinde düşük açılarda erozif aşınmaya maruz kalan veya kazıma aşınmasına maruz kalan uygulamalarda takviye tercihi olarak midye kabuğu kullanılabilir. Bu sayede hem daha dayanıklı malzemeler üretilirken hem de atı midye kabukları endüstriyel anlamda değerlendirilmiş olur.
- Perlit takviyesi gerçekleştirilen PPS kompozit numunelere gerçekleştirilen mekanik ve tribolojik testler neticesinde, perlit takviyesi ile hem mekanik özellikler hem de tribolojik özellikler iyileşme göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında perlit takviyesi kullanılan dayanımı yüksek, maliyeti düşük son ürün elde edilebileceği görülmüştür.
- Olivin takviyeli PPS kompozitler, hedef malzemenin erozif aşınmaya maruz kaldığı uygulamalarda çarpma açısının düşük olduğu uygulamalarda erozif aşınma direncini arttırmak amacı ile kullanılabilir. Mekanik özellikleri ve adhezif aşınma özellikleri göz önüne alındığı zaman iki opsiyon karşımıza çıkmaktadır. Birinci opsiyon düşük oranlarda olivin takviyesi yaparak dayanımı yüksek kompozit numunler üretmektir. İkinci opsiyon ise daha yüksek oranlarda olivin takviyeli kompozitler üreterek, mekanik özellikler ve adhezif aşınma direncinden bir miktar taviz verilmiş ancak son ürün maliyeti düşük kompozit numunler üretmektir.
- Mekanik özelliklerin ve düşük partikül çarpma açılarında erozif aşınma direncini arttırmak amacı ile atık fındık kabukları PP polimerine takviye malzemesi olarak kullanılabilir.
- Fıstık kabuğu takviyesi ile birlikte PP polimerinin yalnızca erozif aşınma direnci düşüş sergilemiştir. Bunun neticesinde fıstık kabuğu takviyesinin hem mekanik özelliklerin iyileştirilmesi hem de adhezif aşınma ve çizilme direncinin artırılması yönünde takviye malzemesi olarak PP'ye katılabilir olduğu görülmüştür.
- Ceviz kabuğu takviyesi ile birlikte PP'nin hem mekanik hem de tribolojik özelliklerinin olumlu yönde iyileştiği gözlenmiştir. Bu durumda ceviz kabuğu PP polimerinin özelliklerinin iyileştirilmesi için ideal bir takviyedir. Bu sonuçlar ışığında fındık, fıstık ve ceviz yemişlerinin kabukları atık ya da yakacak olmak yerine endüstriyel uygulamalarda takviye malzemesi olarak da kullanılabilir olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Şahin A. E., Pomza Partikül Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Erozif Aşınma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 342542.
- [2] 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.
- [3] Sala G., Cutolo D., The pultrusion of powder-impregnated thermoplastic composites, *Composites Part A*, 1997, **28A**, 637-646.
- [4] Sayman O., Çallioğlu H., An elastic-plastic stress analysis of thermoplastic composite beams loaded by bending moments , *Composites Structures*, 2000, **50**, 199-205.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] <http://materialsworld.utep.edu/>, (Ziyaret tarihi: 03.05.2013).
- [8] 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.
- [9] Chen Z., Li T., Yang Y., Liu X., Lv R., Mechanical and tribological properties of PA/PPS blends, *Wear*, 2004, **257**, 696-707.
- [10] Hu T., Juuti J., Jantunen H., RF properties of BST–PPS composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 2007, **27**, 2923–2926.
- [11] McKeen 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.
- [12] Moyo L., Ray S. S., Sebati W., Ojijo V., The influence of filler surface modification on mechanical and material properties of layered double hydroxide-containing polypropylene composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, **134**, 4524-4528.

