KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

QUARTZ FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT UÇAK RADOM MALZEMESİNİN KATI PARTİKÜL EROZYON DAVRANIŞI

KERİM MUAMMER YURDUSEVEN

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

QUARTZ FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT UÇAK RADOM MALZEMESİNİN KATI PARTİKÜL EROZYON DAVRANIŞI

KERİM MUAMMER YURDUSEVEN

Yrd. Doç. Dr. Sinan FİDAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ekrem ALTUNCU
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 29.12.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Havacılıkta en yüksek maliyet yakıttan kaynaklanmaktadır. Yakıt maliyetinin azaltılması da ağırlığın azaltılmasıyla mümkündür. Bu sebeple, uçaklarda kompozit malzeme kullanımı her geçen gün artmaktadır. Uçuş şartlarında aşındırıcı partiküller, uçakların hava ile ilk temas ettikleri kısımlarında katı partikül erozyonuna neden olurlar. Bu kısımlar arasında katı partikül erozyonun en fazla yaşandığı kısım radomdur. Sıklıkla oluşan katı partikül erozyonu limitlerinin artması için üreticiler quartz fiber takviyeli kompozit radom üretimine geçmişlerdir. Farklı malzemeler, farklı açılar ve farklı aşındırıcılar kullanılarak aşındırılıp, katı partikül erozyon davranışları tespit edilmiştir. Yüzeyi aşındırılan numunelerin yüzeylerinin pürüzlülüğü ölçülüp, içyapı hasarları incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında büyük emeği olan, bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, teorik ve deneysel çalışmalar süresince vaktini bana ayıran değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Sinan FİDAN ‘a çok teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında bana oldukça yardımcı olan, dostluğunu esirgemeyen Onaylayıcı Uçak Teknisyeni Talha Kıvanç’a çok teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışması süresince bana gösterdikleri saygı ve anlayıştan ötürü Pegasus Hat Bakım Proje Ofisinde çalışan arkadaşlarıma ve değerli yöneticilerime de teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca yanımda olup, aldığım her kararı destekleyen değerli anne ve babama, sevgili eşim Gülşen’e ve canım kızım Duru’ ya sevgilerimi sunarım.

Ocak – 2018 Kerim Muammer YURDUSEVEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Kompozit Malzeme Tanımı 3
1.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri 4
1.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları 5
1.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması 6
1.5. Uçak Yapılarında Kompozit Malzemeler 13
1.5.1. Radome malzemesinin kompozit yapısı 18
1.6. Uçak Yapılarında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Hasar Türleri 23
1.6.1. Darbe hasarı 23
1.6.2. Aşınma hasarı 24
1.7. Havacılıkta Aşınma Hasarları 25
1.7.1. Uçuş koşullarında hava araçlarının maruz kaldığı aşınma hasarları ve tarihçesi 27
1.7.2. Hava araçlarında oluşan aşınma tipleri 30
1.7.3. Havacılıkta aşınmaya etki eden parametreler 36
1.8. Radome Yapısında Aşınma Hasarı 39
2. MALZEME VE YÖNTEM 47
2.1. Malzemeler 47
2.2. Quartz Fiber Radom Kompozit Malzemesinin Özelliklerinin İncelenmesi İçin Kullanılan Test ve Analiz Methodları 49
2.2.1. Katı partikül erozyonu aşınma testi 49
2.2.2. Lazer 3D optik profilometre ile analiz 51
2.2.3. X-Ray görüntüleme yöntemi ile analiz 52
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 55
3.1. Boyali Quartz Fiber ve İşlemsiz Quartz Fiber Kompozitin Alümina 120 Aşındırıcısı Uygulanması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri 55
3.2. Eroziv Bantlı Uygulanmış Boyalı Quartz Fiber ve Eroziv Bant Uygulanmış İşlemsiz Quartz Fiber Kompozitin Alümina 120 Aşındırıcısı Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri 60
3.3. Boyalı Quartz Fiber ve Işlemsiz Quartz Fiber Kompozitin Volkanik Kül Aşındırıcısı Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri 65
3.4. Boyalı Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 aşındırıcısı ve Volkanik Kül Aşındırıcısı Uygulanması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması 68

3.5. İşlemsiz Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 aşındırıcısı ve Volkanik Kül Aşındırıcısı Uygulanması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması 71
3.6. Boyali Quartz Fiber Kompozit ve Eroziv Bant Uygulanmış Boyalı Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 Aşındırıcı Uygulaması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması 73
3.7. İşlemsiz Quartz Fiber Kompozit ve Eroziv Bant Uygulanmış Boyalı Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 Aşındırıcı Uygulaması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması 76
3.8. Tüm Test Numulerin Eroziv Aşınma Testleri Sonrası Yüzeylerinin Lazer 3-D Profilometre ile Analizi 78
3.8.1. Boyalı quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi 80
3.8.2. Işlemsiz quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi 85
3.8.3. Boyalı ve eroziv bant uygulanmış quartz fiber kompozite alumina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi 90
3.8.4. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi 95
3.8.5. Boyalı quartz fiber kompozite volkanik kül aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi 100
3.8.6. İşlemsiz quartz fiber kompozite volkanik kül aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi 105
3.9. Test numunelerinin X-Ray Görüntüleme Yöntemi ile Analizi 110
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 114
KAYNAKLAR 117
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 123
ÖZGEÇMİŞ 124

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Fiber takviyeli kompozit malzeme üç boyutlu kesiti 7
Şekil 1.2. Kumaş cam elyaf parçası 8
Şekil 1.3. Partikül Takviyeli Kompozit Mazleme İç Yapı Kesiti 9
Şekil 1.4. Tabakalı Kompozit Yapı Örneği 10
Şekil 1.5. Dolgu Takviyeli Kompozit Yapısının İç Kesiti 11
Şekil 1.6. Uçak yapısal parçalarında ileri kompozit malzeme Kullanımı 14
Şekil 1.7. Uçaklarda kompozit malzeme dağılımı 15
Şekil 1.8. Boeing 777 yolcu uçağında kompozit malzeme kullanım alanları 16
Şekil 1.9. Boeing 737-800 uçağındaki kompozit kısımlar 17
Şekil 1.10. Airbus A320 uçağında kullanılan kompozit malzemeler 17
Şekil 1.11. Boeing 737-800 uçağının radom kısmında oluşan kuş çarpması hasarı 18
Şekil 1.12. Boeing 737-800 uçağıda radom ve iç kısmındaki radar antenleri 21
Şekil 1.13. Airbus radom malzeme içerisinde basınçlı bölgeyi koruyan balpeteği yapısı 21
Şekil 1.14. Radom yıldırım çarpmasıyla oluşan enerjiyi gövdeye ileten yapılar 22
Şekil 1.15. Boeing 737-800 uçağının radom kısmında oluşan yıldırım hasarı 22
Şekil 1.16. Ticari bir uçak üzerindeki hasarların bölgesel dağılımı 26
Şekil 1.17. Boeing 737-800 uçağında sıklıkla aşınma problemleri yaşanan bölgeler 27
Şekil 1.18. Phantom YF-4 uçağı motor by-pass pitot tüpü girişindeki aşınma hasarı 29
Şekil 1.19. Boeing web sitesi www.boeing.com ve NASA Uçuş Araştırma Merkezinden alınan, çeşitli uçak tiplerinde uçuş esnasında karşılaşılan aşınmanın zaman çizelgesi 30
Şekil 1.20. Yağmur ve kum aşınmasının etkisi 33
Şekil 1.21. Volkan patlaması ve ortaya çıkan kül bulutu 34
Şekil 1.22. Volkanik küllerin motor içindeki hareketi 35
Şekil 1.23. Volkanik kül bulutuna maruz kalmış uçak motoru 36
Şekil 1.24. Gevrek / sünek malzeme çarpma açısı kütle kaybı ilişkisi 38
Şekil 1.25. Boeing 737-800 uçağının radom bölgesindeki aşınma ve boya hasarı 40
Şekil 1.26. Airbus A320 uçağının radom kısmının ön bölgesine uygulanan koruyucu kaplama 42
Şekil 1.27. Dolu yağışına maruz kalan uçağın radom hasarı 43
Şekil 1.28. FOD hasarına maruz kalan Airbus A320 uçak radomu 45
Şekil 2.1. Radom kompozitinin tamir aşaması 48
Şekil 2.2. Eroziv Aşındırıcı Test Cihazı 50
Şekil 2.3. Kumlama Kabini Açıklayıcı Görsel 50
Şekil 2.4. Kumlama Kabin İçinde Nozul ve Numune Mesafesi İlişkisi 50
Şekil 2.5. Nanovea PS50 marka lazer 3D optik profilometre cihazı 51
Şekil 2.6. X-ray test düzeneği şeması 52
Şekil 2.7. YXLON SMART 160 W X-Ray grafi cihazı görseli 53

Şekil 2.8. X-ray testinde kullanılan numuneler 54
Şekil 3.1. Boyalı quartz fiber malzeme kütle kaybı grafiği 56
Şekil 3.2. Boyalı quartz fiber malzeme aşınma oranı grafiği 57
Şekil 3.3. İşlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı grafiği 58
Şekil 3.4. İşlemsiz quartz fiber malzeme aşınma oranı grafiği 59
Şekil 3.5. Eroziv bantlı boyalı quartz fiber malzeme kütle kaybı 61
Şekil 3.6. Eroziv bantlı boyalı quartz fiber malzeme aşınma oranı 62
Şekil 3.7. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı 63
Şekil 3.8. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber malzeme aşınma oranı 64
Şekil 3.9. Boyalı quartz fiber malzeme volkanik kül kütle kaybı 65
Şekil 3.10. Boyalı quartz fiber malzeme aşınma oranı 66
Şekil 3.11. İşlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı 67
Şekil 3.12. İşlemsiz quartz fiber malzeme aşınma oranı 68
Şekil 3.13. Boyalı quartz fiber kompozit kütle kaybı 69
Şekil 3.14. Boyalı quartz fiber kompozit aşınma oranı 70
Şekil 3.15. İşlemsiz quartz fiber kompozit kütle kaybı 71
Şekil 3.16. İşlemsiz quartz fiber kompozit aşınma oranı 72
Şekil 3.17. Alümina 120 mesh aşındırıcıs sonrası kütle kaybı 74
Şekil 3.18. Alümina 120 mesh aşındırıcıs sonrası aşınma oranı 75
Şekil 3.19. Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası kütle kaybı 76
Şekil 3.20. Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası aşınma oranı 77
Şekil 3.21. Yüzey pürüzlülük ölçüm şeması 80
Şekil 3.22. Boyalı quartz SA resimleri 80
Şekil 3.23. Boyalı quartz fiber kompozit SA grafiği 82
Şekil 3.24. Boyalı quartz fiber kompozit RA resimleri 84
Şekil 3.25. İşlemsiz quartz fiber SA resimleri 86
Şekil 3.26. İşlemsiz quartz fiber kompozit yüzey pürüzlülük değerleri 87
Şekil 3.27. İşlemsiz quartz fiber kompozit profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları 89
Şekil 3.28. Eroziv bant SA resimleri 91
Şekil 3.29. Eroziv bantlı boyalı quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülük değerleri 92
Şekil 3.30. Eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozit optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları 94
Şekil 3.31. Eroziv bant işlemsiz RA resimleri 96
Şekil 3.32. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozit yüzey pürüzlülük değerleri 97
Şekil 3.33. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozit optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları 99
Şekil 3.34. Boyalı quartz fiber kompozit optik profilometre 3D yüzey pürüzlülük taramaları 101
Şekil 3.35. Boyalı quartz fiber kompozit yüzey pürüzülülük değerleri 102
Şekil 3.36. Boyalı quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları 104
Şekil 3.37. İşlemsiz kompozit pürüzlülük taramaları 106
Şekil 3.38. İşlemsiz quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası yüzey pürüzülülük değerleri 107

Şekil 3.39. İşlemsiz quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları 109
Şekil 3.40. Quartz fiber radom malzemesine uygulanmış alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri 111
Şekil 3.41. Eroziv bant uygulanmış quartz fiber radom malzemesine uygulanmış alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri 112
Şekil 3.42. Quartz fiber radom malzemesine uygulanmış volkanik kül aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri..... 113

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Farklı malzemelerin parametre değerleri 5
Tablo 1.2. Bazı termoplastiklerin sıcaklık parametreleri 12
Tablo 1.3. Radomda kullanılan malzemelerin özellikleri 19
Tablo 1.4. Radomda kullanılan malzemelerin dielektrik özellikleri 20
Tablo 1.5. Farklı yağmur tiplerinde yağmur yoğunluğu 32
Tablo 1.6. Airbus A320 uçağının radom kısmına uygulanan aşınma önleyici uygulamalar 41
Tablo 1.7. Airbus A320 uçağının radom kısmına uygulanan aşınma önleyici uygulama sonrası direnç kontrolü prosedürü 42
Tablo 1.8. Bazı uçak tiplerinin seyir hızları ve kumlama hızına olan oranları 44
Tablo 2.1. Eroziv Bant özellikleri 47
Tablo 2.2. Aşındırıcı partikül tiplerinin aşındırıcı hızı ve debisi 49
Tablo 2.3. Nanovea PS50 marka 3D optik profilometre özellikleri 51
Tablo 3.1. Boyalı malzeme kütle kaybı ve aşınma oranları 56
Tablo 3.2. İşlemsiz quartz fiber malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları 57
Tablo 3.3. Eroziv bantlı boyalı malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları 60
Tablo 3.4. İşlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı ve aşınma oranları 62
Tablo 3.5. Boyalı quartz fiber malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları 65
Tablo 3.6. İşlemsiz quartz fiber malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları 67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

E : Elastisite modülü, (GPa)
E^* : Kompleks modül, (MPa)
E’ : Depolama modülü, (Mpa)

QUARTZ FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT UÇAK RADOM MALZEMESİNİN KATI PARTİKÜL EROZYON DAVRANIŞI

ÖZET

Katı partikül erozyonunun sebep olduğu bakım masrafların azaltılması sebebiyle uçak üreticileri yeni malzeme arayışına girmişler ve quartz fiber takviyeli kompozit malzemeden uçak radomlarını üretmişlerdir. Bu çalışmada, quartz fiber kompozit radom malzemesinin katı partikül erozyon aşınma davranışları incelenmiştir. Test numuneleri, beş yıl boyunca serviste olan radomun, darbe hasarı sebebiyle servisten çekilmesiyle elde edilmiştir. Farklı açılarda, yüzeyi işlemsiz, yüzeyi boyalı ve yüzeyine eroziv bant yapıştırılmış numuneler; alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcı ile aşındırılıp, katı partikül erozyon davranışları tespit edilmiştir. Malzemelerin yüzeyinde oluşan aşınma bölgeleri lazer 3D optik profilometre cihazı kullanılarak taranmıştır. Katı partikül erozyonunun malzeme iç yapısında hasar oluşturup oluşturmadığı bilgisine X-ray tahribatsız hasar analizi yöntemi ile ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havacılık, Katı Partikül Erozyonu, Kompozit Malzemeler, Quartz, Radom.

SOLID PARTICLE EROSION CHARACTERIZATION OF QUARTZ FIBRE REINFORCED COMPOSITE AIRCRAFT RADOME MATERIAL

ABSTRACT

With the reduction of maintenance costs caused by solid particle erosion, aircraft manufacturers have searched for new materials and produced aircraft radomes from quartz fibre reinforced composite materials. In this study, the solid particle erosion wear behaviours of this composite material were examined. The test specimens were obtained by unserviceable of the radome component due to impact damage, which was serviced for five years. At different angles, samples with surface clear, surface painted and erosive tape adhered to the surface; alumina 120 mesh was abraded and volcanic ash abrasive was abraded, and solid particle erosion behaviours were detected. Wear zones formed on the surface of the materials were scanned using laser 3D optical profilometer. The knowledge that solid particle erosion causes damage to the internal structure of the material is obtained by X-ray non-destructive damage analysis method.

Keywords: Aviation, Solid Particle Erosion, Composite Materials, Quartz, Radome.

GİRİŞ

Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanımı bulunan kompozit malzemenin üretimi son birkaç yüz yıla mal edilmiş gibi görülse de ilk örnekleri çok eskilere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında gerçekleşmiştir.

İlk çağlardan beri insanlar, kırılgan malzemelerin mukavemetini arttırmak için çeşitli yöntemlere başvurmuşlardır. Bunların başında malzemenin içerisine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak malzemenin kırılganlığını azaltabilmek gelmiştir. Şu an kullanılan kompozit malzemenin üretiminde yaygın olarak kullanılan fiber çeşitleri ile ilgili uygulamanın da çok yeni olmadığı, üretiminin eski Mısır'a kadar dayandığı tahmin edilmektedir.

Günümüzde, havacılık sanayi başta olmak üzere birçok alanda metal malzemelere karşı kompozit malzeme kullanımı yaygınlaşmıştır. Kompozit malzemeler, yüksek özgül mukavemet ve elastik modül avantajlarından dolayı, ağırlığın en önemli parametre olduğu hava araçlarında ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Günümüz hava aracı işletmecilerinin de enerji ve yakıt tasarrufu konusundaki görüşleri göz önüne alındığında, kompozit malzemelere olan yönelim gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Kompozit malzemelerden belli bir süreç boyunca tam olarak faydalanabilmek için uygun tasarımın yapılması ve servis ömrü boyunca meydana gelebilecek hasarların önceden öngörülmesi ve tahmin edilebilmesi büyük önem taşımaktadır.

Hava araçlarının çalışma esnasında tekrarlı olarak belli yüklere maruz kaldığı bilinmektedir. Bundan dolayı hava araçlarında tekrarlı yüklerin etkisiyle oluşan yorulma hasarı oluşum ve ilerleme safhalarının doğru tanımlanması hayati önem arz etmektedir. Bu olağan hasarların dışında uçakta meydana gelebilecek kuş

çarpması, pistten kopan herhangi bir madde darbesi veya dikkatsizlik sonucu bakım esnasında meydana gelen çeşitli hasarlarda anlık darbe yükleri olarak tanımlanabilir. Ortaya çıkan hasarlar kimi zaman gözle görülebilir olurken kimi zamanda tespiti güç noktalara ulaşabilir ve özel inceleme yöntemleri gerektirebilir. Bu şekilde darbe yüklemelerine bağlı hasarların kritik boyuta ne zaman ulaşacağı konusunda önceden bilgi sahibi olabilmek, ölümcül kazalarla sonuçlanabilecek süreçlerin de önüne geçecektir.

Uçakların havayla ilk temas eden kısımları radom bölgesidir. Uçak radom'u radar antenleri için kalkan görevi gören yapısal kısımlardır. İdeal radom malzemesi elektriksel olarak elektromanyetik enerjiye karşı tamamen saydam olmalıdır. Böylece, radyo dalgalarının radom kompozit malzemesinden iletimi esnasında herhangi bir güç kaybı yaşanmamış olur. Aynı zamanda radom malzemesi, sıvı-katı aşınmasına, aerodinamik yüklere ve kuş çarpması gibi yabancı madde hasarına direnebilmesi açısından da yeterince güçlü olmalıdır. Bu yüzden hafif olduğu kadar dayanıklı malzeme kullanılması da hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, quartz fiber takviyeli kompozit malzemelerle üretilmiş olan radom parçaları test edilmiştir. Test nümuneleri, Airbus A320 uçağında yaklaşık 5 yıl kadar uçuş gerçekleştirmiş ve darbe hasarı sonucu servis dışı kalmış bir radomdan alınmıştır. Bu numunenin dış yüzeyi üretim aşamasından sonra çeşitli anti-statik koruyucu işlemler, boya koruması ve aşınma önleyici kaplama gibi işlemlerden geçmiştir. Numunenin iç yüzeyi ise hiçbir koruyucu işleme tabii tutulmadan kullanılmıştır. Test esnasında uçakların radom kısmının maruz kaldığı katı partikül erozyonu sorunu simüle edilmiştir. Uygulanan işlemler, farklı çarpma açılarında alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcılarının numune yüzeyine püskürtülmesi ile malzemede meydana gelen aşınma oranı ve nümuneler arasındaki farklılıklar grafikler ile anlatılmıştır. Oluşan hasarlar sonrası numuneler yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri ve malzeme içyapısının hasar kontrolü gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının ana konusuna gelmeden önce kompozit malzemelerin özellikleri, havacılıkta kompozit malzemelerin kullanım alanları, avatajları ve dezavantajlarının yanında radom kısmının uçaklardaki önemi ve işlevi gibi konu başlıkları anlatılmaya çalışılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Kompozit Malzeme Tanımı

Herhangi bir amaç için, farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak bir araya getirerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir [1].

Oluşturulan bu malzeme, karışım içindeki her bir malzemenin özelliklerinden daha üstündür. Kompozit malzemeler yeni bulunan bir malzeme grubu olmayıp, doğada var olan yapılardan oluşur [2].

Takviye elemanı olarak adlandırılan bileşen, fiber, parçacık veya ince levha şeklinde olabilir. Diğer bileşen ise matris fazıdır. Bu malzemelerin bir araya getirilmesi bir takım çalışma karakteristiklerinin, bu bileşenler tek olarak değerlendirildiği durumdakinden daha iyi olmasına müsaade eder. Buna karşılık bu malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede bazı güçlükler mevcuttur. Bu durum, kompozit malzemelerin metalik malzemelere nazaran daha karmaşık bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır [3].

Metal, plastik ve seramik gruplarından iki veya daha fazla malzemenin, uygun olan özelliklerini tek malzemede toplamak, veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir kompozit malzemeler [4].

Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler. Ancak özellikle metalik sistemlerde, düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir [5].

Kompozit'i oluşturan temel malzemeler;

- Polimerler
- Termoset reçineler veya termoplast reçineler
- Takviye malzemeleri
- Katkı malzemeleri
- Dolgu malzemeleri [6].

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme bulunmaktadır. Bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir [7].

Matris, fiberleri bir arada tutan ve fiberler arasında gerilim aktarımını sağlayarak, kompozit yapının mekanik özelliklerinin oluşumunu dolaylı olarak etkileyen ve fiberleri fiziksel ve kimyasal dış etkenlerden koruyarak kompozit yapının bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlayan kısımdır. Matris malzemesi olarak uygun metal alaşımları kullanılabileceği gibi, daha yaygın olarak reçineler kullanılmaktadır [8, 9].

1.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin sahip olduğu avantaj ve dezavantajları şu şekilde sayılabilir;

-Avantajları;

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Mükemmel aşınma direnci
- Yüksek sıcaklıklara dayanma kapasitesi
- İyi korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Düşük ağırlık
- Çekicilik ve estetik görünüm

-Dezavantajları;

- Metallere göre yüksek maliyet
- Üretim ve tasarımla ilgili az bilgi birikimi
- Nem tutabilme özelliği
- Geri dönüşümünün olmaması
- Kırılma uzamasının düşük olması

Kısacası mukavemet değerlerinin yüksek olması ve hafiflik avantajları sebebiyle kompozit malzemelerin kullanımını yaygınlaşmaktadır [9].

Son olarak, uçak yapılarındaki alüminyum alaşımlar, seramik gibi konvansiyonel malzemelerin yerini alan kompozit malzemeler, düşük ağırlığa oranla yüksek mukavemet özelliğine sahiptirler [10]. Uçak yapısı için malzeme seçiminde önemli bir kriter olan mekanik özelliğin yoğunluğa oranı ile ifade edilen, özgül mekanik özellik değerleri karşılaştırıldığında bor / epoksi ve karbon / epoksi kompozitlerin konvensiyonel malzemelerden önemli farklarla üstün oldukları görülmektedir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Farklı malzemelerin parametre değerleri [11]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm^3)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Alaşımsız Çelik	7,9	459	203
Alüminyum	2,8	84	71
Bor-Epoksi	1,8	1600	224
Karbon-Epoksi	1,6	1260	218
Kevlar-Epoksi	1,4	1400	77
S camı-Epoksi	1,8	1400	56
E camı-Epoksi	1,8	1150	42

1.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Yüksek mekanik özellikleri, yüksek dayanma direncine göre ağırlık oranı gibi başlıca sebepler kompozit yapıların üretilmesinde başlıca sebepler olmuştur. Otomotiv, havacılık, spor, askeriye ve inşaat gibi sektölerde kompozit yapıların kullanımı artmıştır [12].

Özellikle havacılık sanayisinde kompozitler, gün geçtikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır.

Daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır [12].

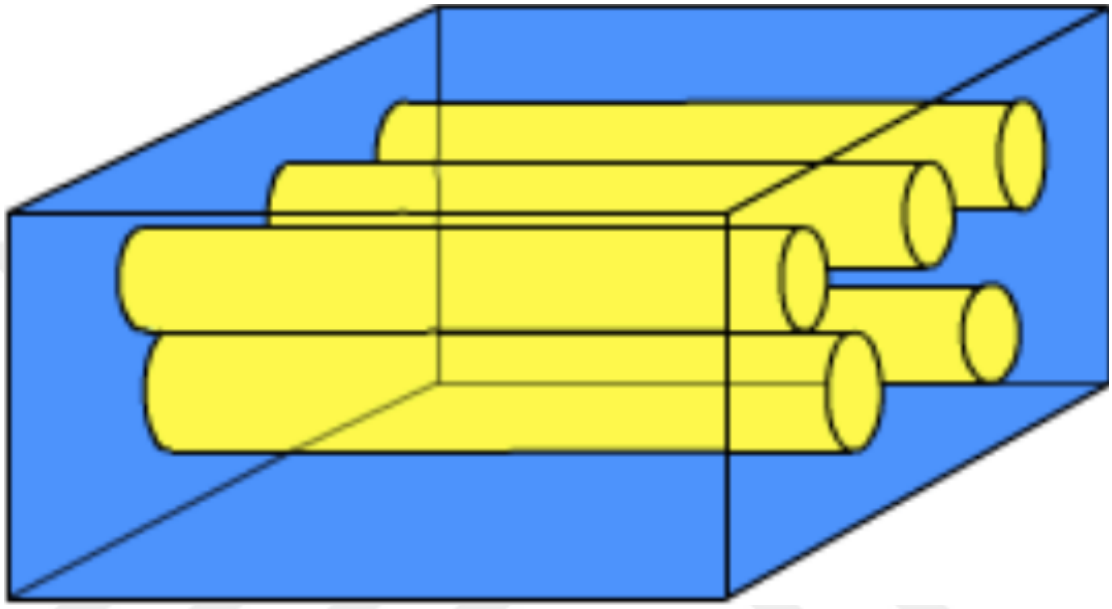
Elyaf destekli kompozitler uçak parçaları için gittikçe çok cazip hale gelmiştir. Bu alanda en çok kullanılan elyaf çeşidi, karbon, aramid ve camdır. Matris malzemesi olarak 120-170°C arasında polimerleşen epoksiler kullanılmaktadır [8].

Kompozit malzemeler, gaz-türbin motorlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü motor sistemlerinin doğal yapısı, malzeme yapısındaki değişmelere karşı aşırı derecede koruyucu tarzda yapılmıştır. Yani ilerlemiş süpersonik motorlar, en düşük ağırlıkta, maksimum performansı verecek şekilde dizayn edilmiştir. Ticari amaçlı jet türbin motorlarında kritik kompozit bileşenler, türbin motor sistemleri ve askeri alanda kompozitlerin başarılı bir şekilde kullanılmasına dayandırılır. Bir ticari jet motorundaki malzemelerin toplam sıcaklık oranı –65°F dan yaklaşık olarak 2200°F'a (-54den 1220°C'ye) ulaşabilir. Bunlar genellikle uçak motorlarında, fanlarda ve bazı durumlarda düşük basınçta kompresörlerinde kullanılırlar. Bunlardan 1000°F'da (538°C) kullanılabilen Bsc-Ti hariçtir. Bu kompozit malzeme 600°F'ı (316°C) geçebilecek giriş sıcaklıklarında motorlarda daha ileri seviyede kullanılabilir. Yapısal kompozitler, normal biçimde sertleştirilen fan pervanelerinde tercih sebebidir. Bu durumda yüksek sertlik, düşük yoğunluk, fan veya kompresör veriminin artması, maliyet ve ağırlığın azalması gibi avantajları kompozitler içerir. Daha da önemlisi, metal parçalarla mümkün olandan %50 daha yüksek dönme hızı sağlayan kompozit fanlar yapılabilir [8, 13].

1.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matriste kullanılan malzemeye göre ve takviye edilen malzemeye göre sınıflandırılabilir. Arzulanan veya daha güçlü ve dayanıklı olmasını istediğimiz yere takviye elemanı konulmasıyla elde edilir. Böylece mukavemet değerleri eski hallerinden çok daha güçlü duruma gelir. Bu takviye malzemeleri şu şekilde olabilir [13, 14];

Fiber Takviyeli Kompozit, matrisin iç kısmında yer alıp, kompozit malzemenin en önemli mukavemet elemanıdır. Kullanılacak olan fiber ya da diğer adıyla elyaf formu, uygulama alanı ve üretim metoduna göre belirlenir. Mesela yapısal uygulamalar için uzun lifler tercih edilirken diğer uygulamalarda kısa lifler ya da kesikli lifler kullanılabilir [14]. Fiber takviyeli kompozit eleman kesiti Şekil 1.1' de verilmiştir.



Şekil 1.1. Fiber takviyeli kompozit malzeme üç boyutlu kesiti

Camfiber, uçaklarda panellerde kullanıldığı gibi, roket motorlarda da kullanılmaktadır. Avantajları olarak fiyatının göreceli olarak ucuz olması, kolay temin edilmesi, işlenme kolaylığı, yüksek mukavemeti, esnek olması ve düşük kalıp maliyeti sayılabilir. Dezavantajları ise, neme karşı çok duyarlı olmasıdır. Havacılık ihtiyaçlarını karşılamak üzere temel olarak iki tip camfiber bulunmaktadır. Bunlar E-Camı ve S-Camı' dır [8].

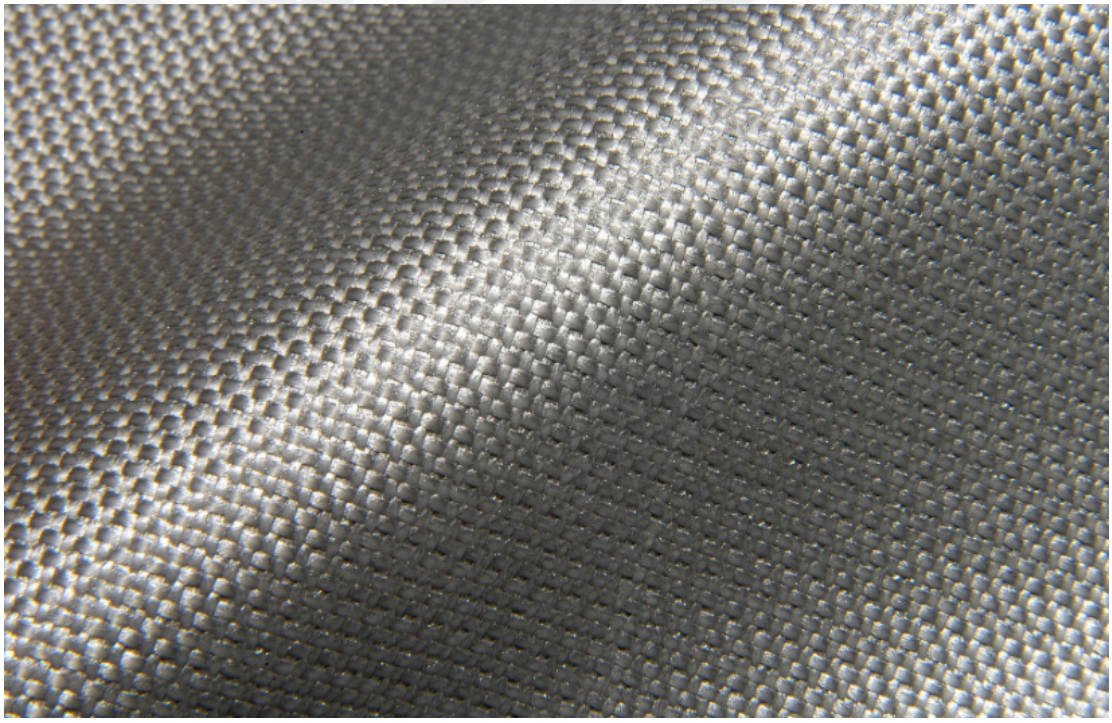
E-camı, mukavemet ve yüksek elektrik iletkenliğinin gerekli olduğu alanlarda kullanılır. Diğer fiberlere nazaran daha ucuzdur. Camfiber' in en yaygın olarak kullanılan tipidir. Genellikle camfiber dökümanları bu tip için hazırlanmaktadır [8].

S-camı, mukavemeti E-camına göre %40 daha büyüktür. Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini daha iyi koruyabilmektedir. Çok yüksek dayanım gereken yerlerde kullanılır [8].

Quartz fiber, düşük dielektrik özellikleri istenen anten, radar ve bunun gibi parçalarda kullanılır [8].

Karbon fiberler cam fiberlere göre çekme dayanımı, elastite modülü, ısıl iletkenlik, boyut kararlılığı, aşınma direnci, sürünme ve yorulma dayanımı gibi birçok alanda üstünlük sağlar. Cam fiberlere nazaran üç kat daha yüksek elastite modülüne sahip olan karbon fiberler sertliğin önemli olduğu parçalarda tercih edilirler [8].

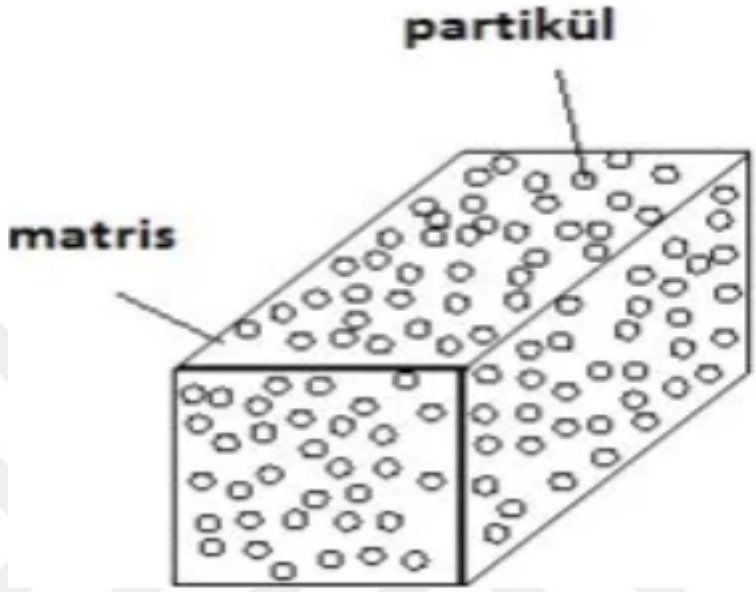
Polimer esaslı kompozitlerde genel olarak kullanılan tür cam elyaflardır. Farklı cam elyaf çeşitleri de mevcuttur. Fitil, kumaş, keçe ve lif gibi. Bunlardan en yaygın kullanılan ve tez numunemizde de kullanıdığımız kumaş tipidir. Bu elyafın mukavemeti yüksek olup çift yönlü takviye içinde elverişlidir. Bunların yanı sıra fiyatı da oldukça ucuzdur [15]. Kumaş cam elyaf örneği Şekil 1.2'de veriilmiştir.



Şekil 1.2. Kumaş cam elyaf parçası [16]

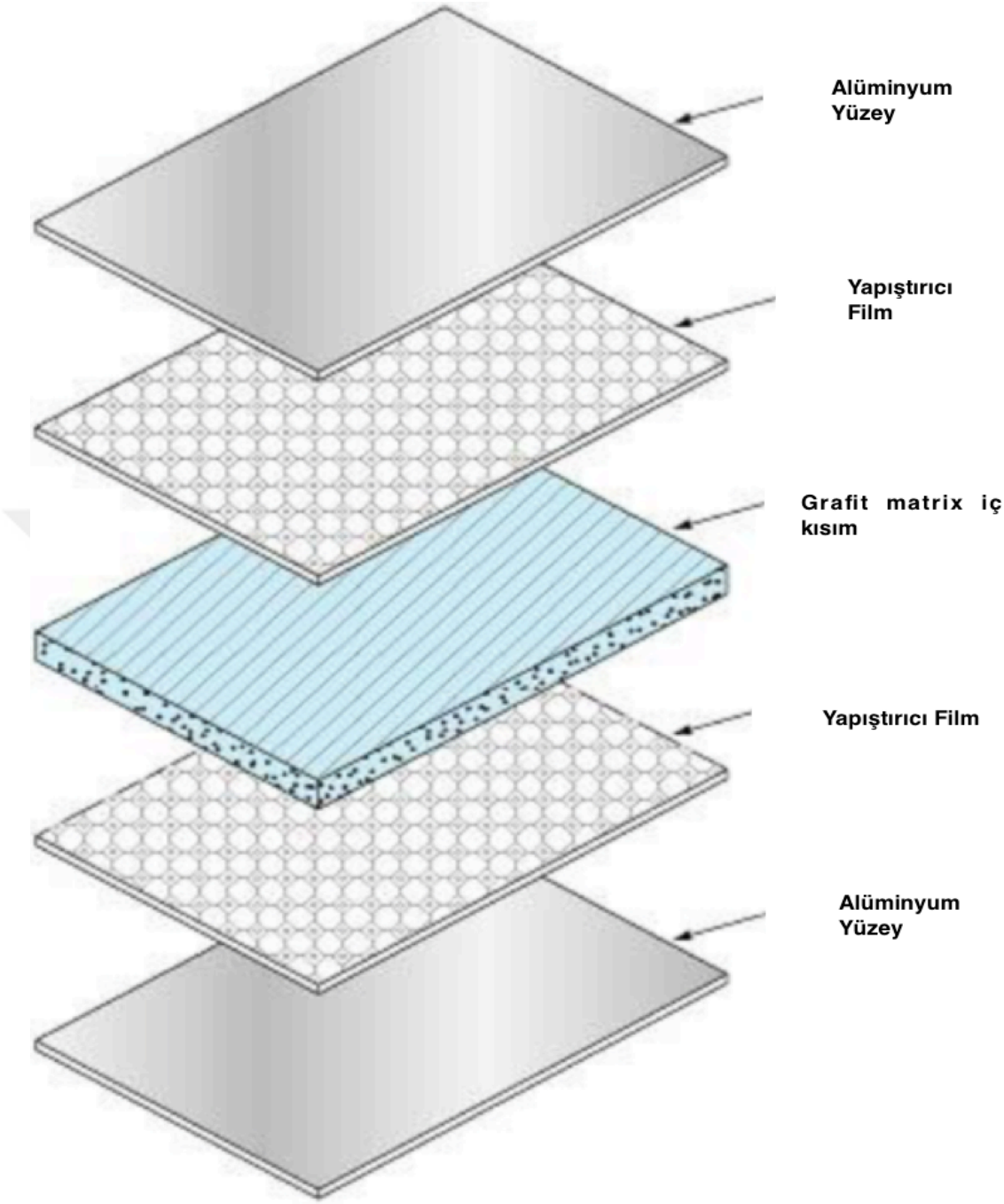
Karbon elyaflarda sivil ve askeri uçak yapılarında yaygın bir kullanıma sahiptir. Bunun sebebi, nemden etkilenmemeleri ve yüksek mukavemet değerleridir [17].

Partikül Takviyeli Kompozit, mukavemette artış sağlamak amacıyla küçük granül dolgu maddeleri ilavesiyle şekillendirilerek üretilir. Şekil 1.3'de partikül takviyeli kompozit malzemesinin iç yapısını gösteren bir kesit örneği görebiliriz.



Şekil 1.3. Partikül Takviyeli Kompozit Mazleme İç Yapı Kesiti [18]

Tabakalı Kompozit, bu kompozitler en az iki tabakadan oluşur. Bu tabakalar farklı ya da aynı tür malzemeler kullanılarak oluşturulabilir. Amaç, kullanılan tabakaların birbirlerinin özelliklerini olumlu yönde etkileyerek daha dayanıklı bir malzeme oluşturmaktır [19]. Tabakalama işlemiyle kompozit malzemelerin mukavemeti, rijitliği, korozyon direnci, aşınma direnci, termal izolasyonu iyileştirilir [8]. Şekil 1.4 'de bir tabakalı kompozit yapısını görebiliriz. Bu yapıda, alüminyum yüzeyler dışta olacak şekilde kullanılırken, iç matrix kısmında grafitli fiber kullanılmıştır. Ara bölmelerde ise yapışkan film ile birleştirilmişlerdir.



Şekil 1.4. Tabakalı Kompozit Yapı Örneği [20]

Dolgu takviyeli kompozit, birbiri içinde çözünmeyen ya da kimyasal reaksiyona girmeyen malzemeler, gözenekli yapılar arasına dolgu maddesi olarak yerleştirilirler [21] Şekil 1.5'te dolgu takviyeli kompozitin iç yapısının kesitini görebiliriz.



Şekil 1.5. Dolgu Takviyeli Kompozit Yapısının İç Kesiti [12]

Tezimizde kullandığımız kompozit malzeme numuleri sandwich yapıdadırlar. Bu yapılar balpeteği olarakta adlandırılır ve yüksek flex dayanımı ve eğilme dayanımı için düşük ağırlıklarda kombine edilirler. Özellikle havacılık ve askeri endüstride gelişen bir rol oynamaktadırlar. Bu yapının formunda, iki adet yüksek rijitlikte, ince tabakalar ile düşük yoğunlukta balpeteği çekirdek bulunur [22].

Ayrıca arzulanan değerlere göre çekirdek çeşidi ve malzeme kalınlığı değiştirilebilir. Özellikle de yüksek güç ve ağırlık oranı dengesini sağlamak için çeşitli tip çekirdek şekilleri ve malzemeleri de balpeteği yapısına uygulabilir.

Matris tipine göre kompozitler, kompozit malzemede elyafları belli bir yönelimde tutacak ve mukavemet sağlayan dolguya matris denir. Matrisler elastik ya da kırılgan yapıda olabilirler. Polimer matrisler kullanılırken ısı ve nem gibi etmenlere dikkat etmek gerekir. Polimer matrisler termoset ve termoplastik olarak ikiye ayrılır [8].

Termoset, ısı ve basınç altında şekil değiştikten sonra yeniden şekillenemeyen polimerlerdir. Plastik malzemeler en çok reçine diye adlandırılırlar. Kompozit malzemelerin imalatında en çok kullanılan termosetlerdir. Ekonomik, verimli ve gelişmiş mekanik özellikleri olan parçalar, termosetlerden kolaylıkla yapılırlar. Günümüzde deniz araçları yapımında, otomotiv sanayinde, inşaat sektöründe, depo, tank boru yapımında bilhassa ekonomik olması sebebiyle yaygın olarak kullanılırlar [8].

Termoplastik, ısı ve basınç altında plastik özelliklerini koruyan polimer yapılardır. Defalarca şekil vermek mümkündür. Molekül yapısı olarak yan zincirler ve gruplar ihtiva ederler. Moleküller elastomerlerde ve termosetlerde olduğu gibi üç boyutlu bir

yapı teşkil etmezler. Moleküller arasında zayıf Vander Wals bağı vardır. Bu nedenle rijit yapıya sahip değildirler. Isı altında yumuşarlar ve bu özelliklerinden faydalanarak ısıtılmak suretiyle şekillendirilirler. Bu şekil değişikliği esnasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Tekrar tekrar ısıtılarak yeni şekiller alabilirler [8]. Termoplastiklerin sıcaklık prametreleri Tablo 1.2' de verilmiştir.

Termoplastiklerin genel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Hem otomotiv sektöründe hem de uçak sanayisinde yaygın olarak kullanılan termoplastiklere, ısıl yumuşar reçineler de denir.
- Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşar, soğutulduklarında tekrar sertleşirler.
- Metallerin yaklaşık beş katı termal genleşme katsayısına sahiptirler.

Tablo 1.2. Bazı termoplastiklerin sıcaklık parametreleri [23]

Polimer	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
Polietilen	-70 / -60	105-130
Polipropilen	-20 / +5	160
Poli (metil metakrilat)	85 / 110	130-140
Polistiren	70 / 100	240
Poli (eter keton)	145	340
Poli (laktik asit)	50 / 80	170-180

- Özgül ısıları metallerin iki katı, seramiklerin dört katıdır.
- Termal iletkenlikleri ise metallerden 3 kat düşüktür.
- Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastikler, GMT (glass mat reinforced thermoplastics / preslenebilir takviyeli termoplastik) üretim tekniklerinde kullanılır [11].

Termoplastik malzemeler özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde yüksek sıcaklıklarda dahi yüksek performans düşük maliyet gibi gereksinimler için termoset kompozitlere oranla daha geniş yer almaktadır. Termoplastiklerin başlıca teknolojik avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

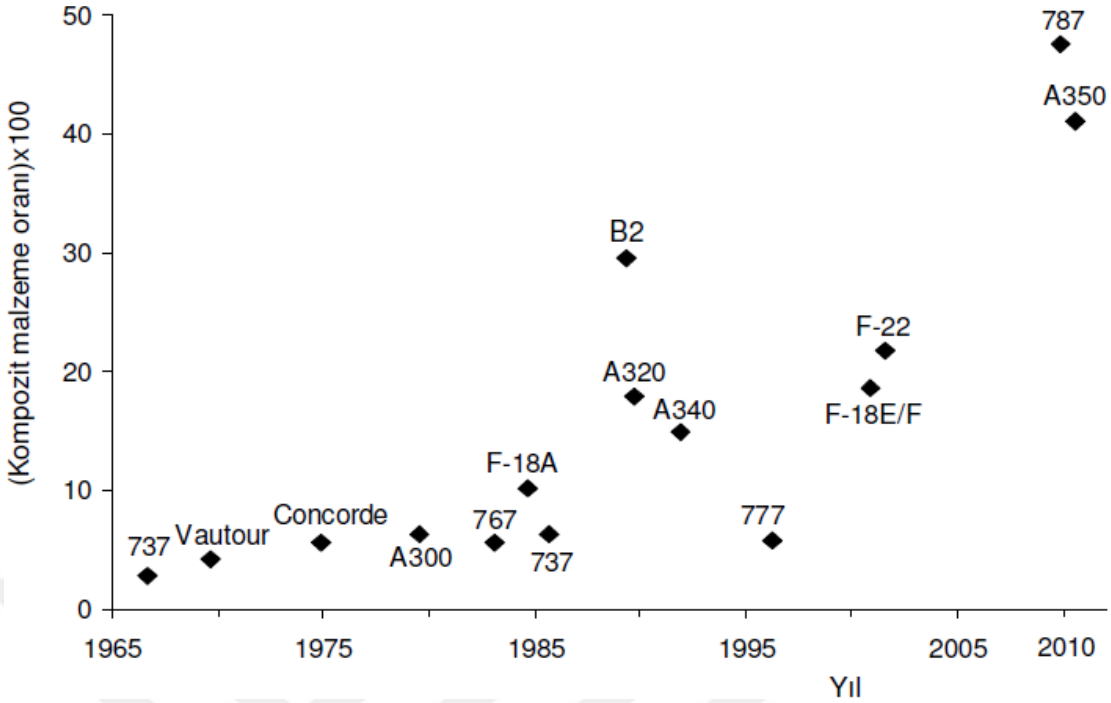
- ❖ Hammadde olarak raf ömürleri uzundur.
- ❖ Geri dönüşüm kabiliyetleri bulunmaktadır.
- ❖ Yüksek süneklik oranına (%1-500) sahiptirler.
- ❖ Termoplastik malzemeler, işlem sonrası tekrar ısıtılıp şekillendirilebilirler.
- ❖ Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastikler, soğutucu olmaksızın depolanabilirler.
- ❖ Sertleşmeleri için organik çözücülere ihtiyaç duyulmaz.
- ❖ Üstün kırılma toklukları nedeniyle darbe dayanımları yüksektir.
- ❖ Elektrik yalıtkanlık özellikleri çok iyidir.