- [13] Kim D. Y., Kim G. H., Lee D. Y., Seo K. H. Effects of compatibility on foaming behavior of polypropylene/polyolefin elastomer blends prepared using a chemical blowing agent, *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, **134**, 4501-4511.
- [14] Lin Y., Liu Y., Zhang D., Wu G., Radiation resistance of polypropylene composites by incorporating reduced graphene oxide and antioxidant: A comparison study, *Composites Science and Technology*, 2017, **146**, 83-90.
- [15] Seo M. K., Park S. J., Electrical resistivity and rheological behaviors of carbon nanotubes-filled polypropylene composites, *Chemical Physics Letters*, 2004, **395**, 44-48.
- [16] http://www.pimtasplastik.com.tr/turkce/tbilgiler_devam2.asp?haber_id=214, (Ziyaret Tarihi: 29.07.2017).
- [17] <http://www.atasu.com.tr/wp-content/uploads/polipropilen-tanitim.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 29.07.2017).
- [18] Li H. Y., Tan Y. Q., Zhang L., Zhang Y. X., Song Y. H., Ye Y., Xia M. S., Bio-filler from waste shellfish shell: Preparation, characterization, and its effect on the mechanical properties on polypropylene composites *Journal of Hazardous Materials*, 2012, **217-218**, 256-262.
- [19] Yao Z., Ge L., Ji X., Tang J., Xia M., Xi Y., Surface properties studies of bivalve shell waste by the IGC technique: Probing its significant potential application in the polymer industry, *Journal of Alloys and Compounds*, 2015, **621**, 389-395.
- [20] Hamester M. R., Balzer P. S., Becker D., Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene, *Materials Research*, 2012, **15**(2) 204-208.
- [21] Lin Z. Guan X., Chen C., Cao L., Wang Y., Gao S., Xu B., Li W., Preparation, structures and properties of shell/polypropylene biocomposites, *Thermochimica Acta* 2013, **551**, 149-154.
- [22] Yao Z. T. Chen T., Li H. Y., Xia M. S., Ye Y., Zheng H., Mechanical and thermal properties of polypropylene (PP) composites filled with modified shell waste, *Journal of Hazardous Materials*, 2013, **262**, 212-217.
- [23] Haery H. A., Kisi E., Pineda J., Suwal L. P., Fiedler T., Elastic properties of green expanded perlite particle compacts, *Powder Technology*, 2017, **310**, 329-342.
- [24] Yıldırım F., Yıldırım B. A., Yıldız A., Terim K. A. K., Cengiz S., Özdemir S., Evaluation of perlite, wood shavings and corncobs for bedding material in rats, *Journal of the South African Veterinary Association*, 2017, **88**, 1492-1499.
- [25] Lukowski P., Polymer-Cement Composites Containing Waste Perlite Powder, *Materials*, 2016, **9**, 839-850.
- [26] Koizumi S., Hiraga T., Tachibana C., Tasaka M., Miyazaki T., Kobayashi T., Takamasa A., Ohashi N., Sano S., Synthesis of highly dense and fine-grained

aggregates of mantle composites by vacuum sintering of nano-sized mineral powders, *Physics and Chemistry of Minerals*, 2010, **37**(8), 505-518.

- [27] Dominko R., Bele M., Gaberscek M., Remskar M., Hanzel D., Goupil J. M., Pejovnik S., Jamrik J., Porous olivine composites synthesized by sol-gel technique, *Materials and Design*, 2013, **51**, 225–230.
- [28] Goldschmidt V. M. Olivine and Forsterite Refractories in Europe, *Industrial & Engineering Chemistry*, 1938, 30, 32-34
- [29] Furlani E., Annegi E., Leitenburg C., Trovarelli A., Maschio S., Sintering behaviour of olivine–ceria blends, *Ceramics International*, 2015, 41(5), 6293-6298.
- [30] <http://erkrommaden.com.tr/olivin.html>, (Ziyaret Tarihi: 29.07.2017).
- [31] Zahedi M., Pirayesh H., Khanjanzadeh H., Tabar M. M., Organo-modified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites, 2013, 51, 803-809.
- [32] Ayrılmış N., Kaymakçı A., Ozdemir F., Physical, mechanical, and thermal properties of polypropylene composites filled with walnut shell flour, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2013, 19, 908–914.
- [33] Girdis J., Gaudion L., Proust G., Löschke S., Dong A., Rethinking Timber: Investigation into the Use of Waste Macadamia Nut Shells for Additive Manufacturing, *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 2017, **69**(3), 575-579.
- [34] Dong C., Davies I. J., Flexural properties of macadamia nutshell particle reinforced polyester composites, *Composites: Part B*, 2012, **43**, 2751–2756.
- [35] Sutivisedsak N., Cheng H. N., Burks C. S., Johnson J. A., Siegel J. P., Civerolo E., L., Biswas A., Use of Nutshells as Fillers in Polymer Composites, *Journal of Polymers and the Environment*, 2012, **20**, 305-314.
- [36] Maldas D., Kokta B. V., Nizio J., Performance of Surface Modified Nutshell Flour in HDPE Composites, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 1992, **17**, 1-16.
- [37] Movva M., Kommineni R., Extraction of cellulose from pistachio shell and physical and mechanical characterisation of cellulose-based nanocomposites, *Materials Research Express*, 2017, **4**, 045014.
- [38] Karaağaç B., Use of Ground Pistachio Shell as Alternative Filler in Natural Rubber/Styrene–Butadiene Rubber-Based Rubber Compounds, *Polymer Composites*, 2014, **35**(2), 245-252.
- [39] http://www.saykar.net/aluminyum_oksit, (Ziyaret Tarihi: 29.07.2017).
- [40] Rothon N. R., *Particulate-Filled Polymer Composites*, 2nd ed., Smithers Rapra Press, UK, 2003.

- [41] Islam M., Rahman R., Haque M., Huque M., Physico-mechanical properties of chemically treated coir reinforced polypropylene composites, *Composites: Part A*, 2010, **41**, 192-198.
- [42] Thio Y. S., Argon A.S., Cohen R.E., Weinberg M., Physico-mechanical properties of chemically treated coir reinforced polypropylene composites, *Polymer*, 2002, **43**, 3661-3674.
- [43] Zuiderduin W. C. J., Westzaan C., Hue'tink J., Gaymans R.J., Toughening of polypropylene with calcium carbonate particles, *Polymer*, 2003, **44**, 261-275.
- [44] Kajohnchaiyagual J., Jubsilp C., Dueramae I., Rimdusit S., Thermal and Mechanical Properties Enhancement Obtained in Highly Filled Alumina-Polybenzoxazine Composites, *Polymer Composites*, 2014, **35**(11), 2269-2270.
- [45] Badakhsh A., Park C. W., From morphology of attrited copper/MWCNT hybrid fillers to thermal and mechanical characteristics of their respective polymer-matrix composites: An analytical and experimental study, *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, **134**(41), 43397-43411.
- [46] Botlhoko O. J., Ramontja J., Ray S. S., Thermal, mechanical, and rheological properties of graphite and graphene oxide-filled biodegradable polylactide/poly(E-caprolactone) blend composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, **134**(40), 45373-45387.
- [47] Ta'bi T., Suplicz A., Cziga'ny T., Kova'cs J. G., Thermal and mechanical analysis of injection moulded poly(lactic acid) filled with poly(ethylene glycol) and talc, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, **118**(3), 1419-1430.
- [48] Essabir H., Achaby¹ M. E., Hilali² E. M., Bouhfid¹ R., Qaiss A., Hamid Essabir^{1,2}, Mounir El Achaby¹, El Moukhtar Hilali², Rachid Bouhfid¹, AbouElkacem Qaiss, *Journal of Bionic Engineering*, 2015, **12**, 129-141.
- [49] Essabir H., Nekhlaoui S., Malha M., Bensalah M.O., Arrakhiz F.Z., Qaiss A., Bouhfid R., Bio-composites based on polypropylene reinforced with Almond Shells particles: Mechanical and thermal properties, *Materials and Design*, 2013, **51**, 225-230.
- [50] Tagliavia G., Porfiri M., Gupta N. Analysis of flexural properties of hollow-particle filled composites, *Composites: Part B*, 2010, **41**, 86-93.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] Dong C., Davies J. J., Flexural properties of macadamia nutshell particle reinforced polyester composites, *Composites: Part B*, 2012, **43**, 2751-2756.