Termoplastik esaslı malzemelerin dezavantajlarını da şu şekilde sıralayabiliriz:

- ▪ Çok düşük mukavemete, düşük sertliğe ve düşük rijitliğe sahiptirler.
- ▪ Bazı çeşitlerinin kompozit malzeme üretiminde matris olarak kullanılmaları zor ve maliyetleri yüksektir.
- ▪ Oda sıcaklığında işlenmeleri zordur.
- ▪ Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulur.
- ▪ Termoplastik hammaddeleri, termoset malzemelere göre daha pahalıdır.
- ▪ Oda sıcaklığında bile sünme (zamana bağlı şekil değişimi) olabilir.
- ▪ Bazı çeşitleri düşük ergime sıcaklığına sahiptirler [11].

1.5. Uçak Yapılarında Kompozit Malzemeler

1940'lı yıllarda küçük uçaklarda kullanılmaya başlayan elyaf takviyeli polimerik kompozit malzemelerin kullanım oranı sürekli bir artış göstermiş ve günümüzde geniş gövdeli uçaklarda yapısal ağırlığın %50 seviyesine ulaşmıştır. Şekil 1.6'da değişik uçak modelleri için yapısal parçalarda kompozit malzeme kullanım oranları görülmektedir [24].

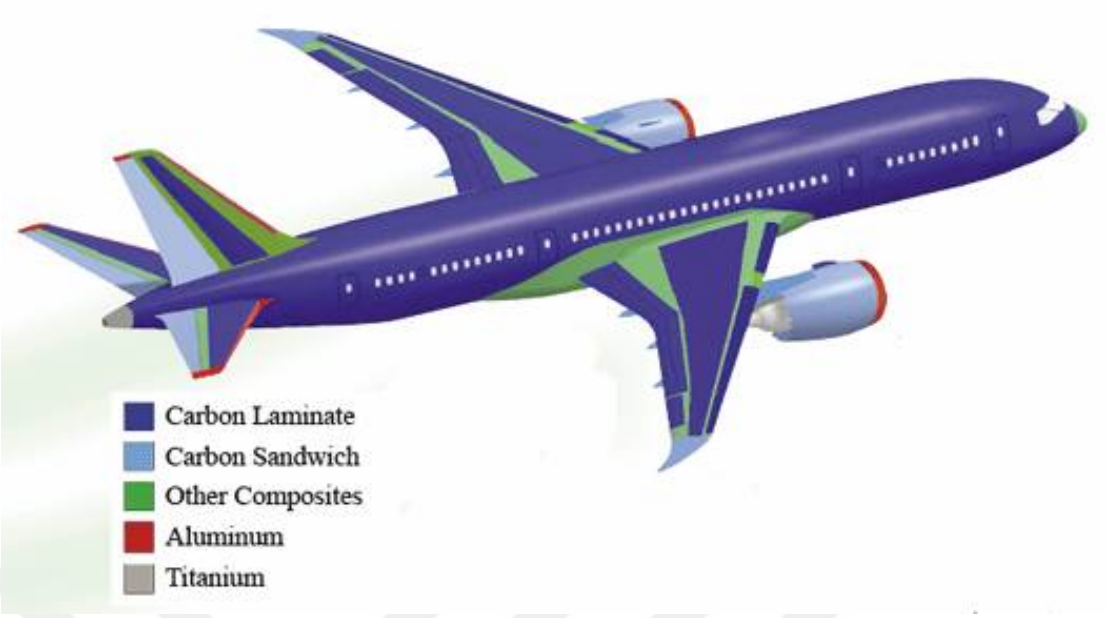


Şekil 1.6. Uçak yapısal parçalarında ileri kompozit malzeme kullanımı [24]

Teknolojide kompozit malzemeler, 1940'lı yıllarda uçaklarda kullanılması amacıyla geliştirilmeye başlanmıştır. Amaç çelik ve alüminyum alaşımları gibi basmakalıp malzemelerin yerine daha düşük ağırlıklı ancak daha mukavemetli ve daha yüksek aşınma dayanımı, kırılma tokluğu değerlerine sahip malzemelerin geliştirilmesiydi [24].

Özellikle ileri kompozit malzemeler havacılık sanayinde çok geniş kullanım alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerin hafifliklerine oranla üstün mekanik özellikleri uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekan değil yapısal parçalarının da polimer esaslı kompozitlerle üretilmesine sebep olmaktadır:

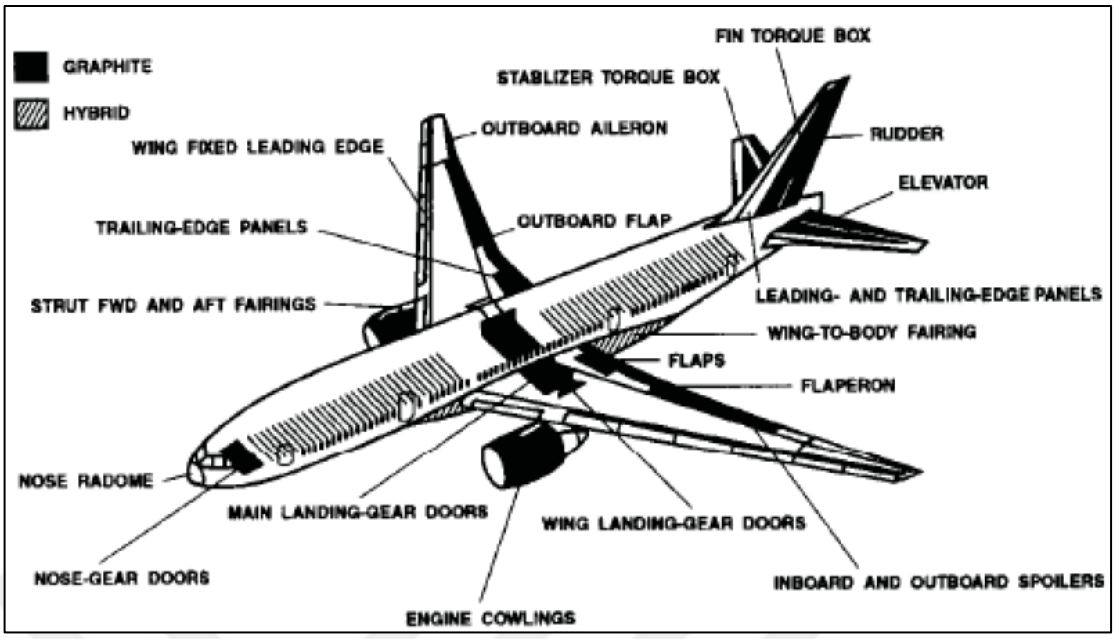
- B2 bombardıman uçağı gövde panelleri; karbon fiber ve epoksi
- B737 yolcu uçağının flap, rudder gibi uçuş kumanda yüzeyleri
- A320 yolcu uçağı radom bölgesi, quartz fiber
- A380 yolcu uçağı kanat panelleri ve flapları; karbon fiber ve epoksi
- A380 yolcu uçağı burun bölümü (radom); CTP (Cam takviyeli polyester)
- A380 yolcu uçağı dikey stabilizer; Aramid fiber ve epoksi [25-26]
- Günümüzde birçok yolcu uçağının gövde ve kanat panellerinde kompozit malzemeler kullanılır. Şekil 1.7' de uçak malzeme yapısı dağılımı görülmektedir [27].



Şekil 1.7. Uçaklarda kompozit malzeme dağılımı [27]

Airbus uçaklarında kompozit malzeme uygulamaları, A310, A300-600 modelleri ile başlamıştır. A310-300 için, önemli ana uçuş kumanda elemanları kompozit malzeme ile üretilen ilk uçak denebilir. Bu uçak tipine motor tedarik eden firmalar ise motor ağırlığından kazanmak için motor kapaklarında kompozit malzeme kullanımına yönelmişlerdir. Başlangıç prosedürlerinde alüminyum petek yapılı kompozit kullanımına rastlanmaktadır. Alüminyum petek yapı, alevin motorun çelik desteklerini etkilemesini önlemektedir. Uygulamanın ilk evrelerinde optimum dayanıklılık için karbon fiber kullanımı tercih edilmiştir [26].

Modern havayolları daha az ağırlıkta uçabilmek için büyük bir kısmı kompozit malzemelerden oluşan uçaklara yüksek miktarlar ödemektedirler. Boeing 777 yolcu uçağının ağırlığının yaklaşık %10'u kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Modern askeri uçakların yaklaşık 1/3'ünü kompozit malzemeler oluşturur. Şekil 1.8'de Boeing 777 uçağındaki kompozit malzeme yoğunluğu görülmektedir.



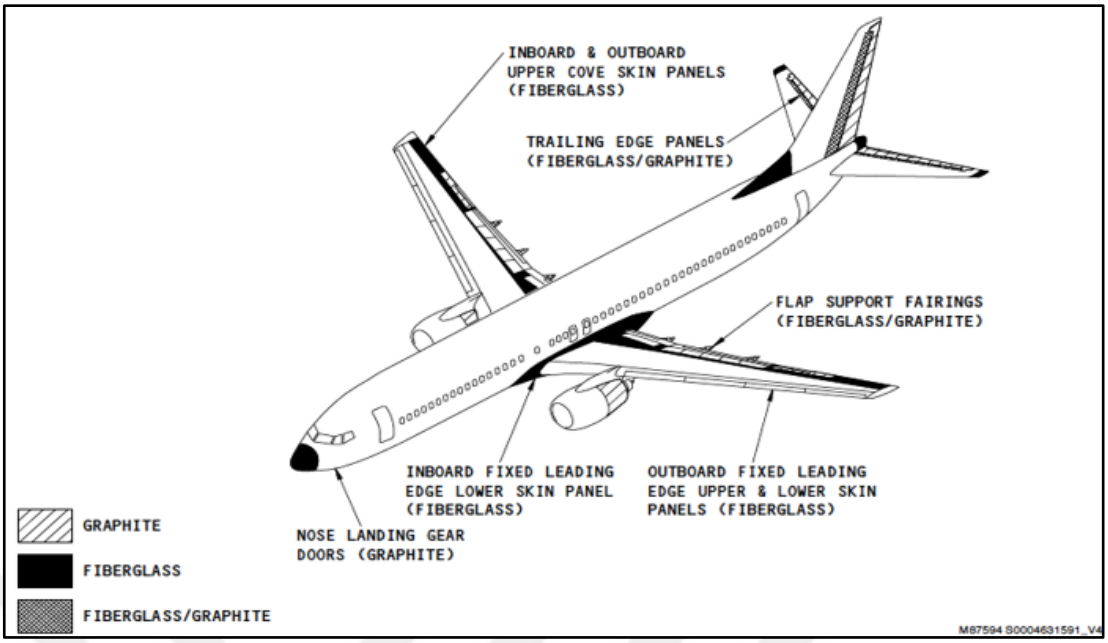
Şekil 1.8. Boeing 777 yolcu uçağında kompozit malzeme kullanım alanları [25]

Kompozit malzemelerin uygulama örneklerine göz atmaya devam edersek; F16'larda yatay ve dikey stabilizenin yanı sıra, kontrol yüzeyleri de karbon epoksidir. Boeing 757 ve 767'lerde; kontrol yüzeyleri karbon epoksi, motor kaportaları karbon/aramid epoksidir. Airbus A320 uçaklarında, spoilerlerde, aileronlarda, kuyruk kısımlarında ve silindirik motor kaportalarında karbon takviyeli kompozitler kullanılmıştır.

Kompozit malzemeler sağladığı özelliklerle ağırlık ve üretim maliyetleri yanında ikincil yapılarda korozyon koruma ve yorulma potansiyeli açısından çok iyidir.

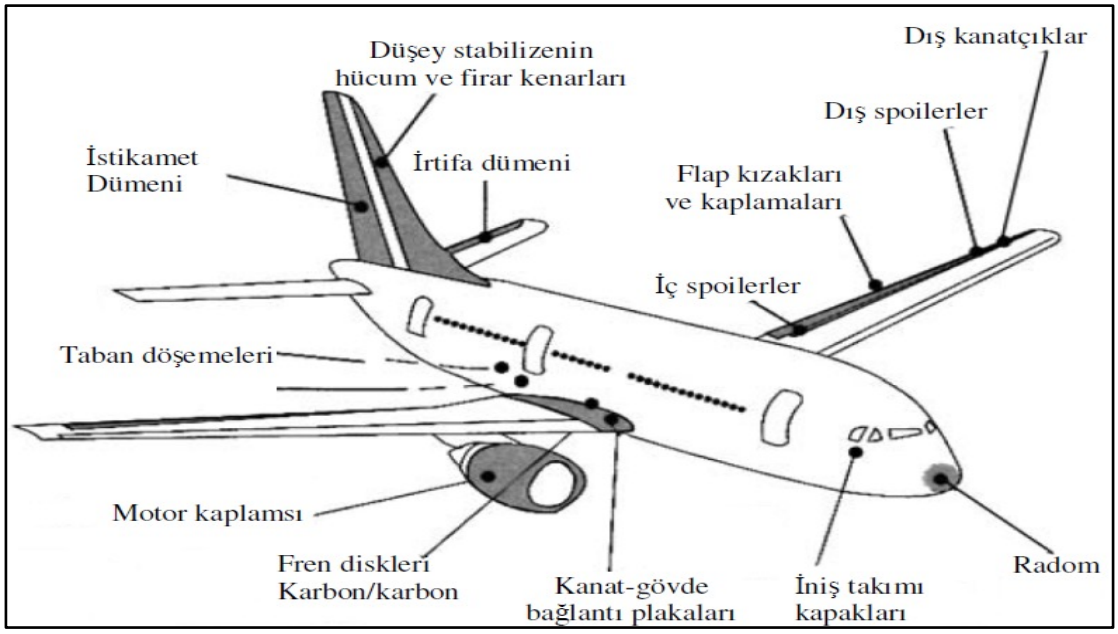
Kompozit malzemeler, gelişen teknoloji ve imalat yöntemlerine yönelik yapılacak çalışmalarla, gelecekte yüksek mukavemet elemanı olarak kullanılacak olan malzemelerin başında gelecektir. Bu çalışma sürecinde temel olarak ele alınacak üç tip özellik göze çarpacaktır. Bunlar, yoğunluk, yüzey düzgünlüğü ve ekonomikliktir. Yüksek sıcaklıklarda iyi performans sergileyen kompozitlerin gelişimi, yapısal düzgünlüğe sahip elyafların ve birbiri ile daha uyumlu çalışan matrislerin gelişimine paralel bir ilerleme kaydetmektedir.

Şekil 1.9'da Boeing 737-800 uçağında kullanılan kompozit kısımlar gösterilmiştir. Kullanılan bu kısımların alüminyum alaşımdan kompozite geçmesiyle yaklaşık 1100 kg kadar hafiflik sağlanmıştır. Böylelikle bir havayolu operatörünün maksimum gider kısmını oluşturan yakıt sarfiyatını azalmıştır [25].



Şekil 1.9. Boeing 737-800 uçağındaki kompozit kısımlar [25]

Şekil 1.10'da A320 uçağında kompozit malzemeden yapılan parçalar görülmektedir. A320 uçağında yapısal ağırlığın %13'ü kompozitten yapılarak 1400 kg ağırlık kazancı sağlanmıştır. Düşey stabilizede kompozit kullanılması, komponentte metal malzeme kullanımına göre birleştirme elemanı sayısını 20 kat azaltmıştır [28].



Şekil 1.10. Airbus A320 uçağında kullanılan kompozit malzemeler [28]

1.5.1. Radome malzemesinin kompozit yapısı

Uçak radom'u radar antenini korumak amaçlı hava geçirmez şekilde olması gereken uçak yapısal elemanıdır ve birçoğu camfiber yapıdadır. İdeal radom malzemesinin, radyo dalgaları radom kompozit gövdesinden geçerken herhangi bir güç kaybına uğramaması için elektromanyetik geçirgenliğinin yüksek olması gerekmektedir. Bunun yanında radom malzemesinin, aerodinamik yüklere ve kuş çarpması gibi yabancı madde hasarına dayanabilmesi için güçlü olması gerekmektedir. Şekil 1.11'de Türkiye hava sahası içinde uçan bir uçağın radomunda meydana gelen kuş çarpması hasarını görebiliriz.



Şekil 1.11. Boeing 737-800 uçağının radom kısmında oluşan kuş çarpması hasarı

Radomun belli dış yüklere dayanabiliyor olmasının yanında, belirli frenkansta iletilen ve ya alınan radyo dalgalarını yapısından saydam olarak geçiriyor olması gerekmektedir. Ticari hava trafiğinin artması sonucunda, uçak radar sistemleri daha karmaşık bir hale gelmiş ve uçaklar farklı frekanslarda daha fazla uçağı tespit edebilir şekilde dizayn edilmeye başlanmıştır. Uçuş sırasında, askeri bir uçak on beşten fazla antenle arayacak şekilde hava durumu algılama, yer iletişimi, sat com, hedef önleyici podlar, hedef toplama, yangın kontrolü, yer imgesi ve yükseklik izleme gibi sistemler kullanırlar. Anten sistemlerinin gittikçe ilerlemesi radomda karmaşıklığı yol açar. Bu olumsuzluklar, düşük dielektirik katsayısına sahip quartz fiberle ile çözülmektedir. Sinyalin solması veya kaybolması, ya sinyalin yüzeyinden yansıyarak meydana gelmesiyle veya matrisin ısınması yoluyla meydana gelir. Dielektrik katsayısı (Dk) bir radomun iletim verimliliğini belirtir. Bu katsayının azaltılması yani anten sistemlerinin düşük güçte olması, radomun aneten üzerindeki etkisi o kadar küçüktür [29]. Tablo 1.3'te ve 1.4'de radomda kullanılan bazı malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.3. Radomda kullanılan malzemelerin özellikleri [29]

	Siyanat Ester Quartz Kumaş	Düşük Dielectric Epoksili Quartz Kumaş	Düşük Dielectric Epoksili Cam Kumaş
Elektirik Performansı	En iyi	Çok iyi	İyi
Dielektirik Katsayısı	3,2 – 3,35	3,4 – 3,8	4,5 - …
Tanjant Kaybı	0,001 – 0,009	0,009 – 0,011	0,011 - …
Lamine Darbe Mukavemeti	Çok iyi	Çok iyi	İyi
Sıcaklık Performansı	135°-204°C	121°-204°C	121°-204°C
Lamine Nem Tutuculuğu	0,1 – 0,6%	0,6 – 0,8%	1,2 – 1,6%

Tablo 1.4. Radomda kullanılan malzemelerin dielektrik özellikleri [30]

	Dk (10 GHz)	Df (10 GHz)	Özgül ağırlık (g/cc)	Nem tutuculuğu (%)	Çalışma Sıcaklığı
E-cam	6,10	0,004	2,55	0	371 ºC
S-cam	5,21	0,006	2,49	0	398 ºC
Quartz	3,78	0,0002	2,20	0	>537 ºC
Aramid	3,85	0,008	1,47	1,9%	176 ºC

Cam fiberler ile kıyaslandığında, quartz fiberler termal özelliklerde farklılık gösterir. Quartz çok düşük doğrusal termal genleşme katsayılarına sahiptir, 1095 ° C'ye (2000 ° F) kadar ısıtılabilir ve zarar görmeden suya daldırılabilir. Yine kıyaslama yapıldığı zaman quartz lifleri arasındaki fark maliyet ve mukavemettir. Oldukça nadir bulunan, quartz elyafları için gerekli olan yüksek kaliteli quartz esas olarak Brezilya'da üretilmektedir [30].

Bundan dolayı, yüksek bant genişliğinde iletim yapabilen radomlarda quartz kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu hedefin gerçekleştirilmesi için, yani bant genişliğini arttırabilmek için radomun yapısına birkaç özel malzeme takviyesi yapılmıştır. Radom bant genişlik kapasitesi, her katmanda kullanılan malzemenin dielektrik katsayısı, her katmanın kalınlığı ve kaç adet katman kullanıldığı gibi parametrelere bağlıdır. Şekil 1.12'de Boeing 737-800 uçağının radom bölmesi açıldığında, altında yer alan radar ve aletli iniş sistemi elemanlarından bir kaçı görülmektedir.



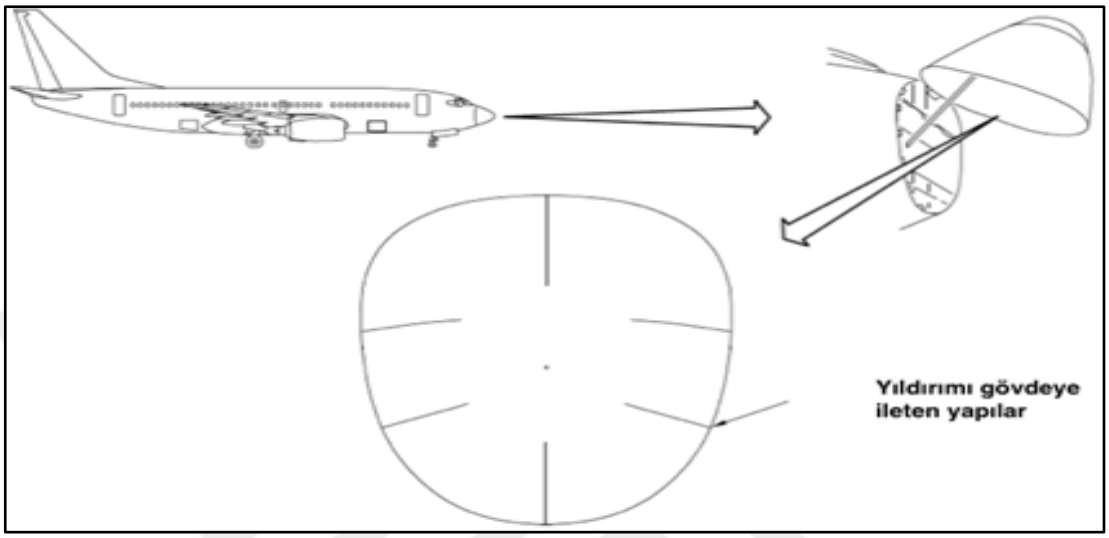
Şekil 1.12. Boeing 737-800 uçağıda radom ve iç kısmındaki radar antenleri

Airbus firması üretilen radom yapısının önemine daha fazla önem göstermektedir. Radom yapısı içinde bulunan, antenler ve radar basınçsız bölge diye tabir edilen yerdedir. Monte edildikleri yapının arka kısmı ise basınçlı bölge olarak ifade edilir. Eğer ki basıncı tutan sınır noktalardan birinde hasar oluşursa uçak uçamayacak konuma gelir. Bu yüzden Airbus firması radomun altına ön basınçlı bölge sınırını kompozit balpeteği paneller kullanarak kapatmıştır. Şekil 1.13'de Airbus radom malzeme içerisinde basınçlı bölgeyi koruyan balpeteği yapısı verilmiştir.