- [54] Maldas D., Kokta B. V., Nizio J., Performance of Surface Modified Nutshell Flour in HDPE Composites, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 1992,**17**, 1-16.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] Li H. Y., Tan Y. Q., Zhang L., Zhang Y. X., Song Y.H., Ye Y., Xia M. S., Bio-filler from waste shellfish shell: Preparation, characterization, and its effect on the mechanical properties on polypropylene composites, *Journal of Hazardous Materials*, 2012, **217-218**, 256-262.
- [58] Ayrılmış, N., Kaymakçı A., Ozdemir F., Physical, mechanical, and thermal properties of polypropylene composites filled with walnut shell flour, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2013, **19**, 908-914.
- [59] Zahedi M., Pirayesh H., Khanjanzadeh H., Tabar M. M., Organo-modified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites, *Materials and Design*, 2013, **51**, 803-809.
- [60] Ma X. F., Yu J. G., Wang, N., Fly ash-reinforced thermoplastic starch composites, *Carbohydrate Polymers*, 2007, **67**, 32-39.
- [61] 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
- [62] Ünal H., Fındık F., Mimaroglu A., Mechanical Behavior of Nylon Composites Containing Talc and Kaolin, *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, **88**, 1694-1697.
- [63] Yang H. S., 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.
- [64] Lee H. K., Park Y. G., Jeong T., Song Y. S., Green nanocomposites filled with spent coffee grounds, *Journal of Applied Polymer Science*, 2015.
- [65] 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.
- [66] 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.
- [67] Sheng K., Qian S., Wang H., Influence of Potassium Permanganate Pretreatment on Mechanical Properties and Thermal Behavior of Moso

- Bamboo Particles Reinforced PVC Composites, *Polymer Composites*, 2014, **35**, 1460-1465.
- [68] Zahedi M., Tabarsa T., Ashori A., Madhoushi M., Shakeri A., A Comparative Study on Some Properties of Wood Plastic Composites Using Canola Stalk, Paulownia, and Nanoclay, *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, **129**, 1491-1498.
 - [69] Bari P., Lanjewar S., Parshotom H., Mishra S., Influence of the coupling agent and graphene oxide on the thermal and mechanical behavior of tea dust polypropylene composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2016, **133**.
 - [70] 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.
 - [71] 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.
 - [72] Kim H. Y., Choi J. W., Recycling and surface modification of waste bottom ash from coal power plants for the preparation of polypropylene and polyethylene composites, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2015, **17**, 781-789.
 - [73] Sohn J. S., Cha S. W., Enhanced Interfacial Adhesion of Polypropylene and Waste Wood from Roadside Trees Composite Materials, *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING*, **16**(11), 2389-2393.
 - [74] Tian H., Tagaya H., Preparation, characterization and mechanical properties of the polylactide/perlite and the polylactide/montmorillonite composites, *Journal of Material Science*, 2007, **42**, 3244-3250.
 - [75] Das A., Satapathy B. K. Structural, thermal, mechanical and dynamic mechanical properties of cenosphere filled polypropylene composites, *Materials and Design*, 2011, **32**, 1477–1484.
 - [76] Hamester M. R. R., Balzer P. S., Becker D., Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene, *Materials Research*, 2012, **15**(2), 204-208.
 - [77] Yan L. H., Qiang T. Y., Lu Z., Tao C., Hu S. Y., Ying Y., Sheng X., M., Bio-filler from Mussel Shell: Preparation and Its Effects on Polypropylene Composites Properties, *Journal of Inorganic Materials*, 2012, **27**(9), 977-983.
 - [78] Farahani R. D., Martin M., Klemberg-Sapieha J. E., Therriault ., Electrically Conductive Silver Nanoparticles-Filled Nanocomposite Materials as Surface Coatings of Composite Structures, *Advanced Engineering Materials*, 2016,**18**(7), 1189-1199.
 - [79] Sobhani H., Khorasani M. M., Optimization of scratch resistance and mechanical properties in wollastonitereinforced polypropylene copolymers, *Polymers Advanced Materials*, 2016, **27**, 765-773.

- [80] Xiang C., Sue H. J., Chu J., Masuda K., Roles of Additives in Scratch Resistance of High Crystallinity Polypropylene Copolymers, *Polymer Engineering and Science*, 2001, **41**(1), 23-31.
- [81] Mudaliar A., Yuan Q., Misra R. D. K., On Surface Deformation of Melt-Intercalated Polyethylene–Clay Nanocomposites During Scratching, *Polymer Engineering and Science*, 2006, **46**(11), 1625-1634.
- [82] Chu J., Xiang C., Sue H. J., Hollis R. D., Scratch Resistance of Mineral-Filled Polypropylene Materials, *Polymer Engineering and Science*, 2000, **40**(4), 944-955.
- [83] Dasari A., Misra R. D. K., Rohrmann J., Scratch Deformation Characteristics of Micrometric Wollastonite-Reinforced Ethylene-Propylene Copolymer Composites, *Polymer Engineering and Science*, 2004, **44**(9), 1738-1748.
- [84] Li T., Chen Q., Schadler L. S., Siegel R. W. Mendel J., Irvin JR G. C., Scratch Behaviour of Nanoparticle Al₂O₃ Filled Gelatin Films, *Polymer Composites*, 2002, **26**(6), 1076-1086.
- [85] Huang G., Ni Z., Chen G., Zhao Y., The Influence of Irradiation and Accelerated Aging on the Mechanical and Tribological Properties of the Graphene Oxide/Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Nanocomposites, *International Journal of Polymer Science*, 2016, **2016**, 1-9
- [86] Sepet H., Tarakcioglu N., Misra R. D. K., Investigation of mechanical, thermal and surface properties of nanoclay/HDPE nanocomposites produced industrially by melt mixing approach, *Journal of Composite Materials*, 2015, **50**(22), 3105-3116.
- [87] Xing X. S., Li R. K. Y., Wear behavior of epoxy matrix composites filled with uniform sized sub-micron spherical silica particles, *Wear*, 2004, **256**, 21–26.
- [88] Ray D., Gnanamoorthy R., Friction and Wear Behavior of Vinylester Resin Matrix Composites Filled with Fly Ash Particles, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2007, **26**(1), 5-13.
- [89] Hanumantharaya R., Ananda K. K. M., Prem K. B. G., Vikas G., Ashok K. G. P., Friction and Dry Sliding Wear Behaviour of Granite - Fly Ash Filled Glass Epoxy Composites, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2014, **3**(7), 14331-14338.
- [90] Gupta S., Riyad M. F., Synthesis and Tribological Behavior of Novel UHMWPE-Ti₃SiC₂ Composites, *Polymer Composites*, 2018, **39**(1), 254-262.
- [91] Kumar S., Kumar Y., Gangil B., Patel V. K., Effects of Agro-Waste and Bio Particulate Fillers on Mechanical and Wear Properties of Sisal Fibre Based Polymer Composites, *Materials Today*, 2017, **4**, 10144-10147.
- [92] Samat N., Sabaruddin F. A., Meor Yusoff M. S., Dayang Habibah A.I.H., Evaluation of Waste from Aluminum Industry as Filler in Polypropylene Composites, *The Minerals, Metals & Materials Society*, 2017, **69**(4), 790-795.