Şekil 1.13. Airbus radom malzeme içerisinde basınçlı bölgeyi koruyan balpeteği yapısı [31]

Bilindiği üzere uçak yapısı yarı-monokok yapıda olup, faraday kafesi yapısındadır. Yani üzerine gelen enerjiyi dışarı atar. Radom bölgesinde de bu işlemleri lighting diverter adı verilen yapı elemanları sağlar [32]. Bu elemanlar Şekil 1.14'de gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Radom yıldırım çarpmasıyla oluşan enerjiyi gövdeye ileten yapılar [32]

Yukarıda belirtildiği gibi yıldırım çarpmasıyla oluşan çok yüksek enerji uçak üzerinde seyir ederken, bulabildiği ilk noktadan uçağı terketmek ister. Radom bölgesinde bulunan lighting diverter yapıları gövdeye bu enerjiyi aktaramazsa, uçakta ve radom bölgesinde hasarlar oluşabilir. Şekil 1.15'de bu hasar tipine örnek bir resim gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Boeing 737-800 uçağının radom kısmında oluşan yıldırım hasarı

Radomun, elektromanyetik özellikleri, fiziksel özellikleri, kalınlık, ısıl denge ve yağmur erozyon direnci gibi mekanik özellikleri gereği sıkı ve zorlayıcı gereklilikleri vardır. Bu yüzden radom son derece eşsiz organik kompozit malzemelerden imal edilir. Bu kombinasyonlara örnek olarak; Eglass/epoksi, Eglass/polyester, kevlar/polyester ve quartz/epoksi verilebilir. Kullanılan bu ileri düzey kompozit malzemeler sayesinde radar anteninden maksimum verim elde edilebilir.

Birçok uçak tipinde camfiber balpeteği malzemeler radom yapısı için kullanılmıştır. Ancak uçağın en çok hasar alabilecek bölgesi olması sebebiyle, havayolu operatörleri, tamir prosedürleri daha geniş olabilecek yeni malzeme arayışına üreticileri itmişlerdir. Bu sebeple yeni nesil A320 uçaklarında radom üretimi için quartz fiber malzeme kullanılır. Quartz fiber malzeme, düşük ısıl genleşme katsayısına, düşük ısıl iletime ve mükemmel dielektrik özelliklere sahiptir. Bundan dolayı, quartz fiber malzeme özellikle dalga geçirgenliği açısından önem taşıyan kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılır. Radom duvarları genel olarak iki ince kompozit katmanın kalın köpük ve ya balpeteği katmanlar ile ayrılmasıyla oluşur [26].

1.6. Uçak Yapılarında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Hasar Türleri

Endüstriyel alanda kullanılan kompozit malzemeler imalattan kaynaklı eksiklikler, dış etkenler ve yapıda oluşan sorunlar sebebiyle çeşitli hasar türlerine maruz kalmaktadırlar.

1.6.1 Darbe hasarı

Cam, karbon, aramid ve quartz gibi kompozit malzemeler artan teknoloji uygulamaları ile kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Bunun sebebi alüminyum ve çelik gibi malzemelere kıyasla, yüksek özgül dayanıma, yüksek korozyon dayanımı, yüksek mukavemet değerleri ve yorulmaya karşı yüksek direnç olarak gösterilebilir. Ayrıca ağırlığın çok önemli olduğu havacılık uygulamalarında da kompozit malzemelerin kullanımın artmasına sebep olmaktadır (Eren, 2007). Kompozit malzemelerin olay anında darbeye karşı verdikleri tepkiler ve darbe ucunun kinetik enerjisini uzaklaştırma biçimi metallerden çok farklıdır. Düşük ve

orta seviye darbe enerjilerinde metaller enerji sönümlemesini elastik ve plastik deformasyona uğrayarak gerçekleştirirler [14].

Yüksek darbe enerjilerinde kullanılan malzemede delinme gerçekleşebilir ve darbe ucunun geçişi genellikle yapraklanma ve çatlama ile sonuçlanır. Bu tür hasarlar malzemenin yük taşıma kapasitesini azaltır [9].

Önceki yıllarda kompozit yüzeylere uygulanan darbe hasaları ile alakalı bir çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan en detaylısını mekanik ve dinamik darbe hasarını inceleyen Abrate yapmıştır [33].

Thanomslip ve Hogg ise hibrid kompozit malzemenin darbe hasarı dayanımın penetration altında incelemiştir ve termoplastik kompozitteki plastik deformasyonun ana sebebi olarak hibrit kompozit malzemedeki enerji emiliminin gelişimi olarak göstermişlerdir [34].

Sadasiam ve Maliick E-cam uygulanmış matrix kompozit malzemelere düşük enerji darbe karekterlerini incelemişlerdir [35].

Naik ise carbon hibrid kompozitin darbe davranışını ve bu darbeden sonraki halini karşılaştırmıştır. Onlarda hibrid kompozitlerin, sadece karbon yada cam fiber kompozitlere göre daha az zarara uğradığını görmüşlerdir [36].

Aslan ise uygulanan darbe hızının etkisini ölçmek için bir çok deney yapmıştır. O da temas zamanı azaltıldığında, kompozitin kalınlığına bağlı olarak dayanacağı darbe zirve değerinin yükselmesini görmüştür [37].

1.6.2. Aşınma hasarı

Aşınma kısa olarak malzemelerin yüzeyinde mekanik bir etki sonucu oluşan malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. Katı partikül erozyonunda, malzeme yüzeyine farklı açı ve hızlarda çarpan partiküller yüzeyde malzeme kaybı oluşturur [38].

Aşınmanın havacılık tarihine ve gelişimine bakarsak, bir çok aşınma olayının uçuş sırasında meydana geldiğini görebiliriz. Ayrıca geçmişteki problemleri baz alarak gelecekte bu aşınma problemlerinden nasıl kurtulabileceğimizi çözümleyebiliriz.

Yüksek hızlı uçaklarda genel olarak 3 ana aşınma tipi meydana gelir. Sıvı nüfuzlu aşınma, katı cisim aşınması ve bunların kombinasyonu ile oluşan aşınmadır. Sıvı etkisinin yarattığı aşınma, farklı ebatlardaki yağmur taneciklerin kompozit yüzeye çarpmasıyla oluşur. Katı parçaların oluşturduğu aşınma, daha değişik aşınma şekli olup, dolu ve buz gibi etkenlerin kompozit yüzeye çarpmasıyla oluşur. Aynı zamanda çöl çevresinde uçan uçaklarda ve ya kalkış anında, zeminden gelen toz ve kumlar da katı malzemelerin sebep olduğu aşınmalardan sayılabilir [39].

Sıvı ve katı malzemenin kombine olarak sebep olduğu aşınmalar pek görülmese de, bu aşınma şekli de kısa periyotlarda meydana gelmektedir [40].

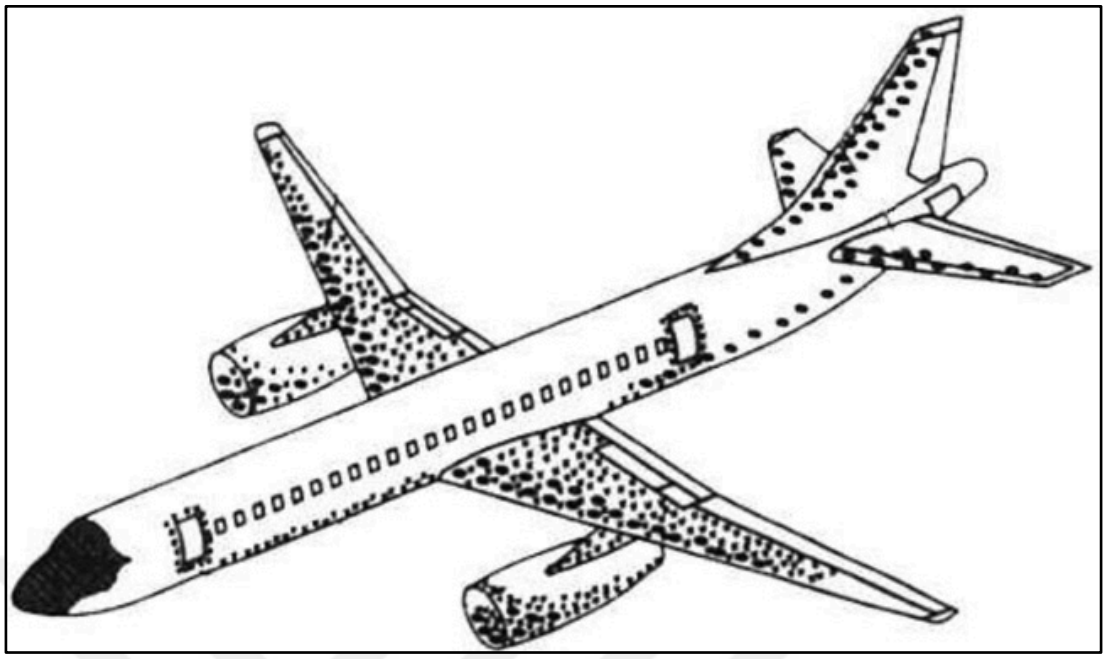
Uçağın yapısal parçaları uçuş anından aşınmadan daha hasar verici ve tamiri daha zor etkenlerle karşılaşabilir. Bunların arasında malzeme yorgunluğu, korozyon ve malzeme yırtılması gibi hasarlar olabilir. Bu gibi hasarların etkisi daha büyük olsa bile, bu aşınma da üzerinde durulması gereken bir malzeme hasar şeklidir [40].

1.7. Havacılıkta Aşınma Hasarları

Hava aracı atmosferde seyir halindeyken motorları, özellikle de radom ve hücüm yüzeyleri birçok farklı partikülün etkisinde kalırlar. Bunlar yağmur tanesi, dolu, kum ve toz olabilir. Bunlarla beraber birçok bölgede kuş çarpması veya böcek çarpması gibi etkilerle de karşılaşabilir. Bu darbeler uçak malzeme yüzeyine çarpan cismin hızına ve ebatına, uçağın uçtuğu yüksekliğe ve darbe alan bölgenin lokasyonu gibi etkenlere bağlı olarak farklı ebatlarda hasar oluşturur.

Yabancı malzeme hasarı, yani kuş veya böcek çarpması gibi etkiler üzerinde bir çok araştırma yapılırken, aslında atmosferik olayların, özellikle kum ve yağmur aşınmasının oluşturduğu hasarların daha önemli olduğu anlaşılmıştır. Hava aracının yapısal malzeme ömrü bu etkenlere bağlı olarak değişmektedir [41].

Uçuş sırasında uçağın havayla temas eden ilk bölgeleri, hücum kenarları gibi bölgeler, hasar oluşumunun daha fazla olduğu bölgelerdir. Bu bölgeler ticari bir uçak için Şekil 1.16’ te gösterilmiştir [42].



Şekil 1.16. Ticari bir uçak üzerindeki hasarların bölgesel dağılımı [42]

Büyük noktalar orta hızlarda meydana gelen hasarları göstermektedir. Küçük noktalar düşük hızlarda meydana gelen hasar bölgelerini gösterirken, taralı bölge ise yüksek hızda oluşan hasarların sıklıkla hangi bölgelerde meydana geldiğini göstermektedir [43].

Şekil 1.16' da görülmüştür ki; uçağın uçtuğu bölge yağmura maruz kaldığı zaman ve hızıda önemli olmakla beraber, hücüm kenarları daha fazla aşınmaya maruz kalmıştır.

Boeing ticari havaaracı şirketi radom ve hücüm kenarları bölgesini özel bir koruyucu ile kaplamak için birçok test yapmıştır. Çünkü aşınmalar hem ekip için zorluk çıkarır hem de ekonomikliği bozmaktadır [44].

Havacılık endüstrisinin hızla gelişmesiyle turbo makinelerde ve dönen cisimlerde aşınma etkisi sorunu çözüm üretilmeye değer hale gelmiştir. Gaz türbinlü motor pallerinde meydana gelen katı cisim ve diğer parçacık aşınmaları ciddi sorunlara sebep olup, motorun servis ömrünün azaltmıştır. Böylelikle fan etkisi azalmış, pal ömrü azalmış ve motor çalışma performansı düşmüştür [40].

Büyük partiküllerin motorun içine girmesini önlemek için birçok filtre ve ayırıcılar kullanılmıştır. Ancak kum, buz gibi küçük partiküller türbin palleri yüzeylerinde

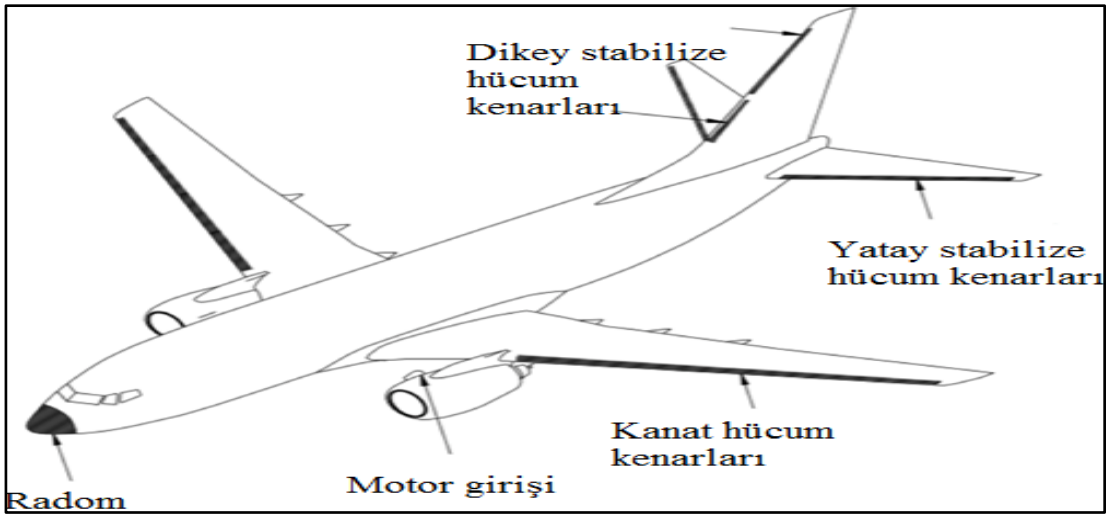
aşınmaya sebep olmaktadır. Pallerin genellikle hücum ve firar kenarlarında hasara sebep olup, pal kalınlığını azalmasına da yol açmaktadırlar. Bu hasar, operasyonun güvenilirliğini de azaltmaktadır [45].

Aksiyel akışlı kompresörler ve türbinlerde meydana gelen aşınmaları, partiküllerin ebatı ve yoğunluğuna bağlı olarak değiştiğini ilk olarak Hussein ve Tabakoff incelemiş ve hesaplamaları 3 boyutlu olarak ortaya koymuşlardır [46].

1.7.1. Uçuş koşullarında hava araçlarının maruz kaldığı aşınma hasarları ve tarihçesi

Yüksek hızlarda uçan ticari veya askeri uçakların, değişen hava ve uçuş koşullarına uyum sağlayabilecek malzemelere sahip olması gereklidir. Hava koşullarının oluşturduğu yağmur, dolu, buz, kum, toz ve volkanik kül gibi etkenler uçakların yapısında hasarlara sebep olur. Bu hasarlar da malzemenin yapısal ömrüne olumsuz etki etmektedir.

Yağmur, kum, volkanik kül ve diğer atmosferik koşulların oluşturduğu hava aracı üzerindeki aşındırıcı etki, havacılığın ilk yıllarından beri gözlemlenmektedir. Aşınmanın malzeme üzerinde maruz kaldığı etkiyi gözlemlemek için birçok uygulama da denenmiştir [47]. Şekil 1.17'de Boeing 737-800 uçağının hangi kısımlarının sıklıkla aşınmaya maruz kaldığı gösterilmiştir [25].



Şekil 1.17. Boeing 737-800 uçağında sıklıkla aşınma problemleri yaşanan bölgeler [25]

Şekil 1.17'de görüldüğü üzere uçakta en çok aşınma problemine maruz kalan bölgeler; radom bölgesi, motor üzerindeki vortex kontrol aleti, kanat hücum kenarları, yatay stabilize hücum kenarları, dikey stabilize hücum kenarı ve HF anten kısmıdır.

Bu çalışmada amacımız, uçak yapısının, özellikle radom kısmının, aşınmanın etkisine nasıl maruz kaldığı ve bu aşınmanın malzeme üzerindeki yıpranma ve kaybının belirlenmesi yönündedir. Özellikle uçağın radom bölgesine çarpan yağmur damlaları ve katı parçacıklar malzeme yapısının karekteristiği açısından oldukça önemlidir. Bu etkinin şiddeti birkaç parametreye bağlı olarak değişebilir. Bunlar; aşınmaya maruz kalınan zaman, aşınma tipi ve aşınmaya sebep olan malzemenin etki hızı olarak sıralanabilir. Bu aşınma etkisi subsonik, süpersonik ve hipersonik gibi değişik hız aralıklarında oluşabilir [40].

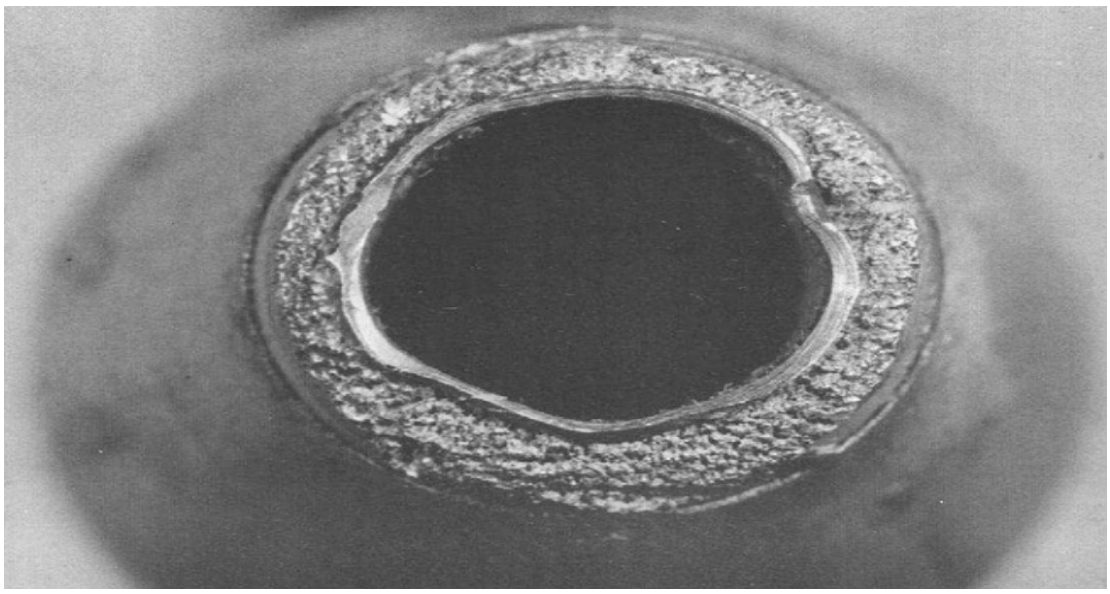
Aşınma, tarihten günümüze kadar gelen süre boyunca birçok malzemede birden fazla araştırmaya neden olan, fenomen bir konu olmuştur. İlk başlarda özellikle yağmurdan meydana gelen aşınmalar, yerde laboratuvar şartlarından incelenirken, zamanla bir çok farklı uçak tipinde uçuş şartlarında da incelenmeye başlanmıştır. Bu aşınma testlerinden ilkine 2. Dünya savaşı sırasında B-29 tipi bomba uçağının 1944 yılında Pasifik Okyanusu üzerinde yaptığı uçuşta rastlanmıştır. B-29 bomba uçağının hız limiti yaklaşık olarak 0.60 Mach civarındadır. Orta hızlı yağış şartlarında, uçağın çeşitli bölgelerinde, özellikle hücum kenarı ve radom kısımlarında, birçok aşınma testleri yapılmıştır. Malzeme üzerindeki yağmur aşınmasına bağlı koruyucu yüzey dayanımı aşınması ve malzemenin kendinde meydana gelen aşınma değerleri Wright–Patterson Development Center's Materials laboratuvarlarında (Ohio) ciddi uçuş testleri sonrası incelenmiştir. Genel olarak, maruz kalan malzemenin tamamen hasarlanmadığı ancak tamir görecek düzeyde yağmur aşınmasına uğradığı görülmüştür [48].

1947'de yapılan ilk süpersonik uçuş sonrası bilim adamları ve araştırmacılar daha kompleks incelemelerde bulunmaları gerektiğini anlamışlardır. Bunların arasından aerodimanik yüzeyin maruz kaldığı yükler, malzeme yorgunluğu, sonic ses hataları, yağmur damlalarının etkisi ve daha birçok yüksek hızlı uçuşla alakalı parametreler vardır.

1959 yılında ise havaaracı araştırma ve geliştirme merkezinin (Aircraft Research and Development Unit (ARDU) yaptığı bir uçak yağmurdan dolayı hasarlanmıştır. Başta radom bölgesi olmak üzere uçağın bir çok bölgesi yapısal hasar uğramıştır. Hasar olduğu sırada uçak 5000 ft ve yaklaşık 0.76 Mach hızlarında seyir etmektedir [40].

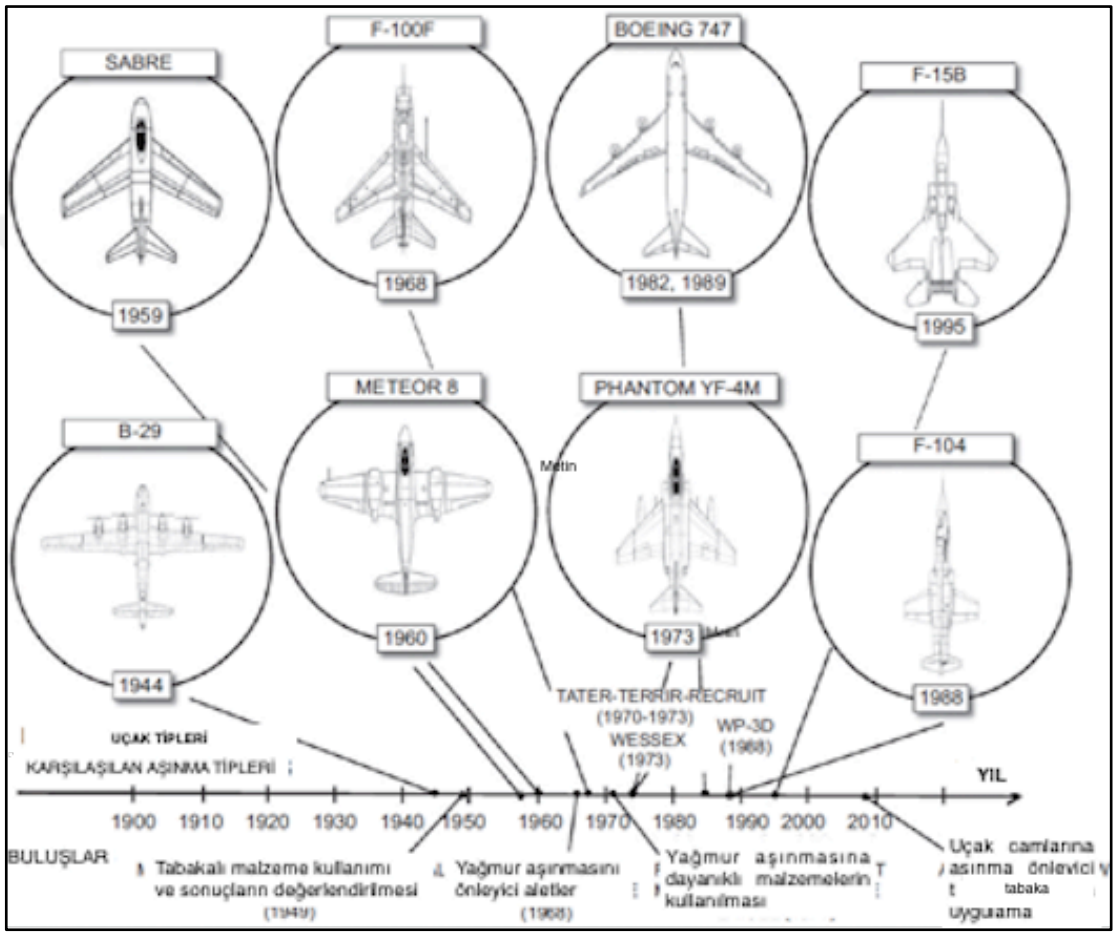
1968 yılında ise yağmurdan kaynaklı aşınmaları detaylı şekilde incelemek için, F-100F uçağının yatay stabilize, dikey stabilize, radom bölgesi ve hücum kenarları 15 kadar farklı korucuyucu malzeme kullanılarak test edilmiştir. Bu testler Project Rough Rider programı ile gerçekleştirilmiş olup, toplamda 440 dakika ve 160 uçuş yağmur ve fırtına şartlarında incelenmiştir [40].

Belki de yağmur aşınmasının etkileri hakkındaki en geniş araştırma 1975 yılında, ticari uçak olan Concorde üzerinde yapılmıştır. Concorde uçağı geçmiş uçakların aksine, yağmur aşınmasının malzeme üzerindeki etkisini süpersonik şartlarda, değişik tekniklerde incelendiği uçak olmuştur. Kısa sürede yapılan testler: whirling arms, rocket sled and flight tests olmuştur. Radom kısmında boyanın tamamen kalkması ve malzemeye su nufuzu gibi hasarlar tespit edilmiştir. Radom kısmı dışında ise kokpit camı ve iniş takımı gibi ksımlarla beraber pitot tüpü çevresinde de ciddi hasarlara rastlanmıştır. Boeing 747 içinde hemen hemen benzer hasarlara rastlanmıştır. Şekil 1.18'deki hasar Alaska yakınlarında 1989 yılında son yaklaşma sırasında gerçekleşmiştir [49].



Şekil 1.18. Phantom YF-4 uçağı motor by-pass pitot tüpü girişindeki aşınma hasarı [49]

Yağmurdan kaynaklanan beklenmedik bu aşınma karşısında US askeri birlikleri de bu aşınmadan hava araçlarını korumak için çeşitli korucu malzemeleri radom ve hücum kenarı bölgelerinde kullanmışlardır. Hatta F-14 ve F-16 uçağında çalışmalar hala sürmektedir [40]. Şekil 1.19'da geçmişten günümüze kadar uzanan bazı uçak modellerindeki aşınma önleyici önlemler gösterilmiştir.



Şekil 1.19. Çeşitli uçak tiplerinde uçuş esnasında karşılaşılan aşınmanın zaman çizelgesi [40]

1.7.2. Hava araçlarında oluşan aşınma tipleri

Hava aracı üzerindeki malzemelerde oluşabilecek aşınma oranlarına etki eden faktörler oldukça fazladır. Bunlardan asıl öneme sahip olanları: çarpma hızı, temas açısı, çarpan malzeme cinsi veya malzemenin karekteristiği olabilir. Özellikle aşınmadan kaynaklı motor, kompresör ve pal hasarları için, içeri giren malzemenin ebatı da büyük önem taşımaktadır [40].

Aşınma genellikle seçilen malzemenin şekline, cinsine ve komponentteki geometrisine bağlı olur. Yağmur ve kum aşınması dikkatli bir şekilde incelendiğinde, malzemedeki güç kaybı, yorgunluk ve kaplama hasarlarına hangi aşınma tipinin etki ettiğini veya hangisinin kombine olarak etkilendiği anlaşılabilir.

Aşınma askeri uçaklarda ve sivil uçaklarda çok kapsamlı incelenmelidir [49]. Askeri uçaklar sivil uçaklara göre çok daha fazla hıza ulaştıkları için biraz daha detaylı incelenmelidirler. Aşınma karekteristiklerini gösteren birçok malzeme üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Özellikle Boeing komitesi yağmur aşınması ve buzlanma testleri için hücum kenarlarına kaplama yapılmasını düşünmüştür [44].

Sıvı ve yağmur aşınması konusunda, malzeme yüzeyindeki sıvı aşınmasını ilk olarak Honegger 1924 ile 1927 yılları arasında incelemiştir [40]. Bu incelemeyi malzeme yüzeyine saniyede 200 m/sn hızla düşen yağmur tanesinin yarattığı aşınma olarak incelemiştir. İnceleme sonucu olarak, buhar türbini yüzeyine etki eden nem sebebiyle malzemede zorda olsa görülebilen bir hasar oluşmuştur. Honegger'in araştırması sonrasında sıvıların aşınmaya etkisi üzerine bir kaç daha araştırma yapılmıştır. Ama ikinci dünya savaşı sonrasında aşınma üzerine yapılan araştırmalar daha disiplinli bir şekil almıştır. Araştırmalarda kullanılan parametrelere yağmur yoğunluğu, dikey veya yatay doğrultusu, yağmur taneciği ebatı gibi faktörler eklenmiştir. Tüm bu faktörler düşen yağmur damlasına etki ettiği gibi bu faktörlerin yılın hangi zamanında ve hangi bölgede meydana geldiğide önemlidir. Bu değerlerin ortalama verileri sivil havacılık için incelenirken, çok daha yüksek hızlara maruz kalan askeri hava araçları uygulamaları için anlık yağış değerlerinin etkileri incelemeye alınmıştır [50].

Tüm bunlardan sonra çıkan varsayım, bulutların aşınma üzerindeki etkisinin oldukça yüksek olduğudur. Genel olarak iki çeşit bulut tipi vardır: yağışlı bulutlar ve yağış taşımayan bulutlar. Bunlar arasından yağış taşıyan bulutlar genelde daha yaygın olup, genel bir uçuş sürecinden hava aracının maruz kaldığı yağış yoğunluk verileri Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

Tablo 1.5. Farklı yağmur tiplerinde yağmur yoğunluğu [50]

Yağmur Tipi	Yağmur Yoğunluğu(mmh^{-})	Dikey Uzanım(km)	Yatay Uzanım(km)
Çise veya hafif yağmur	0-2,5	500-1500	300
Orta dereceli ve yüksek yağmur	2,5-10	250	250
Tropikal yağmur	10-25	150-500	15
Fırtınalı sağnak yağmur	25-100	15-30	15-30

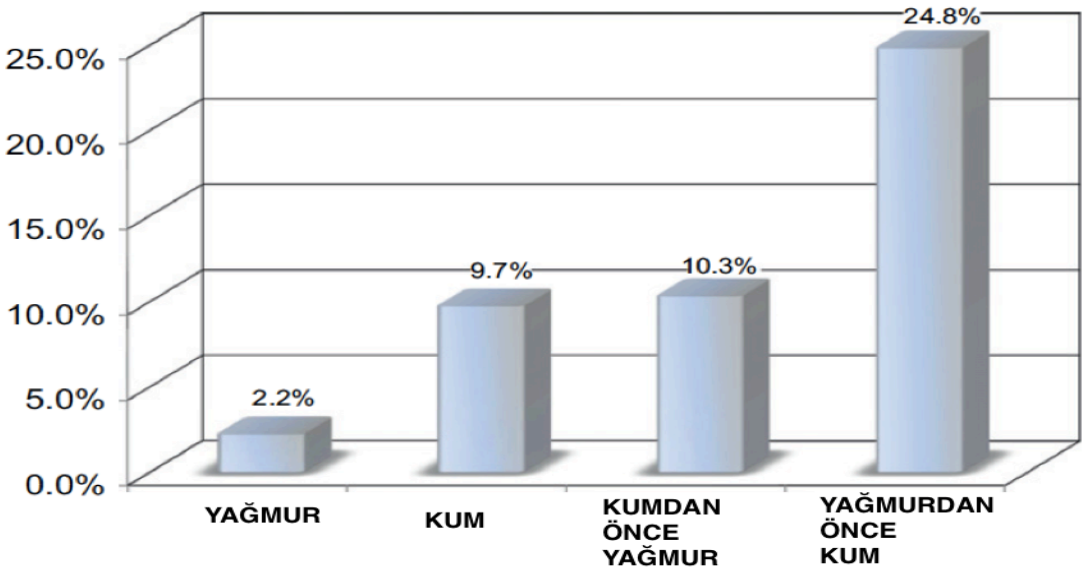
Aşınmayı oluşturan yağmur, toz, kum, dolu, FOD gibi etkenler tek tek düşünülmesi gerekir ki birçok etken aynı anda uçak malzeme yüzeyine etki eder. Bunlar uçakların performasını olumsuz etkileyebileceği gibi uçağın uçuşa elverişliliğinide sıkıntıya sokmaktadırlar. Yağmurun uçak üzerindeki olumsuz etkileri NASA tarafından 4 farklı şekilde açıklanmıştır; fiziksel stres, su emilimi, aşınma ve korozyon [51].

Havacılık tarihinde yağmurun malzeme yüzeyindeki aşınmaya etkisi birçok deney ile incelenmiştir. Bunlardan en kapsamlı olanlarından birini Field incelemiştir. Bu çalışmada probleme teoriksel, matematiksel, fiziki ve tecrübe açısından yaklaşılmış, aşınma karakteristikleri çeşitli malzemeler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Geçmişte yapılan araştırmaların üzerine böyle analitik bir araştırma eklenmesiyle aşınmanın tam olarak etkisi net bir şekilde ortaya konmuştur [40].

Aşınmayı önlemenin başlıca etkenlerinden biri uçakların aşınmaya hangi bölgelerinin maruz kaldığının belirlenmesidir. Uçağın buz uygulamalarında yağmur damlalarının çarpma limitlerinin yerlerinin belirlenmesi ve bu darbelerin etkisi ölçülmelidir. Yağmur damlalarının yörünge sistemide matematiksel olarak tanımlanmıştır. Simülasyonlarda yağmur damlasının nerelere çarpacağının belirlenmesiyle ilgili faydalı bilgiler elde edilmiştir.

Aşınma çeşitlerinden katı aşınmada ise, uçakların kum veya tozlu bir pisste kalktıkları sırada, yabancı bir cisim çarpması ile veya yüksek irtifalarda uçarken meydana gelir. Araştırmacılar çarpan malzemenin akışkan hareketi üzerinde değil de çarpan malzemenin özelliği üzerinde durmuşlardır. Humphrey buna karşı olarak katı malzeme çarpması etkilerinde akışkanlar mekaniği üzerinde oldukça fazla çalışmıştır. Yüksek irtifalarda dolu, kum, volkanik kül ve diğer partiküllerden kaynaklanan katı aşınma çok fazladır. Yağmur damlasının aşındırıcı etkisiyle kıyaslandığında, deneysel bulguların verilerine göre, belirli hızda oluşan hasar etkisi yaklaşık yarısı kadardır. Şekil 1.20'da yağmur ve kum aşınmasının etkisi bir grafik ile kıyaslanmıştır [52].

Volkanik kül ile karşılaşılan bir durum, uçak için oldukça kritiktir ve uçuşa elverişliliği ciddi anlamda etkilemektedir. Geçtiğimiz 30 yıl içinde 100 den fazla uçak tahmin edilemeyen kül bulutu içine girmiştir . Volkanik kül tanecikleri 1-10 um arasında olup, volkandan 100 mil uzağa doğru hareket edebilirler. Dünya üzerinde de birçok aktifleşmeye yatkın volkan olduğu düşünülürse, bunların beklenmedik hareketi hava trafiğine olumsuz etkiler yaratabilir. Volkanik kül bulutu ile karşılaşan bir uçağın şüphesizki en riskli durumu, motora verdiği deformasyon ile motor susmasına yol açmasıdır. Aynı zamanda küllerin sahip olduğu sert ve keskin yapı sebebiyle hücum kenarlarında, radomda ve kokpit camlarında aşındırıcı etkisi oldukça yüksektir [40].



Şekil 1.20. Yağmur ve kum aşınmasının etkisi [52]

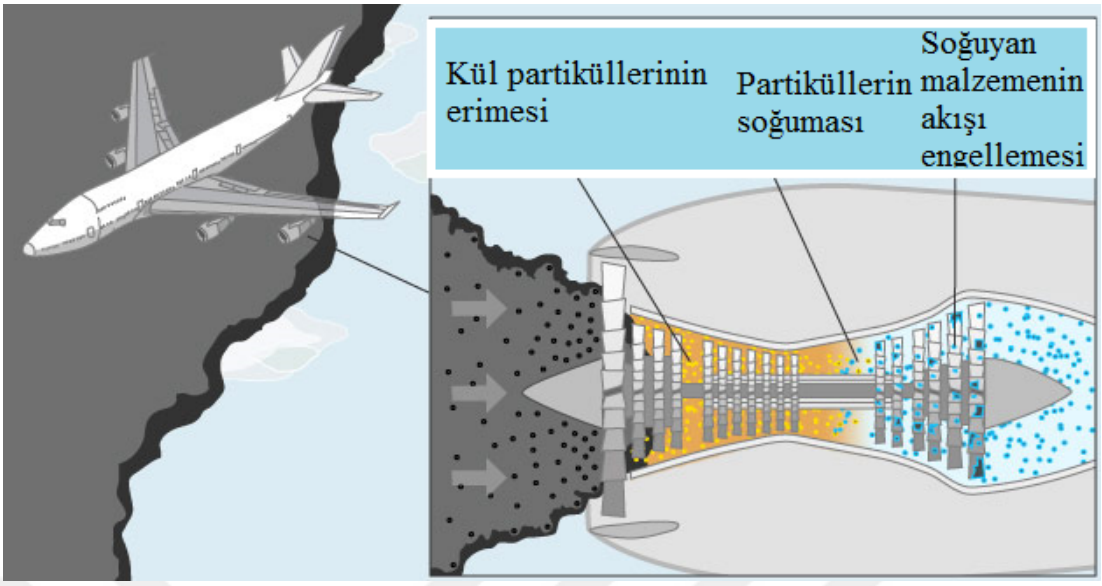
İlk kez iyi bilinen volkanik kül hasarı, 24 haziran 1982 yılında, Endonezyada bulunan Gulunggung volkanının aktif hale gelmesiyle, Boeing 747-200 uçağının tüm motorlarının küllerden etkilenip susması vakasıdır . 25000 ft'e kadar alçalındığında 1 numaralı motor tekrar çalıştırılmıştır. Sonrasında kül bulutlarının yoğunluklu olarak 22000 ft seviyesinde olduğu görülmüştür. Uçak acil olarak Jakartaya 4 moturu sustuktan sonra, üçü tekrar çalıştırılıp inmiştir [40].

Başka bir olay ise, NASA'ya ait DC-8 bilim geliştirme uçağı, Mt Hekla volkanından çıkan kül bulutlarının içine girerek motor türbin pallerinde aşınma meydana gelmesidir [53].

İzlanda'da 250 metre kalınlığındaki Eyyafyallayökül buzulunun altındaki volkanın patlamasının ardından yükselen duman ve kül bulutu, Kuzey Avrupa başta olmak üzere Avrupa kıtasının büyük bir bölümünde hava trafiğini felç etmiştir. Şekil 1.21'de volkan patlaması sonucu görülmektedir. İzlanda'nın 1700 km ötesine kadar ulaşan bulut yüzünden İngiltere hava sahası trafiğe kapanmıştır. İngiltere, İrlanda, İsveç, Norveç, Finlandiya, Danimarka, Hollanda, Belçika ve Fransa üzerinden tüm uçuşlar iptal edildi [54].



Şekil 1.21. Volkan patlaması ve ortaya çıkan kül bulutu [54]



Şekil 1.22. Volkanik küllerin motor içindeki hareketi [55]

Bu olaylardan sonra Dunn ve diğ. volkanik kül bulutlarının kayda değer şekilde incelenmesi gerektiğini düşünmüşlerdir. Bunu düşünmelerinin sebebi; fan ve kompresörlerde oluşan aşınma, yakıt sistemindeki verimsizlik, pal soğutucu deliklerin tıkanması, türbin giriş pallerinde kül toplanması, yakıt püskürtme ünitelerinde hasara yol açması, yapısal hasarlar ve radar verimsizliliği gibi durumlardır. Şekil 1.22'de kül bulutunun motora giriş anı simüle edilmiştir. Özellikle yüksek basınç türbin bölgesine dolan küller, yanma odası çıkışındaki basıncın artmasına sebebiyet vermektedir. Böylece ya kompresör tıkanmıştır ya da yanma odası çıkış basıncı oldukça yükselmiştir. Böylelikle motor havada susmuştur. Motor gaz sıcaklığı pilot tarafından bir şekilde düşürülsede, o bölgede kalan kül parçaları türbin pallerinde aşınmaya sebep olacaktır. Dunn ve Wade uçuş sırasında volkanik külden kaynaklanan etkiyi önemli ölçüde araştırmışlardır. Vardıkları önemli sonuç, vokanik kül bulutu içine girmiş ya da tamamen toz partiküllü bir yerden geçmiş uçağın normal oerasyonuna sürekli devam etmesi sonucu, aşınma boyutu oldukça artacaktır. Böylece motora kalıcı hasar verip motorun zamanla susmasına yol açacaktır. Dolayısıyla kül bulutunu farketmeden giren uçağın pilotuda, itki verilerini düşürmeli, motor değerlerini bu süre zarfında sürekli kontrol etmeli ve gerekirse irtifa azaltmalıdır [56]. Şekil 1.23'de volkanik kül bulutuna girmiş uçak motorunda meydana gelen hasar görülmektedir. Motorun iç kısmında bulunan düşük basınç ve yüksek basınç hava geçişini sağlayan yapıların, küllerin aniden eriyip daha sonrasında soğuması ile birlikte malzeme yapısında kırılmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 1.23. Volkanik kül bulutuna maruz kalmış uçak motoru [55]

En son yapılan bir araştırmaya göre 2010 yılında izlandada meydana gelen volkan patlamasında 1.7 milyar dolarlık hasar meydana gelmiştir.

Birçok bilim adamı katı aşınmayı veya sıvı aşınmayı ayrı ayrı düşünüp incelemiştir. Ancak bu iki değer uçuş sırasında çokça aynı anda aşınmaya etki ederler. Kalkış ve özellikle iniş sırasında toz ve kum uçağın yüzeyine etki etmektedir. Ancak uçak normal irtifasında iken muhtemel olarak yağmur tanecikleri ile karşılaşacaktır. Özellikle de ticari havayolu meydanlarında uzun dönemde karşılaşılan bulut ve yağmur döngüsü kısmen bilinmektedir. Toz ve yağmurun aynı anda oluşturduğu etkiyi ilk olarak Jilbert ve Field incelemişlerdir. Daha sonrasında Kelly bu iki etkenin inceleme değerlerini arttırarak daha kapsamlı bir araştırma yapmıştır. 4 farklı senaryo üzerinde incelemelerini gerçekleştirmiştir. Bunlar: sadece kum aşınması, sadece yağmur aşınması, kum aşınmasından önce yağmur ve yağmur aşınmasından önce kum gibi faktörlerdir [57].

1.7.3. Havacılıkta aşınmaya etki eden parametreler

Bir malzemenin aşınmasında birçok faktör etkili olur. Bunlar malzemenin özellikleri, geometrik yapısı, uçuş hızı, çarpma açısı, kullanılan kaplama malzemesinin kalınlığı, çarpan cismin ebatı ve hızı etkiler olabilir. Bu etkiler yüzünden uçak ya da onun herhangi bir komponentinde korozyon, yorulma, kırılma veya daha değişik hasarlarda oluşabilir. Ancak biz bu çalışmamızda sadece aşınma üzerinde duracağız.

Katı veya sıvı bir cismin sebep olduğu eroziv aşınma, malzeme yüzeyine tamamen nüfus eder ve yukarıda saydığımız etkilerin sebep olduğu kinetik enerji sayesinde malzemede kayba yol açar.

Malzeme seçimi havacılıkta aşınma hasarları bakımından büyük öneme sahiptir. Uçağın ön yüzeyine yani hücum kenarlarına yerleştirilen tabakalı malzemelerin koruyucu bir tabaka ile kaplanması arzu edilen bir durumdur. Ancak kullanılan bu kaplamanın kalınlığı hayati önem taşımaktadır. Yanlış şeçilen bir kaplama, dalga boyunda ve yansımasında değişikliklere yol açacağı gibi onların büyüklüğünü arttırarak malzeme üzerinde daha fazla stress oluşmasına sebep olacaktır. Eroziv aşınma sırasında kullanılacak malzeme konusunda yapılan birçok deney sonucunda en doğru olanı Springer tarafından ortaya konulmuştur [40].

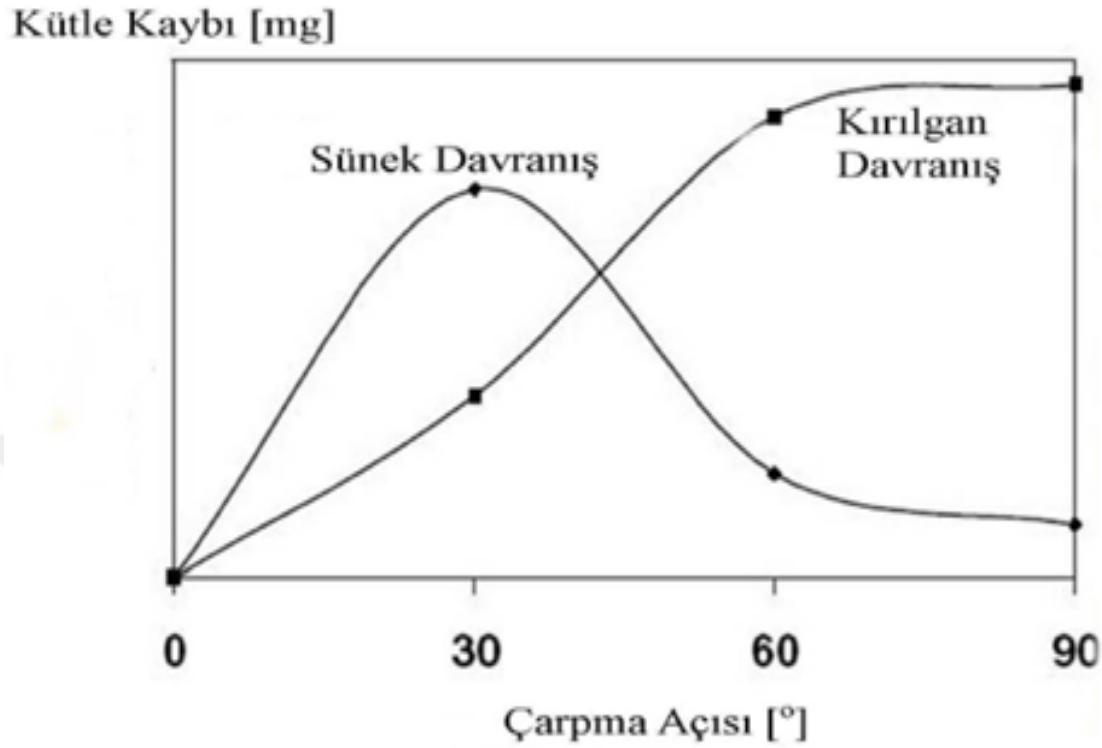
Etki eden parametreler ışığında malzeme geometrisinin önemi konusunda, değişik ebatta seçilen malzemeler yada aynı ebatta olup farklı açılarda seçilen malzemeler üzerinde yapılan araştırmalarda, aşınmanın ebatında ve oranında değişiklikler gözlemlenmiştir.