- [93] Abenojar J., Enciso B., Martínez M. A., Velasco F. Wear resistance of polypropylene-SiC composite, *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, **843**, 1-7
- [94] Lee H. K., Park Y. G., Jeong T., Song Y. S., Green nanocomposites filled with spent coffee grounds, *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, **132**(23), 42043-42048.
- [95] Derradji M., Ramdani N., Zhang T., Wang J., Feng T. T., Wang H., Liu W. B., Mechanical and thermal properties of phthalonitrile resin reinforced with silicon carbide particles, *Materials and Design*, 2015, **71**, 48-55.
- [96] Chauhan S., R., Thakur S., Effects of particle size, particle loading and sliding distance on the friction and wear properties of cenosphere particulate filled vinylester composites, *Materials and Design*, 2013, **51**, 398-408.
- [97] Shena J., T., Topa M., Peia Y., T., De Hossona J.Th.M., Wear and friction performance of PTFE filled epoxy composites with a high concentration of SiO₂ particles, *Wear*, 2015, **322-323**, 171-180.
- [98] Zhang X., R., Pei X., Wang Q., Friction and wear studies of polyimide composites filled with short carbon fibers and graphite and micro SiO₂, *Materials and Design*, 2009, **30**, 4414-4420.
- [99] Srinivasa K., Bhagyashekarb M., S., Wear Behaviour of Epoxy Hybrid Particulate Composites, *Procedia Engineering*, 2014, **97**, 488-494.
- [100] Cenna A., A., Doyle J., Page N., W., Beehag A., Dastoor P., Wear mechanisms in polymer matrix composites abraded by bulk solids, *Wear*, 2000, **240**, 207-214.
- [101] 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.
- [102] Sobhania H., Khorasanib M., M., Optimization of scratch resistance and mechanical properties in wollastonitereinforced polypropylene copolymers, *Polymer Advanced Technology*, 2015, **27**, 765-773.
- [103] Yanjiang S., Peng Z., Xiaodong W., Pei H., Effect of filler morphology on tribological performances of polyimide composites, 2010, **62**, 63-69.
- [104] Zhou R., Lu D. H., Jiang Y. H., Li Q. N., Mechanical properties and erosion wear resistance of polyurethane matrix composites, *Wear*, 2005, **259**, 676-683
- [107] Rattan R., Bijwe J., Influence of impingement angle on solid particle erosion of carbon fabric reinforced polyetherimide composite, *Wear*, 2007, **262**, 568-574
- [108] Dundar M., Inal O.T., Stringer J., The effect of particle size on the erosion of a ductile material at the low particle size limit, *Wear*, 2000, **240**, 235-244.

- [109] Antil P., Singh S., Manna A., SiCp/glass fibers reinforced epoxy composites: Wear and erosion behaviour, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2018, **25**, 122-130.
- [110] Coban O., Bora M. O., Fidan S., Kutluk T., Sinmazcelik T., Heat Treatment Effect on Solid Particle Erosion Properties of Polyphenylene Sulfide Composites Reinforced With Silane Coupled Volcanic Ash Particles, *Polymer Composites*, 2018, **39**(5), 1638-1646.
- [111] Bagci M., Imrek H., Solid particle erosion behaviour of glass fibre reinforced boric acid filled epoxy resin composites, *Tribology International*, 2011, **44**, 1704–1710.
- [112] 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.
- [113] 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.
- [114] Harsha A. P., Thakre A. A., Investigation on solid particle erosion behaviour of polyetherimide and its composites, *Wear*, 2007, **262**, 807–818.
- [115] 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.
- [116] 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.
- [117] 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.
- [118] Tian H. H., Addie G. R., Barsh E. P., A new impact erosion testing setup through Coriolis approach, *Wear*, 2007, **263**, 289–294.
- [119] Drensky G., Hamed A., Tabakoff W., Abot J., Experimental investigation of polymer matrix reinforced composite erosion characteristics, *Wear*, 2011, **270**, 146–151.
- [120] Wang Y.F., Yang Z. G., Finite element model of erosive wear on ductile and brittle materials, *Wear*, 2008, **265**, 871–878.
- [121] <http://www.xplore-together.com/> (Ziyaret Tarihi: 04.05.2013)
- [122] Pettarin V., Churruca M. J., Felhos D., Karger-Kocsis J., Frontini P. M., Changes in tribological performance of high molecular weight high density polyethylene induced by the addition of molybdenum disulphide particles, *Wear* 2010, **269**, 31–45.