Uçuş hızının etkisini üç farklı hız biriminde incelemek gerekir; subsonik, süpersonik ve hypersonik. Yağmur veya diğer maddelerin yol açtığı aşınma etkisi daha çok subsonik hızlarda meydana gelir. Supersonik ve hypersonik hızlarda daha az görülmektedir [40].

Çarpma açısının etkisi ele alınacak olursa, çarpma açısı, çarpacak maddenin geliş doğrultusu ile uçak arasında bulunan açıdır. Bu açı uçağın hücum açısı ile karıştırılmamalıdır. Özellikle uçağa dik açıyla nüfuz eden sıvı partiküller, teğet olarak nüfuz eden katı partiküller ile kıyaslandığında, daha çok hasar oluşturmaktadırlar. Çarpma açısı konusunda en kapsamlı çalışma Baker tarafından yapılmıştır [58].

Katı partikül erozyonu, düşük çarpma açılarında iki cismin birbirine sürtünmesi gibi bir mekanızmaya sahiptir. Yüksek çarpma açılarında ise aşınma tipik aşınma şeklinde olur. Şekil 1.24. ‘de bahsedildiği gibi kırılgan malzemeler en fazla kütle kaybına dik çarpma açılarında ulaşırken, sünek malzemeler de bu durum düşük çarpma açılarında gerçekleşmektedir. Yarı sünek davranış gösteren fiber takviyeli

kompozitlerde ise maksimum kütle kaybı 45°– 60° çarpma açıları arasında ortaya çıkmıştır [59].



Şekil 1.24. Gevrek / sünek malzeme çarpma açısı kütle kaybı ilişkisi [59]

Aşınma oluşurken dalga boylarının yansımasının arttırılmasının aşınmanın da daha fazla yüzeyde oluştuğunu göstermiştir. Dalga boylarının artmasının sebebi ise seçilen numunenin kalınlığıyla doğru orantılıdır.

Yapılan çalışmalarda görülmüştürki, sıvı partiküldeki ebat büyümesi aşınmayı önemli oranda arttırmıştır. Bir başka deyişle, aşınma yüksek oranda düşen yağmur partikülün ebatına bağlıdır. Ancak bir istisna vardır. Ebatı küçük olan yağmur damlaları (yarıçapları 1 mm'den küçük) bir aerodinamiklik içinde ilerler. Ancak ebatı büyük olan (yarıçapı 1 mm'den büyük) yağmur damlaları bu şekilde ilerlemezler. Dolayısıyla yarıçapı 1 mm'den küçük olan partiküllerde aşınma azalırken, yarıçapı 1 mm'den büyük olanlar bu doğru orantıya bağlı değildir [40]. G. Sundararajan, D.P. Mondal, M. Dündar ve diğerleri aşındırıcı partikül boyutunun erozyon miktarı üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu, ancak erozyon miktarının kritik bir değer üzerinde partikül büyüklüğünden bağımsız olduğunu ifade etmişlerdir. Deneyler sonucunda, bu kritik değere kadar partikül boyutunun arttırılması ile erozyon miktarının arttığını raporlamışlardır [38].

Deneysel kanıtlar göstermiştirki, malzeme yüzeyinde bir film tabakası bulunması aşınmayı ciddi derecede azaltmıştır. Ancak bu film tabakasının kalınlığının hesaplanması kayda değer önem taşır. Bu film kalınlığının ortalama değerinin türbin palleri üzerinde yapılan deneyler sonrası belirlenmesini Pouchot yapmıştır [40]. Yapılan deneyler sonrası çıkarılan varsayım, merkezkaç kuvvetler etkisinde kalan ve pürüzsüz düzlemde yapılan bu deneylerde oluşturulacak filmin yapısının parabolik olması düşünülmüştür.

1.8. Radome Yapısında Aşınma Hasarı

Hava aracı ve kenar yüzeyler yağmur, rüzgar, kum, toz ve yabancı cisim hasarları yüzünden aşınmaya maruz kalırlar. Eğer hava aracı kenar kısımları ve radom kısmı korumasız bırakılırsa bu etkenler yüzünden üzerlerindeki boya ve korucuyu madde zamanla aşınabilir. Sonunda da radom ve kenar kısımlarda oluşacak hasarlar sebebiyle malzemede bütünlük kaybı yaşanır.

Hava aracı yapısında ve parçalarında, metal çeşitleri, seramikler, fiberler, alaşımlar ve plastikler olmak üzere birçok çeşitli malzeme kullanılmaktadır. Kullanılan bu malzemelerin aşınmaya karşı direnclerini en kapsamlı şekilde inceleyen bilim adamı Schmitt'dir [40].

Havacılık tarihinde, hava aracının kendisi ve parçalarının maruz kaldığı sıvı ve katı aşınmanın yanında en çok yapılan çalışma radomlar üzerine yapılmıştır. Yapılan önceki araştırmalarda radomda kullanılacak malzemenin uygunluğu Cavendish Labaratuarlarında araştırılmıştır [60]. Şekil 1.25'te Boeing 737-800 uçağının radom bölgesinde meydana gelen boya ve aşınma hasarı gösterilmiştir.



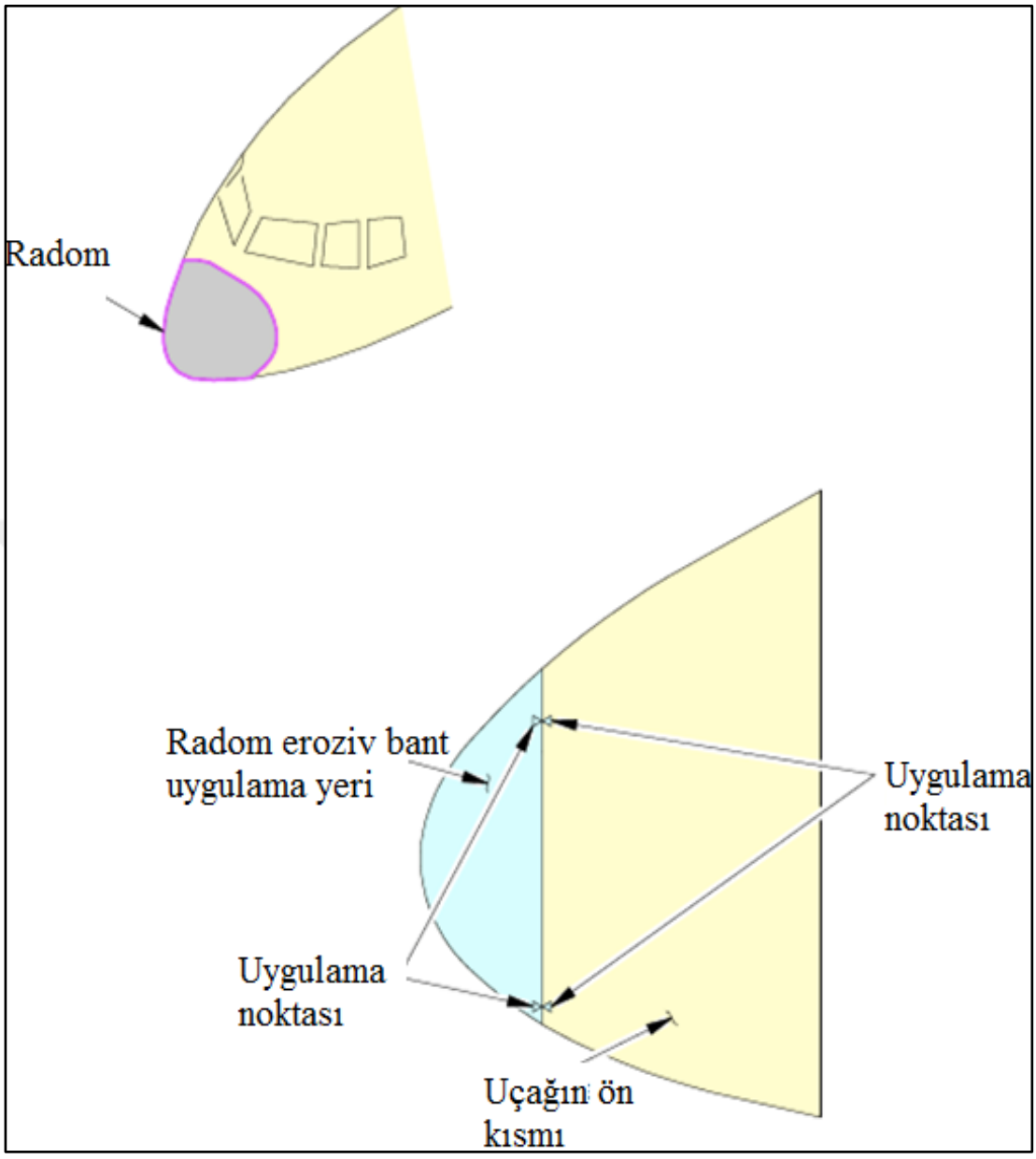
Şekil 1.25. Boeing 737-800 uçağının radom bölgesindeki aşınma ve boya hasarı

Radom kısmında kullanılacak malzemenin çok farklı yüklere maruz kalmasının yanında navigasyonda kullanılan kızılötesi gibi dalgaların da geçirgenliği konusunda büyük önem taşımaktadır.

Yapılan çaılışmalardan en kayda değer olanlarından birtanesi, Harris tarafından, kızılötesi içeren malzemelerin mekanik, optik ve termal özelliklerini içermekle beraber bu malzemelerin aşınma karşısında önleyici bir kaplama olarak kullanılmasını öngörmektedir [61]. Tablo 1.6'da Airbus A320 uçağının radom kısmı üretildikten sonra, bu bölgeye uygulanan aşınma önleyici prosedürler gösterilmiştir. İlk etapta primer işlemi uygulandıktan sonra, koruyucu bir tabaka uygulanır. En son olarakta koruyucu şeffaf poliüretan bant uygulanır. Tüm bu işlemler bittikten sonra anti-statik kaplama uygulanır ve ardından aşınmanın en çok görüldüğü radomun en ön bölgesine poliüretan malzemeden bir koruyucu tekrar uygulanır. Bu uygulamanın yeri Şekil 1.26'da gösterilmiştir. Bu uygulamanın Airbus yapısal tamir kitabındaki prosedürlerde belirtildiği gibi yapılması oldukça önemlidir. Özellikle de radom kısmının içindeki radar iletişim verimini azaltmamak için uygulamadan sonra direnç kontrolü oldukça önem taşımaktadır. Tablo 1.7'de aşınma önleyici prosedürlerden direnç kontrolünü anlatan kısa bir prosedür görebiliriz. Direnç değeri uygulanan bölgede direncin 1-100 megaohm arasında olması gerektiği belirtilmektedir.

Tablo 1.6. Airbus A320 uçağının radom kısmına uygulanan aşınma önleyici uygulamalar [26]

Aşınma Önleyici Malzemeler	
Malzeme Tipi	Malzeme
Astar	Chemglaze 9924, BMS 10-79 TİP 2, BMS 10-103
Aşınmaya karşı koruyucu kaplama	SOPM 20-44
Aşınmaya karşı koruyucu bant	Poliüretan bantlar: -3M 8673 -Beyaz 3M 8671HS -3M8681 HS



Şekil 1.26. Airbus A320 uçağının radom kısmının ön bölgesine uygulanan koruyucu kaplama [26]

Tablo 1.7. Airbus A320 uçağının radom kısmına uygulanan aşınma önleyici uygulama sonrası direnç kontrolü prosedürü [26]

1) Direncin1-100 megaohn arasında olduğundan emin ol.
2) Eğer direnç 1 megaohmun altında ise prosedürü baştan tekrar uygula.
3) Yüzeydeki anti-statik boyayı yerinden sök.
4) Yüzeyi temizle ve hazırla.
5) Antistatik boyayı tekrar uygula.
6) Direnci tekrar ölç.

Yağmur damlacıklarının radom üzerinde nasıl bir aşınma yarattığını anlamak için öncelikle yağmur'un formunu anlamak gerekir. Havada dolu yağışına maruz kalmış uçağın radom bölgesindeki hasar şekil 1.27'de görülmektedir.



Şekil 1.27. Dolu yağışına maruz kalan uçağın radom hasarı

Bulutların içinde, rüzgarlarla beraber küçük girdaplar oluşur ve bunlar mikrometre çapında su-toz karışımlı kümeler oluşturur. Bu kümeler içindeki su buharlaştıkça yağmur damlaları kendi formunu alır. Geriye kalan toz parçacıkları küme içinde zamanla büyüyerek düşecek kadar ağır hale gelirler. Bu parçacıklar düşerken nem taneciklerininde eklenmesiyle toz parçası içeren yağmur damlası formuna dönüşürler.

Eğer ki radom kısmı tamamen korunmadığı sürece bu toz parçacıklı yağmur taneleri bu kısma zarar vermekte ve malzeme bütünlüğünü bozmaktadır. Bu parçacıklar kumlamada kullanılan numuneler gibi düşünülebilir. Ancak burdaki parçacıklar çok daha küçük boyuttadır. Buna karşın, standart kompresörlü hava tabancasında kullanılan kumlama hızı genelde yaklaşık olarak 160-200 mph arasındadır. Oysa ki, toz tanecikli yağmurun içinde seyehat eden bir uçağın maruz kaldığı kumlama hızı

oldukça fazladır. Çünkü birçok uçak 200 mph hızın üstünde seyir etmektedir. Tablo 1.8'de bazı uçak tiplerinin ortalama seyir hızları ve kumlama hızına olan oranları verilmiştir.

Tablo 1.8. Bazı uçak tiplerinin seyir hızları ve kumlama hızına olan oranları [62]

UÇAK TİPİ	**SEYİR HIZI (mph)**	**SEYİR HIZI / NORMAL KUMLAMA HIZI (mph/sa)**
Piston motorlu	138-321	1,60
Tek turboprop motorlu	267-367	1,83
İki turboprop motorlu	164-400	1,99
Super hafif jetler	380-489	2,44
Hafif jetler	400-566	2,82
Orta menzil iş jetleri	466-543	2,70
Super orta menzil jetler	510-590	2,94
Uzun menzil iş jetleri	441-565	1,60
Bölgesel uçaklar	459-553	2,75
Ticari uçaklar	503-633	3,16

Kum ve tozun yaygın olarak havanın içinde bulunduğu alanlar aşınma için ciddi oranda risk taşır. Yoğunluğun fazla olması riski daha fazla hale getirir.

Rüzgar aşınma türü, aşınma formunun ikinci halidir. Öncelikle bir aşınma meydana gelir ve boya hasarı oluşur. Ardından rüzgar bu boya hasarının olduğu bölgede boyayı kaldırır ve soyulmasını sağlar.

Yabancı cisim hasarları radom bölgesi veya kenar yüzey bölgelerde bir hasar oluştururlar. Bölgede oluşan hasar ilerler ve aşınmaya yol açar. Yabancı cisim hasarına maruz kalan Airbus A320 uçağının radom bölgesi şekil 1.28'de görülmektedir.



Şekil 1.28. Yabancı cisim hasarına maruz kalan Airbus A320 uçak radomu

Daha önceden aşınma önleyici bant ile korunmamış olan veya boya ve koruyucu maddesi aşınmış olan fiberglass-quartzfiber radomlara nem nüfuz eder. Nemin içeri girmesi doğal olarak kötü bir durumdur. Şöyle ki, uçak seyir irtifasına çıktığı zaman, hava sıcaklığınında -56 °C'ye düştüğünü düşünürsek, nemin nüfuz ettiği bölge donacak ve genişleyerek yapıda hasara sebep olacaktır.

Ayrıca radom bölgesine nüfuz eden uçaklarda, radar performansı ciddi olarak azalmaktadır. Nem alan bölge radomun performasınıda azalttığı gibi, radarın sinyal alışverişinde zorluk çıkarır. Bu alanlar, uçağın radar ekranında yanlış rüzgar veya buz kümeleri görülmesine yol açabilir [47]. Tablo 1.7'de Airbus A320 uçağının radom kısmına nem nüfuz etkisi ve kontrolünün nasıl yapıldığı görülebilir. Bu şekilde de görüldüğü üzere, nemin radomun iç balpeteği yapısına etki etmesi radar iletişiminde verimsizliğe yol açacaktır. Bu sorunu önlemek için periyodik radom kontrolleri yapılmalıdır. Bu kontroller için Airbus tahribatsız muayene yöntemleri ve

yapısal hasar kitabı 3 farklı yöntem önermektedir. İlk olarak tavsiye edilen yöntem nem metre aletiyle kontrol etmek iken, diğer iki alternatif yöntem elektronik termografi ve sıvı kristal yöntemidir. Radom kısmındaki balpeteği yapısı içine nem-su nüfuz ederse radar iletimi düşer. Radar iletiminin yeterli derecede olduğunu sağlamak için periyodik radom kontrolleri gerekmektedir. Balpeteği yapısına nüfuz eden nemi belirlemek için üç genel method kullanılır. Bu methodlar Boeing veya Airbus Tahribatsız Muayene Yöntemler kısmında detaylıca anlatılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada gerçekleştirilen aşınma testlerinde kullanılan kompozit plakalar özel havayollarına ait Airbus A320 uçağının hasarlanan radom kısmından alınmıştır. Oluşturulan bu numunelerin dış yüzeyleri statik elektriği iletip, nem faktörüne dayanması için çeşitli boya ve koruma işlemlerine maruz bırakılmıştır. Bu nümuneler "Boyalı" olarak adlandırılmıştır. İç yüzeyleri ise herhangi bir işleme maruz kalmamıştır. Bu yüzeyler ise "işlemsiz" olarak adlandırılmıştır.

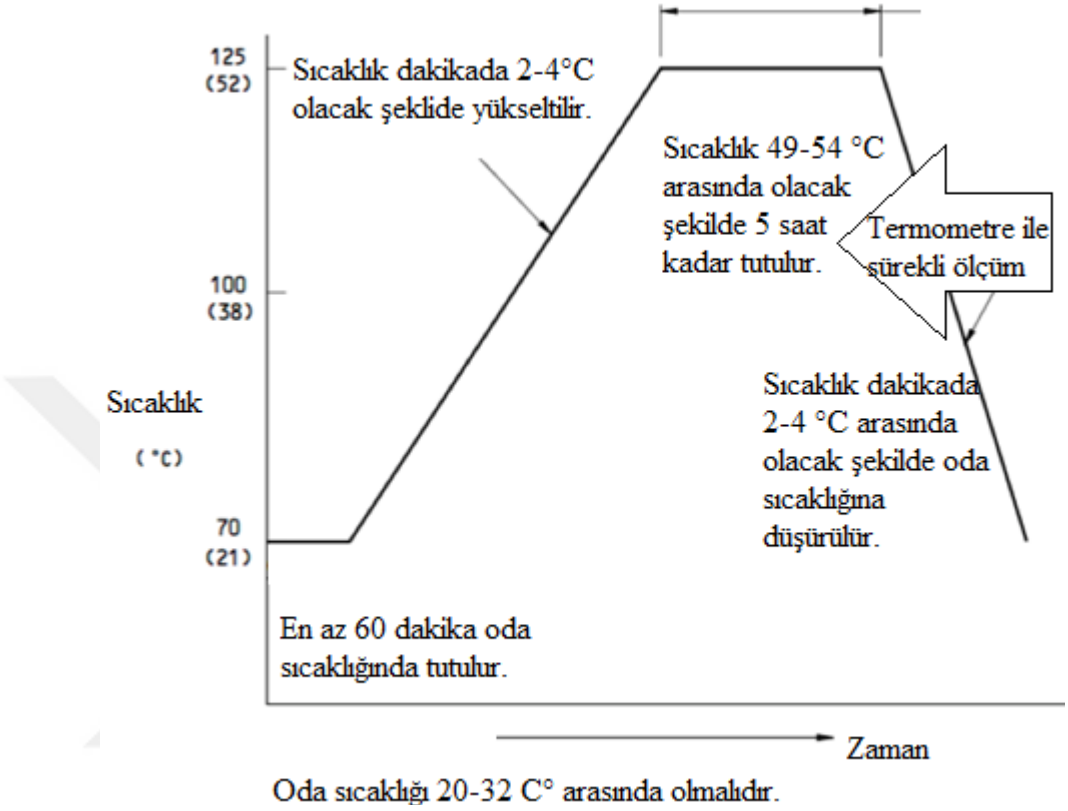
Aynı zamanda boyalı ve işlemsiz olarak adlandırılan iki farklı numuneye tezin üst kısımlarında bahsedilen şartlarda eroziv bant uygulaması yapılmıştır. Eroziv bant, hava araçlarının hava ile temas eden ilk yüzeylerine uygulanan bir bant çeşitidir. Bu bant, havada bulunan aşınmaya yol açabilecek partiküllerin uçak yapısına verdiği zararı minimum seviyeye indirmek için kullanılır. Uçak üreticilerinin yayınladığı kitaplarda, kulanılması gereken eroziv bant çeşidi ve özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Eroziv Bant özellikleri [63]

3M 8681 HS Aşınma Önleyici Poliüretan Bant Özellikleri
-Aşınmaya ,yırtılmaya ve küçük darbe hasarlarına karşı dayanıklıdır.
-Morötesi ışıklara dayanacak şekilde üretilmiştir.
-Basit bir alet ile kolayca uygulanır.
-Boyanabilir veya boyalı yüzeye uygulanabilir.
-Basınca ve yaşlamaya sebep olacak etkenlere karşı dayanıklıdır.
-Kalınlığı 0,36 mm' dir.
-Yoğunluk değeri 1057 kg/m³' dür.
-Depolama koşulu ise özel kartonuyla birlijte 12 ay boyunca 21 °C ' de saklanabilir.
-Servis sıcaklığı ise -51°C ile 135°C arasındadır.

Quartz fiber takviyeli polyester matrisli ve balpeteği yapısına sahip kompozit radom parçaları [0,90] yönelime sahiptir. Kullanılan quartz fiber ve kompozit plakaların en boy ölçüleri 40mm x 40mm ebatında ve 1 cm genişliğindedir. Tüm nümuneler

uçakların hasarlı radom bölgelerinden uygun ebatlar oluşacak şekilde, iç yapılarında bir hasar olmayanların arasından, uygun ekipmanlarla kesilmiştir. Şekil 2.1'de radom kompozitinin nasıl tamir edildiğini detaylı bir şekilde görebiliriz.