- [123] Cayer-Barrioza J., Mazuyera D., Toncka A., Kapsaa Ph., Chateauminois A., Nanoscratch and friction: An innovative approach to understand the tribological behaviour of poly(amide) fibres, *Tribology International*, 2006, **39**, 62–69.
- [124] Carrión-Vilches F. J., González-Vivas A., Martínez-Mateo I. J., Bermúdez M. D., Study of the abrasion resistance under scratching of polybutylenetereftalate–glass fiber composites, *Tribology International*, 2015, **92**, 365–378
- [125] Regela, G., Putz M., Blau P., Hochmuth C., Fries U., Fiedler M., Influence of microstructures on tribological systems - development of process and surface structure, *Procedia CIRP*, 2016, **46**, 281 – 284.
- [126] 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.
- [127] 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.
- [128] Ismail H, Jaffri R. M. Physico-mechanical properties of oil palm wood flour filled natural rubber composites, *Polym Testing*, 1999,**18**(5), 381–8.
- [129] 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.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- [1] Çetin B., **Sahin A. E.**, Yılmaz T. Sınmazçelik T, Cürgül I., Effects of Terpolymer Addition on the Thermal and Thermomechanical Properties of Poly(Phenylene Sulfide). *Acta Physica Polonica A*, 2017, **131**(3), 598-601.
- [2] **Sahin A. E.**, Sınmazçelik T., Olivine Particle Reinforced Polyphenylene Sulfide Matrix Composites. *Acta Physica Polonica A*, 2017, **131**(3), 481-484.
- [3] **Sahin A. E.**, Karanlı N. G., Sınmazçelik T., Comparison of the mechanical thermomechanical thermal and morphological properties of pumice and calcium carbonate filled poly phenylene sulfide composites. *Polymer Composites*, 2016, **37**(11), 3160-3166.
- [4] Çetin B., **Sahin A. E.**, Karanlı Yılmaz N. G., Yılmaz T., Sınmazçelik T., Cürgül I. Improvement of the Toughness and Crack Propagation Resistance Properties of Poly Phenylene Sulfide. *Acta Physica Polonica A*, 2016 **129**(4), 683-686.
- [5] **Sahin A. E.**, Yılmaz S., Yılmaz T., Sınmazçelik T. Thermomechanical and Solid Particle Erosion Behaviour of CaCO and SGF Short Glass Fibre Reinforced ABS PA6 Composites. *Acta Physica Polonica A*, 2015, **127**(4), 1062-1064.
- [6] Avcu E., Yıldırım Y., **Sahin A. E.**, Fidan S., Sınmazçelik T., Influences of Particle Impingement Angle and Velocity on Surface Roughness Erosion Rate and 3D Surface Morphology of Solid Particle Eroded Ti6Al4V Alloy. *Acta Physica Polonica A*, 2014, **125**(2), 541-543.,
- [7] **Sahin A. E.**, Yıldırım Y., Avcu E., Fidan S., Sınmazçelik T., Mechanical and Thermal Properties of Pumice Powder Filled PPS Composites. *Acta Physica Polonica A*, 2014, **125**(2), 518-520.
- [8] Yıldırım Y., Avcu E., **Sahin A. E.**, Fidan S., Yetistiren H., Sınmazçelik T., Effect of Particle Impact Angle Eroding Particle Size and Acceleration Pressure on the Solid Particle Erosion Behavior of 3003 Aluminum Alloy. *Acta Physica Polonica A*, 2014, **125**(2), 523-525.

Uluslararası ve Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

- [1] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Effect Of Nut Shell Reinforcement On Solid Particle Erosion Behaviour Of Polypropylene (Pp) Matrix Composites, IV. International Composite Materials Symposium, İzmir 6-8 August 2018
- [2] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Solid Particle Erosion behavior Of Mussel Shell Reinforced Poly (Phenylene Sulfide) PPS, International Science And Technology Conference Paris, 18-20 July 2018