Şekil 2.1. Radom kompozitinin tamir aşaması [26]

Yukarıda gösterilen prosedürleri Airbus A320 uçağının radom kısmının tamir prosedürünü içeren Yapısal Tamir Kitabından (Structural Repair Manual) alınmıştır. Şekil 2.1'de, malzeme 60 dakika kadar oda sıcaklığında (20°C- 32°C arası) bekletilmektedir. Sonrasında sıcaklık 49°C ve 54°C derece arasında bir değere gelinceye kadar, dakikada 1.7 °C ve 4 °C arasında arttırılır. Bu sıcaklıkta 120 dakika ile 180 dakika arasında bekletildikten sonra, oda sıcaklığına gelinceye kadar yine aynı prosedür ile soğutulur. Devamında ise, vakum çantaları ile 40-50 psi basınç değerleri altında işlem uygulanır. Sıcaklık 21 °C'den, dakikada maksimum 3 °C olacak şekilde 121°C ile 133°C değerleri arasına getirilir. Yine bu sıcaklıktan dakikada 3°C'yi geçmeyecek oranda oda sıcaklığına getirilir ve vakumlama işlemi ile uygulanan basınç kaldırılır.

2.2. Quartz Fiber Radom Kompozit Malzemesinin Özelliklerinin İncelenmesi İçin Kullanılan Test ve Analiz Methodları

2.2.1. Katı partikül erozyonu aşınma testi

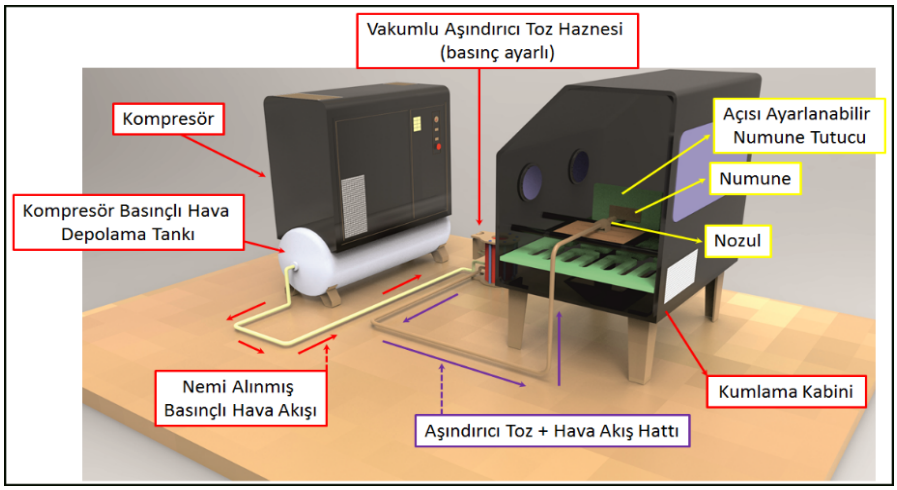
Katı partikül eroziv aşınma davranışı özel olarak tasarlanan Şekil 2.3'de şematik olarak gösterilen kumlama düzeneği ile gerçekleştirilecektir. Kumlama düzeneği basınçlı hava kompresörü, basınçlı hava tankı, kumlama kabini, numune sabitleyici ve kumlama tabancasından oluşmaktadır. Kumlama basıncı da kabin dışarısına yerleştirilen bir basınç regülatörü ile ayarlanmaktadır. Kumlama kabini içerisine numunenin sabitlenmesi ve numune üzerine istenilen açılarda kum püskürtülmesini sağlayan özel bir numune tutucusu yerleştirilmiştir. Bu düzenek ile kabin içerisine sabitlenmiş kumlama tabancası, numunenin açısal olarak 15'er derece döndürülmesine olanak veren tutucunun hareketi ile numune üzerine istenilen açılarda kum püskürtebilecektir. Kumlama işlemleri sırasında numuneler bu tutucu kullanılarak kumlama tabancasından 10 mm uzaklıkta tutulacaktır.

Kullanılan test düzeneği ile quartz fiber kompozit malzeme farklı partikül çarpma açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°), aynı hızlarda, aynı basınçta ve farklı partikül boyutlarında alumina 120 mesh ve volkanik kül kullanarak aşındırılmıştır. Kullanılan aşındırıcıların çift disk metodu ile farklı boyuttaki aşındırıcı partiküllerin hızları ve debileri Tablo 2.2.' de aşağıdaki tabloda verilmiştir.

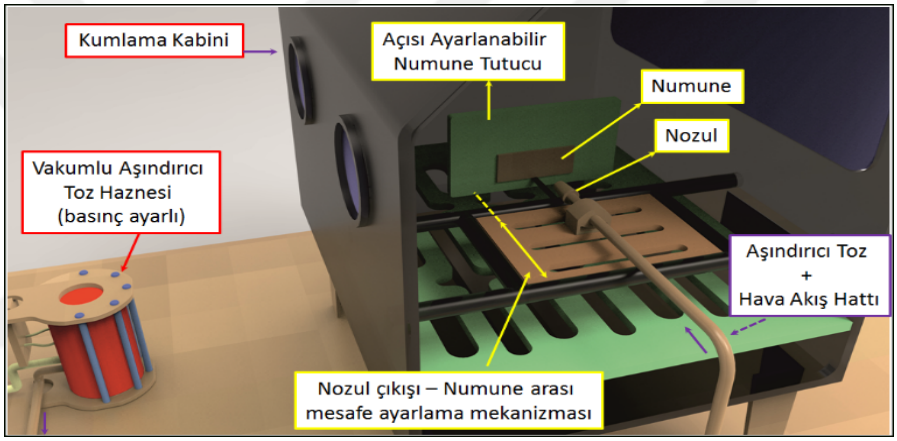
Tablo 2.2. Aşındırıcı partikül tiplerinin aşındırıcı hızı ve debisi

Aşındırıcı Tipi	Aşındırıcı Hızı	Aşındırıcı Debisi
Alumina 120 mesh	61 m/sn	21 gr/sn
Volkanik kül	71 m/sn	35 gr/sn

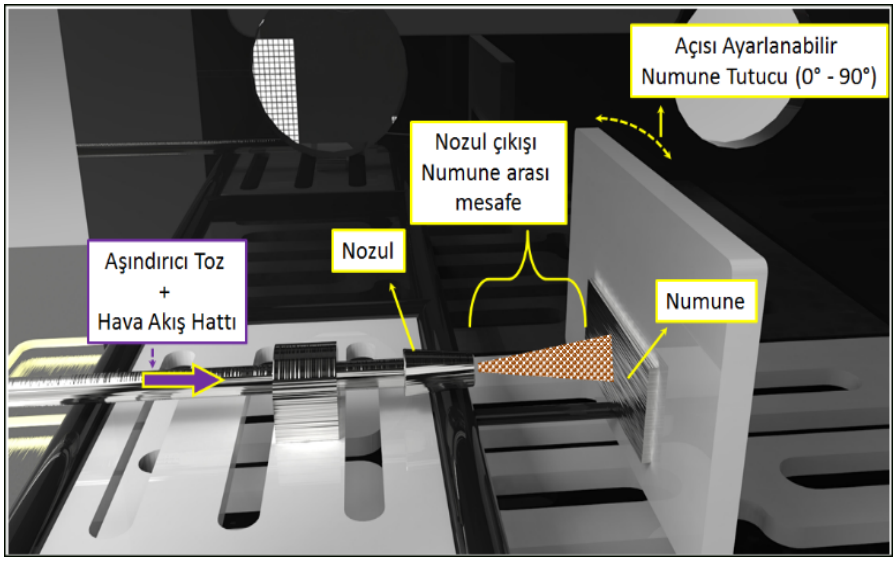
Yapılan araştırmada kullanılan test cihazı ile açıklamalı görseller Şekil 2.2, 2.3, 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Eroziv Aşındırıcı Test Cihazı



Şekil 2.3. Kumlama Kabini Açıklayıcı Görsel

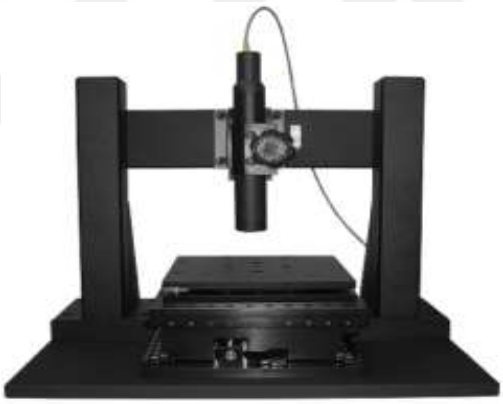


Şekil 2.4. Kumlama Kabin İçinde Nozul ve Numune Mesafesi İlişkisi

2.2.2. Lazer 3D optik profilometre ile analiz

Katı partikül erozyonu sonucu aşınan yüzeylerin aşınma davranışı açısından incelenmesi amacıyla "Nanovea PS50" marka 3D optik profilometre cihazı kullanılacaktır (Şekil 2.5). Kullanılan cihazın bazı özellikleri ise Tablo 2.3.' de verilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sonucu aşınma yüzeylerinin 3D topografyaları Mountain Software programı kullanılarak oluşturulacaktır. Bu topografya görüntülerinde maksimum tepe yükseklikleri ve maksimum hasar krateri derinlikleri ölçülebilecektir. Ayrıca tepe ve hasar kraterlerinin incelenen yüzeyde istatistiksel yüzey dağılımı elde edilecektir. Bu sayede, katı partikül erozyonu sonucu ortaya çıkan birinci dereceden önemli yüzey aşınma ve pürüzlülük karakteristikleri deneysel parametrelerle ilişkilendirilecektir.



Şekil 2.5. Nanovea PS50 marka lazer 3D optik profilometre cihazı

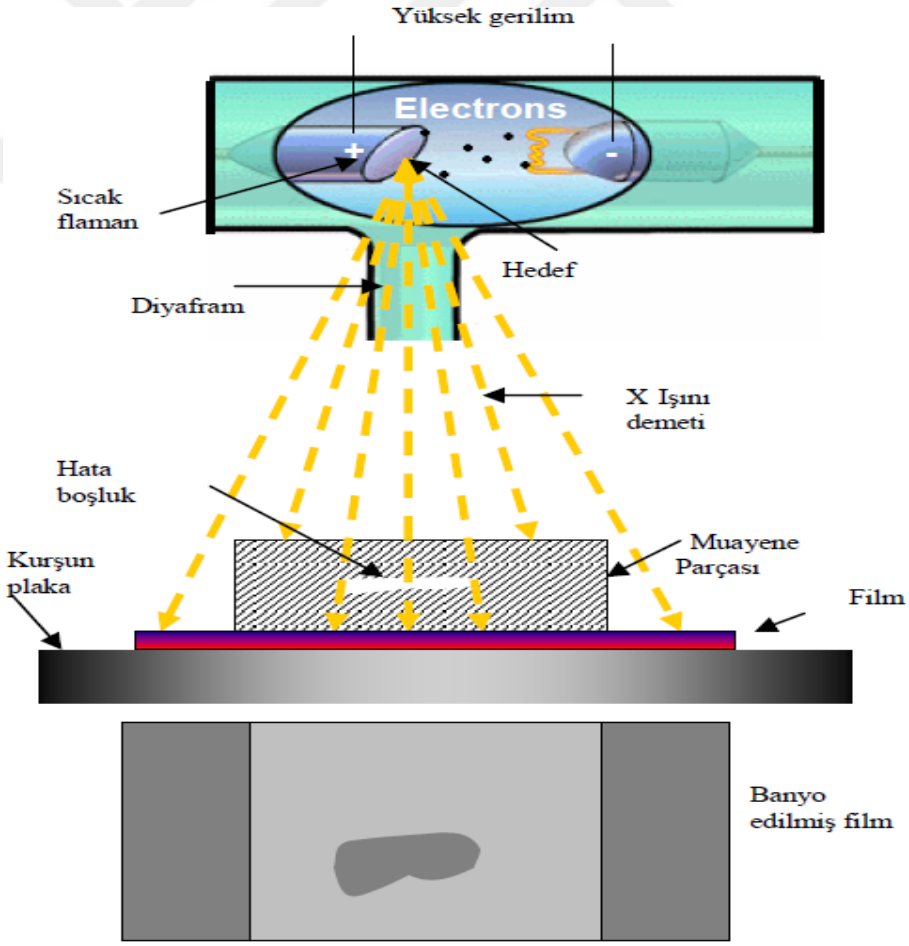
Tablo 2.3. Nanovea PS50 marka 3D optik profilometre özellikleri

Nanovea PS50 marka 3D optik profilometre özellikleri	
Çalışma aralığı	12 Hz – 2.5 MHz
Dikey çözünürlük	0,1 - 0,2 nm
Yatay çözünürlük	400 nm

2.2.3. X-Ray görüntüleme yöntemi ile analiz

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (ışınım) pek çok malzemeye nüfuz edebilirler. Belli bir malzemeye nüfuz eden ışınım malzemenin diğer tarafına konan ışınıma duyarlı filmleri de etkileyebilir. Bu filmler daha sonra banyo işlemine tabi tutulduklarında ışınımın içinden geçen malzemenin iç kısmının görüntüsü ortaya çıkar. Bu görüntü, malzeme içindeki boşluklar veya kalınlık / yoğunluk değişiklikleri nedeniyle oluşur.

Işınım şiddetinin azalmasına üç temel faktör etki eder; ışının kat ettiği malzemenin cinsi, kalınlığı ve kullanılan ışının dalga boyu. Üniform şiddetli bir ışın demeti sabit kalınlıkta bir demir levha üzerine gönderildiğinde, levhanın diğer tarafında şiddeti daha zayıf ama yine üniform olan bir ışın demeti görülür. Şekil 2.6'da test düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.6. X-ray test düzeneği şeması

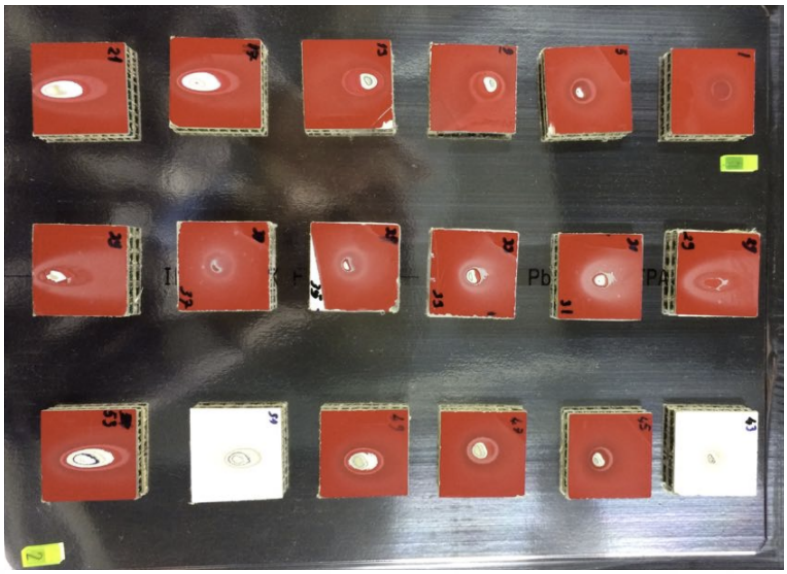
Radyografik muayene için çeşitli ışınım kaynakları kullanılabilir. Bu kaynaklar X-ışını tüpleri veya gama (γ) ışını üreten izotoplar olabilir. Endüstriyel radyografide kullanılan X ışını enerji aralığı genellikle 50 kV – 350 kV arasındadır. Işınlama enerjisi ışınlanacak malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak değişir.

Havacılık sektöründe X-Ray muayene yöntemi tahribatsız muayene yöntemi olarak kullanılmaktadır. Uçak parçaları veya komponentlerinde meydana gelen çatlak, malzeme delaminasyonu gibi olaylarda bu yöntem tercih edilmektedir. Genelde gözle görülemecek durumlarda kolay sonuç verebilen bir yöntemdir. Bu muyane yöntemin kullanılma amacı, uçak üreticilerine operatörler tarfından gelen geri beslemeler sonrasında uçakların hangi bölgelerinde artık olağan hale gelmiş çatlakların belirli aralıklarda kontrolünün yapılması yönünde olmuştur. Kısa sürede uygulama, uçakta söküm takım gerektirmeden ve net sonuçlar verebilen bir yöntem olduğu için havacılık alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Haızrladığımız nümuneler havacılık sektörde aktif olarka çalışmakta olan bir hangarda yxlon smart 160 W cihazı kullanılarak X-Ray grafi görüntüleri alınmıştır. Test işlemi sırasında nümunelere X ışını, 1 dakika boyunca, 80 kV enerji değerinde, 2 miliamper akım altında ve 90 cm uzaklıktan numuneye uygulama yapılmıştır. Şekil 2.7'de yxlon smart 160 W X-Ray grafi cihazı görseli gösterilmiştir. Şekil 2.8'de Aşınmaya maruz kalmış numunelerin x-ray testi öncesi görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 2.7. YXLON SMART 160 W X-Ray grafi cihazı görseli



Şekil 2.8. X-ray testinde kullanılan numuneler

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Quartz fiber kompozit malzemenin erosiv aşınma davranışına partikül çarpma açısının etkileri incelencektir. Tez çalışması kapsamında bu malzemenin eroziv aşınma davranışı 15°-90° partikül çarpma açısı aralığında incelenmiştir. İnceleme işlemi iki farklı partikül boyutunda dört farklı malzeme üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında ölçülen kütle değişimleri ile quartz fiber kompozitin her bir parametresi için kütle kaybı ve erozyon oranı hesaplanmıştır.

Bu bölüm içerisinde hesaplanan erozyon oranları ile çizilen grafikler yardımıyla quartz fiber kompozitin erozif aşınma davranışının partikül çarpma açısına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Sektörde kullanılmış olan Quartz Fiber malzemeden üretilmiş uçak radom malzemesinden 40mm*40mm parçalar alınarak test numuleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu numunelerin dış yüzeyleri static elektirği iletip, nem faktörüne dayanması için çeşitli boya ve koruma işlemlerine maruz bırakılmıştır. Bu nümuneler "Boyalı" olarak adlandırılmıştır. İç yüzeyleri ise herhangi bir işleme maruz kalmamıştır. Bu yüzeyler ise "İşlemsiz" olarak adlandırılmıştır.

3.1. Boyali Quartz Fiber ve İşlemsiz Quartz Fiber Kompozitin Alümina 120 Aşındırıcısı Uygulanması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri

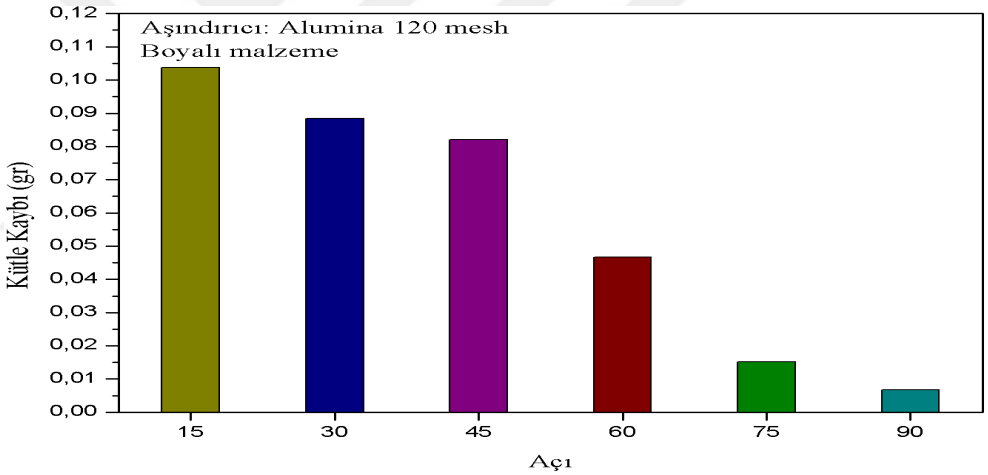
Boyalı ve işlemsiz olarak adlandırılan iki farklı numunelerin katı partikül erozoyonu davranışına kütle kaybı ve eroziv aşınma test parametlerinin etkileri incelenecektir. Aşındırıcı tipi olarak Alümina 120 3 bar basınç altında uygulanmıştır. Bu uygulama,malzemelere 10 mm uzaklıktan 10 saniye boyunca altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) gerçekleştirilen katı partikül erozyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitlerin kütle kaybı ve aşınma davranışlarına

partikül çarpma açısı etkilerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan Tablo 3.1' de Boyalı quartz fiber malzemeye altı farklı açıda uygulama sonrası kütle kaybı ve aşınma oranları verilmiştir.

Tablo 3.1. Boyalı malzeme kütle kaybı ve aşınma oranları

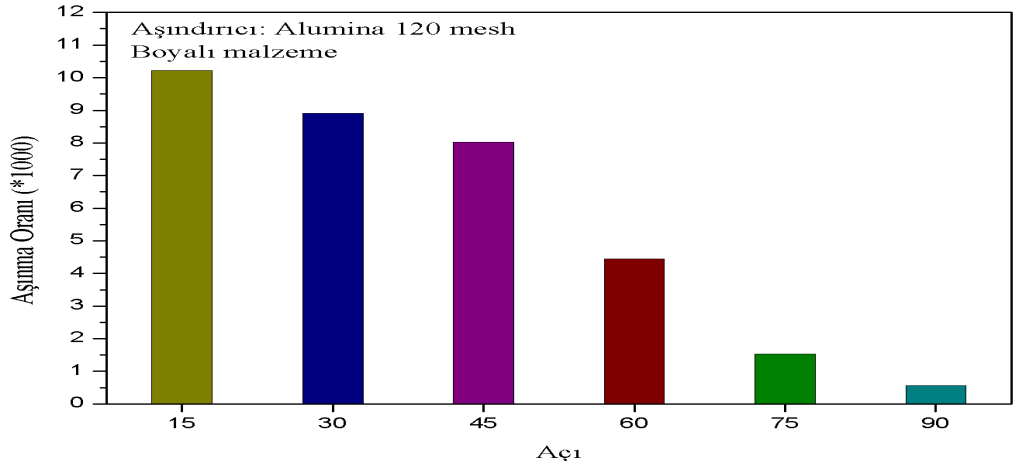
Hedef Malzeme	BASINÇ (bar)	AŞINDIRICI TİPİ	ÇARPMA AÇISI (°)	SÜRE (sn)	M1 (gr)	M2 (gr)	M1-M2 (gr)	Erozyon Oranı (gr x1000)
Boyalı	3	Alüminia 120	90	10	11,8537	11,847	0,00670	0,565
Boyalı	3	Alüminia 120	75	10	9,9383	9,9231	0,01520	1,529
Boyalı	3	Alüminia 120	60	10	10,5058	10,4591	0,04670	4,445
Boyalı	3	Alüminia 120	45	10	10,2262	10,1441	0,08210	8,028
Boyalı	3	Alüminia 120	30	10	9,9278	9,8394	0,08840	8,904
Boyalı	3	Alüminia 120	15	10	10,1378	10,0341	0,10370	10,229

Tablo 3.1' de çıkan sonuçlarda boyalı malzeme için kütle kaybı grafiğini Şekil 3.1 de, aşınma oranı grafiğini ise Şekil 3.2 'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Boyalı quartz fiber malzeme kütle kaybı grafiği

Şekil 3.1' de boyalı quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası kütle kaybı miktarı çubuk grafik olarak grafiği gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum kütle kaybı 15° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarı da doğrusal bir şekilde azalmıştır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum kütle kaybı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir. 90° de ise malzemede meydana gelen kütle kaybı 0,01 gr' dan bile azdır.