- [3] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Solid Particle Erosion Behaviour Of Walnut Shell Reinforced Polypropylene(PP) Matrix Composites,. II. International Academic Research Congress, Antalya, 18-21 October 2017.
- [4] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Effect Of Nut Shell Reinforcement On Adhesive Wear Behaviour Of Polypropylene (PP) Matrix Composites. II. International Academic Research Congress, Antalya, 18-21 October 2017.
- [5] Bıkmaz H., **Sahin A. E.**, Sınmazçelik T., Solid Particle Erosion Behaviour Of Carbon Fibre Reinforced Epoxy Resin Composites. II. International Academic Research Congress, Antalya, 18-21 October 2017.
- [6] Yetistiren H., Zeren A., **Sahin A. E.**, Hidrotermal Yaslandırmanın Kısa Cam Fiber Takviyeli Polifenilensulfid Kompozitin Tribolojik Özelliklerine Etkisi. International Conference on Advanced Engineering Technologies Bayburt, 21-23 September 2017.
- [7] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T. (2017). Effect of Perlite Particle Reinforcement On Mechanical and Wear Behavior Of Polyphenylene Sulfide (PPS), 25th International Conference on Composite or Nano Engineering, Rome, 16-22 July 2017.
- [8] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Scratch Behaviour of Walnut Shell Reinforced Polypropylene(PP)Matrix Composites, 3th International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS2017) Budapest, 3-7 May 2017
- [9] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Effect of Walnut Shell Reinforcement on Adhesive Wear Behaviour of Polypropylene (PP) Matrix Composites. 3th International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS2017) Budapest, 3-7 May 2017
- [10] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Effects Of Using Mussel Shell As A Particlereinforcing Agent In Polyphenylene Matrixcomposites, 16th International Materials Symposium (IMSP'2016) Denizli, 12-14 October 2016.
- [11] **Sahin A. E.**, Yılmaz S, Sınmazçelik T., Yılmaz T., Investigation Parameter Effects on Tribological Performance of Short Carbon Fiber and Pumice Particle Reinforced PPS PA66 Blend. 46th Iupac Worldpolymer Congress, Istanbul, 17-21 July 2016
- [12] Çetin B.,**Sahin A. E.**,Yılmaz T., Sınmazçelik T.,Cürgül I., Effects of Terpolymer Addition on The Thermal and Termomechanical Properties of Poly Phenylene Sulfide. 6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, İstanbul, 1-3 June 2016
- [13] **Sahin A. E.**, Sınmazçelik T., Olivine Particle Reinforced Polyphenylene Sulfide Matrix Composites, 6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, İstanbul, 1-3 June 2016
- [14] Yılmaz S., **Sahin A. E.**, Gül O., Sınmazçelik T., Yılmaz T., Investigation Of Thermal Mechanical Properties And Abrasive Wear Behaviour Of Pumice Particle Short Carbon Fibre And Poss Reinforced PPS. *International*

Conference On Engineering And Natural Sciences, Saray Bosna, 24-28 May 2016.

- [15] **Sahin A. E.**, Çetin B., Sınmazçelik T., Expanded Perlite Particle Reinforced Polyphenylene Matrix Composites, *International Conference On Engineering And Natural Sciences*, Saray Bosna, 24-28 May 2016
- [16] **Sahin A. E.**, Yılmaz S., Sınmazçelik T., Yılmaz T., Tribological Performance Of Short Carbon Fiber And Pumice Particle Reinforced PPS PA66 Blend. *International Conference On Engineering And Natural Sciences*, Saray Bosna, 24-28 May 2016
- [17] Yılmaz S., **Sahin A. E.**, Yılmaz T., Sınmazçelik T., Pomza Tozu Ve Karbon Elyaf Takviyeli Polifenilen Sülfid Pps Kompozitlerin Adheziyon Asınma Davranışının İncelenmesi, *Uluslararası Katılımlı III. Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, 5-11 Kasım 2015.
- [18] Çetin B., **Sahin A. E.**, Yılmaz T., Sınmazçelik T., Cürgül I. (2015). Improvement the Toughness and Crack Propagation Resistance Properties of Poly Phenylene Sulfide. *5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition (APMAS)*, Muğla, 16-19 April 2015.
- [19] **Sahin A. E.**, Yıldırım 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.
- [20] Avcu E., Yıldırım Y., **Sahin 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.
- [21] Yıldırım Y., Avcu E., **Sahin A. E.**, Fidan S., Yetiştiren H., Sınmazçelik T., Effect of Particle Impact Angle, Eroder Partikül Boyutu ve Hızı Üzerine Katı Partikül Erozyon Davranışının İncelenmesi, *3rd International Advances in Applied Physics and Material Science Congress (APMAS)*, Antalya, 24-28 April 2013.
- [22] **Sahin A. E.**, Yıldırım 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
- [23] Yıldırım Y., **Sahin 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.
- [24] **Sahin A. E.**, Yıldırım 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.

- [25] Yıldırım 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.
- [26] 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 ve 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda doktora öğrenimine başladı. 2012 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