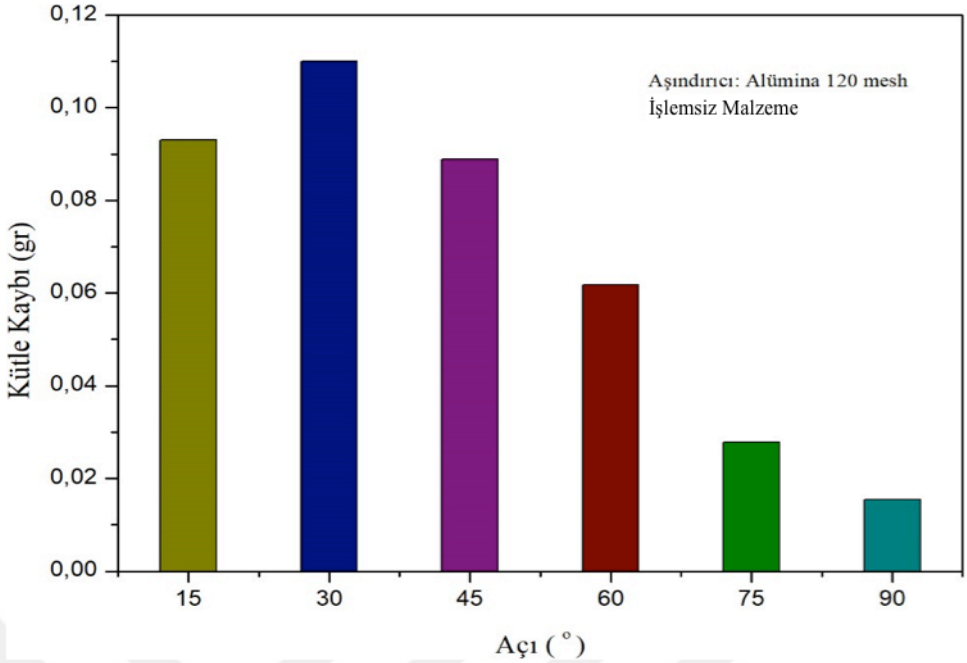
Şekil 3.2. Boyalı quartz fiber malzeme aşınma oranı grafiği

Şekil 3.2' de boyalı quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrarsı eroziv aşınma oranları çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Eroziv aşınma testlei sonrasında ortaya çıkan maksimum aşınma oranı 15° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı doğrusal bir şekilde azalmıştır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum aşınma oranı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir. 90° de ise malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı yok denecek kadar azdır. Tablo 3.2'de ise işlemsiz malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları verilmiştir.

Tablo 3.2. İşlemsiz quartz fiber malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları

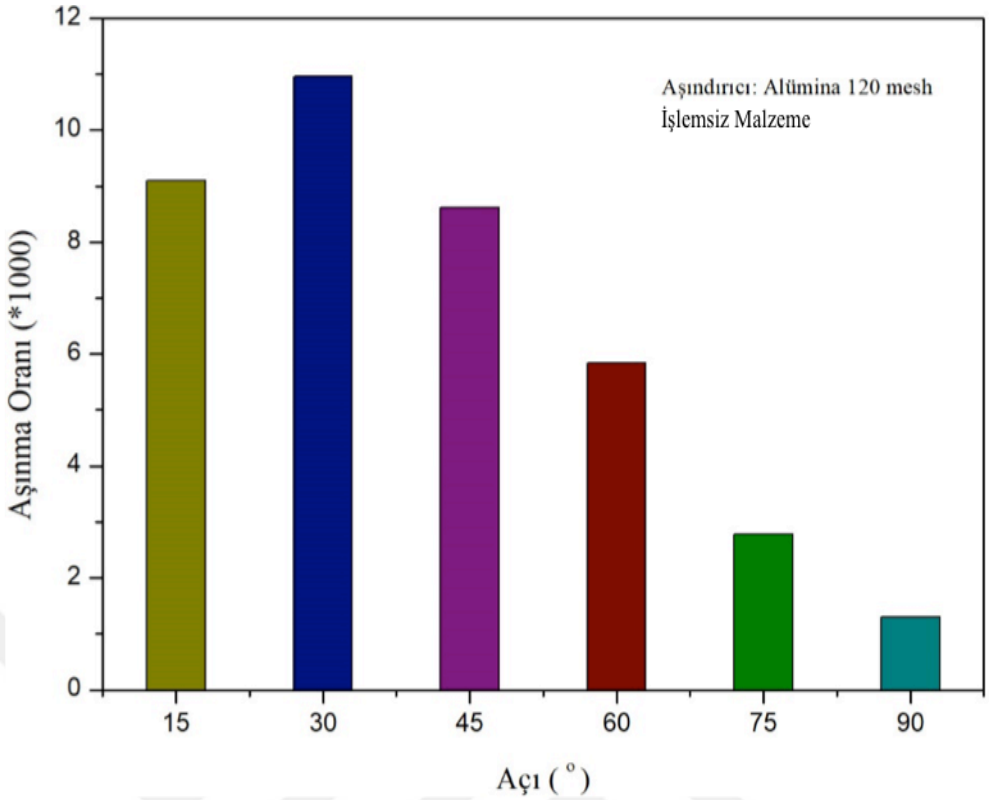
Hedef Malzeme	BASINÇ (bar)	AŞINDIRICI TİPİ	ÇARPMA AÇISI(°)	SÜRE (sn)	M1 (gr)	M2 (gr)	M1-M2 (gr)	Erozyon Oranı (gr x1000)
İşlemsiz	3	Alüminia 120	90	10	11,8691	11,8537	0,01540	1,297
İşlemsiz	3	Alüminia 120	75	10	9,9661	9,9383	0,02780	2,789
İşlemsiz	3	Alüminia 120	60	10	10,568	10,5058	0,06180	5,848
İşlemsiz	3	Alüminia 120	45	10	10,315	10,2262	0,08890	8,618
İşlemsiz	3	Alüminia 120	30	10	10,038	9,9278	0,11000	10,959
İşlemsiz	3	Alüminia 120	15	10	10,231	10,1378	0,09310	9,100

Tablo 3.2'de çıkan sonuçlarda işlemsiz quartz fiber malzeme için kütle kaybı grafiği Şekil 3.3'de, aşınma oranı grafiği ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İşlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı grafiği

İşlemsiz quartz fiber malzemeye altı farklı açıda, 3 bar basınç altında ve 10 sn boyunca uygulanan Alümina 120 Mesh aşındırıcısı sonrasında numunelerin ilk ve son kütleleri arasında meydana gelen değişiklikler çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Çarpma açısı değeri 15° den 30 ° ye gelinceye kadar malzemedeki kütle kaybı miktarı artmıştır. Bu artış sünek malzemelerin karakteristik özelliği olup, en yüksek kütle kaybı oranının 15° - 30 ° arasında olduğunun kanıtıdır. Sonrasında açı değeri 90 °ye gelince kadar arttırılmıştır. Malzemede meydana gelen kütle kaybı doğrusal olarak azalmıştır. Oluşan Işlemsiz malzeme kütle kaybı grafiği ile boyalı malzeme kütle kaybı grafiği incelendiğinde, çarpma açısına bağlı olarak her açıda farklı sonuçlar çıkmıştır. Örneğin; 30 ° çarpma açısında işlemsiz quartz fiber malzemede meydana gelen kütle kaybı, boyalı quartz fiber malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarından azdır. Ancak çarpma açısını 90° yaptığımızda, işlemsiz quartz fiber malzemede meydana gelen kütle kybı miktarı, boyalı quartz fiber malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarından fazladır.



Şekil 3.4. İşlemsiz quartz fiber malzeme aşınma oranı grafiği

İşlemsiz quartz fiber malzemeye altı farklı açıda, 3 bar basınç altında ve 10 sn boyunca uygulanan Alümina 120 Mesh aşındırıcısı sonrasında meydana gelen aşınma oranları çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Çarpma açısı değeri 15° den 30 ° ye gelinceye kadar malzemede meydana gelen aşınma oranı artmıştır ve bu derecede maksimum aşınma oranı değerine ulaşılmıştır. Bu artış sünek malzemelerin karakteristik özelliği olup, en yüksek eroziv aşınma oranının 15° - 30 ° arasında olduğunun kanıtıdır. Sonrasında açı değeri 90 °ye gelince kadar arttırılmıştır. Malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı doğrusal olarak azalmıştır. Oluşan Işlemsiz malzeme eroziv aşınma oranı grafiği ile boyalı malzeme eroziv aşınma oranı grafiği incelendiğinde, çarpma açısına bağlı olarak her açıda farklı sonuçlar çıkmıştır. Örneğin; 30 ° çarpma açısında işlemsiz quartz fiber malzemede oluşan eroziv aşınma oranı, boyalı quartz fiber malzemede malzemede oluşan eroziv aşınma oranından daha azdır. Ancak çarpma açısını 90° yaptığımızda, işlemsiz quartz fiber malzemede oluşan eroziv aşınma oranı, boyalı qurtz fiber malzemede oluşan eroziv aşınma oranından fazladır.

3.2. Eroziv Bantlı Uygulanmış Boyalı Quartz Fiber ve Eroziv Bant Uygulanmış İşlemsiz Quartz Fiber Kompozitin Alümina 120 Aşındırıcısı Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri

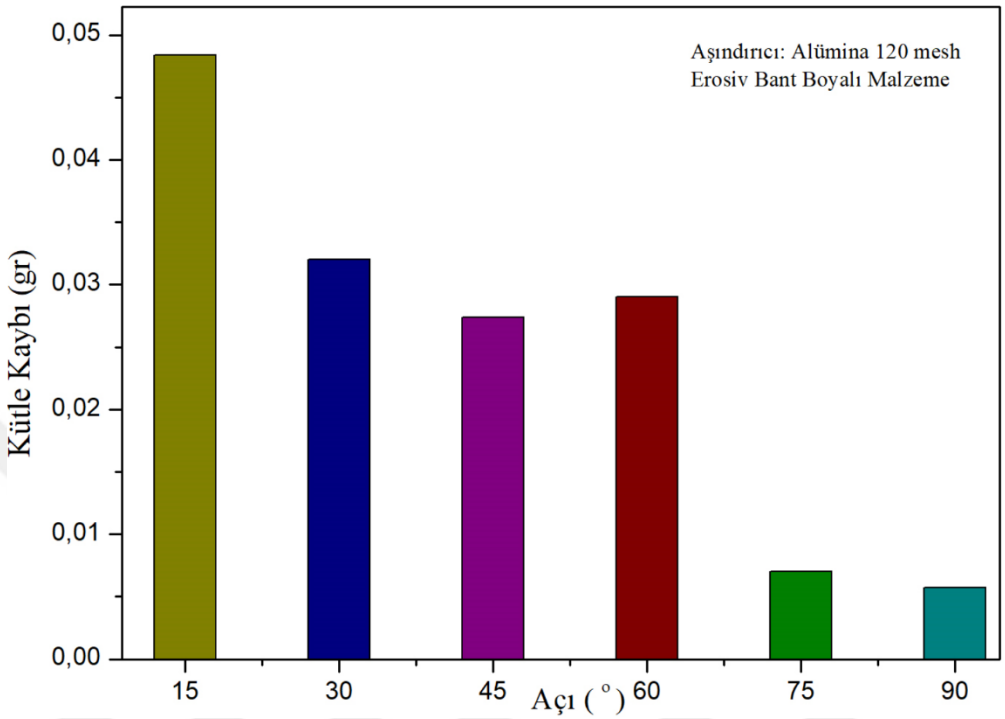
Boyalı ve işlemsiz olarak adlandırılan iki farklı numuneye tezin üzt kısımlarında bahsedilen şartlarda eroziv bant uygulaması yapılmıştır. Eroziv bant, hava araçlarının hava ile temas eden ilk yüzeylerine uygulanan bir bant çeşitidir. Bu bant, havada bulunan aşınmaya yol açabilecek partiküllerin uçak yapısına verdiği zararı minimum seviyeye indirmek için kullanılır. Eroziv bant özellikleri tezin "Malzemeler" bölümünde anlatılmıştır.

Eroziv Bant Boyalı ve Eroziv Bant işlemsiz olarak adlandırılan iki farklı numunelerin katı partikül erozoyonu davranışına kütle kaybı ve eroziv aşınma test parametlerinin etkileri incelencektir. Aşındırıcı tipi olarak Alümina 120 mesh aşındırıcıs 3 bar basınç altında uygulanmıştır. Bu uygulama, malzemelere 10 mm uzaklıktan 10 saniye boyunca altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) gerçekleştirilen katı partikül erozyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitlerin kütle kaybı ve eroziv aşınma davranışlarına partikül çarpma açısı etkilerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan Tablo 3.3'de eroziv bant uygulanmış boyalı malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları verilmiştir.

Tablo 3.3. Eroziv bantlı boyalı malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları

Hedef Malzeme	BASINÇ (bar)	AŞINDIRICI TİPİ	ÇARPMA AÇISI(°)	SÜRE (sn)	M1 (gr)	M2 (gr)	M1-M2 (gr)	Erozyon Oranı (gr x1000)
Erozyon	3	Alüminia	15	10	11,5782	11,5298	0,04840	4,180
Erozyon	3	Alüminia	30	10	10,1884	10,1564	0,03200	3,141
Erozyon	3	Alüminia	45	10	10,8553	10,8279	0,02740	2,524
Erozyon	3	Alüminia	60	10	10,2095	10,1805	0,02900	2,840
Erozyon	3	Alüminia	75	10	10,2825	10,2755	0,00700	0,681
Erozyon	3	Alüminia	90	10	10,3472	10,3415	0,00570	0,551

Tablo 3.3'te çıkan sonuçlarda eroziv bantlı boyalı malzeme için kütle kaybı grafiği Şekil 3.5'te, aşınma oranı grafiği ise Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

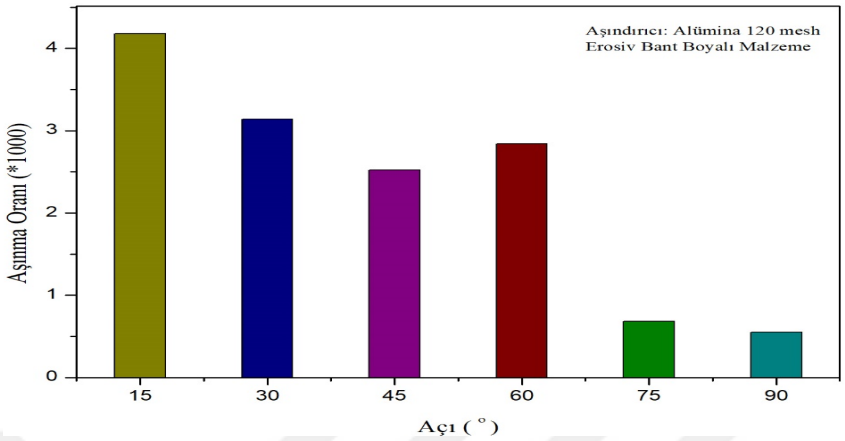


Şekil 3.5. Eroziv bantlı boyalı quartz fiber malzeme kütle kaybı

Şekil 3.5'de Eroziv bant boyalı quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası kütle kaybı miktarı çubuk grafik oalrak grafiği gösterilmiştir. Eroziv aşınma testlei sonrasında ortaya çıkan maksimum kütle kaybı 15° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarındaki azalmalar daoğrusal değildir. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum kütle kaybı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir. 30°, 45° ve 60° çarpma açılarında meydana gelen kütle kayıpları birbilerine oldukça yakındır. 75° ve 90° çarpma açılarında ise malzemede meydana gelen kütle kaybı 0,01 gr' dan bile azdır.

Malzemeye uygulanan erozyon bant uygulamasından sonra Alümina 120 aşındırıcısı uygulanmıştır. Malzemenin ilk ve son kütleleri arasında meydana gelen değişiklik gösterilmiştir. 15°'de malzemede meydana gelen kütle kaybı diğer açılara oranla en yüksek seviyededir. Ancak açı değeri arttıkça malzemede meydana gelen kütle kaybı doğru orantılı olarak azalmamıştır. 30-45-60 derecelerde meydana gelen kütle

kayıpları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte, 75 ve 90 derece açılarındaki kütle kayıpları oldukça azdır.



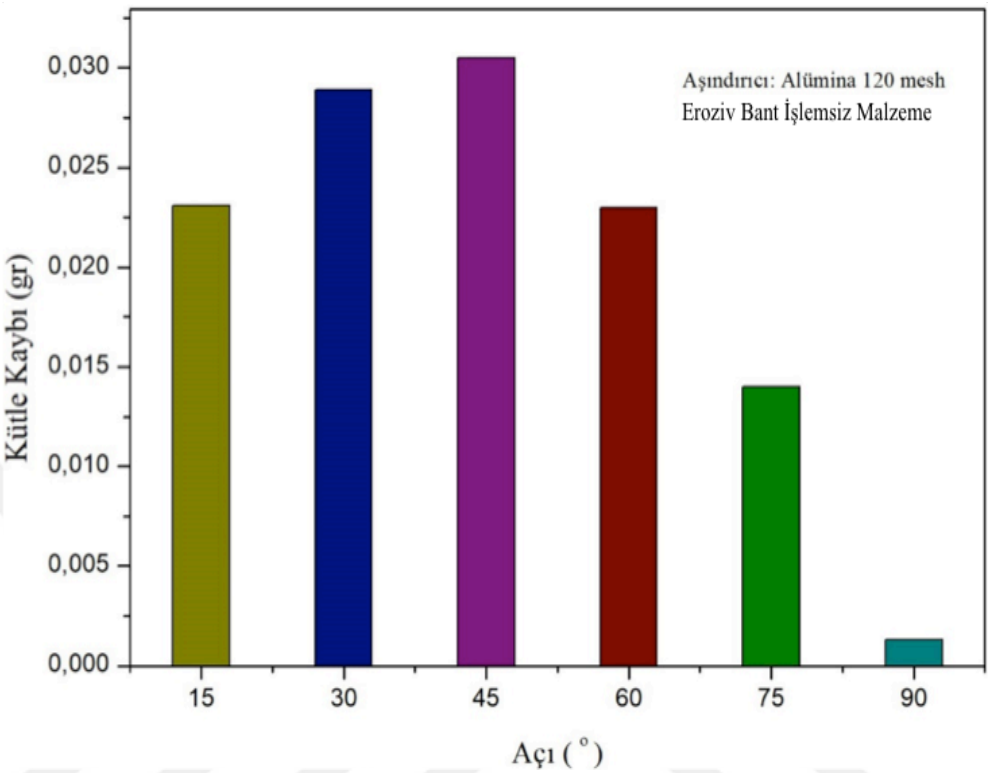
Şekil 3.6. Eroziv bantlı boyalı quartz fiber malzeme aşınma oranı

Şekil 3.6'da Eroziv bant boyalı quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası eroziv aşınma oranı çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum eroziv aşınma oranı 15° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranındaki azalmalar doğrusal değildir. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum eroziv aşınma oranı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir. 30°, 45° ve 60° çarpma açılarında meydana gelen eroziv aşınma oranları birbilerine oldukça yakındır. 75° ve 90° çarpma açılarında ise malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı 0,01 gr' dan bile azdır. Tablo 3.4'te işlemsiz malzeme kütle kaybı, aşınma oranları verilmiştir.

Tablo 3.4. İşlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı ve aşınma oranları

Hedef Malzeme	Basınç (bar)	AŞINDIRICI TİPİ	ÇARPMA AÇISI(°)	SÜRE (sn)	M1 (gr)	M2 (gr)	M1-M2 (gr)	Erozyon oranı (gr)
Erozyon Bant Işlemsiz	3	Alüminia 120	15	10	11,6013	11,5782	0,0231	1,991
Erozyon Bant Işlemsiz	3	Alüminia 120	30	10	10,2173	10,1884	0,0289	2,829
Erozyon Bant Işlemsiz	3	Alüminia 120	45	10	10,8858	10,8553	0,0305	2,802
Erozyon Bant Işlemsiz	3	Alüminia 120	60	10	10,2325	10,2095	0,0230	2,248
Erozyon Bant Işlemsiz	3	Alüminia 120	75	10	10,2839	10,2825	0,0014	0,136
Erozyon Bant Işlemsiz	3	Alüminia 120	90	10	10,3485	10,3472	0,0013	0,126

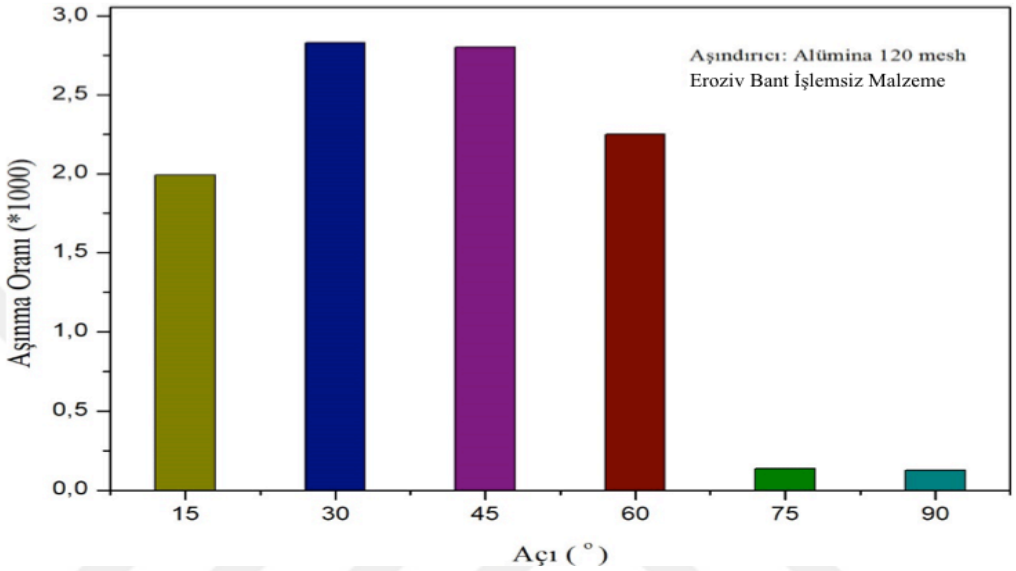
Tablo 3.4'de çıkan sonuçlarda eroziv bantlı işlemsiz malzeme için kütle kaybı grafiği Şekil 3.7'de, aşınma oranı grafiği ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı

Şekil 3.7'de Eroziv bant işlemsiz quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası kütle kaybı miktarı çubuk grafik olarak grafiği gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum kütle kaybı 45° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 15° çarpma açısından 45° çarpma açısına gelene kadar, malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarı doğrusal bir şekilde artmıştır. 60° çarpma açısında melzemede meydana gelen kütle kaybı ile 15° çarpma açısında malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarları birbirine oldukça yakındır. Açı değeri 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarındaki azalmalar doğrusal olmamaktadır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum kütle kaybı 15°-30° arasında gözlemlenmemiştir. Bunun sebebi eroziv bant uygulanmış işlemsiz fiber kompozitin yüzeyinde bununan eroziv bantın 45° çarpma açısında maksimum melzeme kaybı vermesi olarak gösterilebilir. 90° çarpma açılarında ise malzemede meydana gelen kütle kaybı 0,005 gr'dan bile azdır.

Malzemeye uygulanan erozyon bant uygulamasından sonra Alümina 120 aşındırıcısı uygulanmıştır. Malzemenin ilk ve son kütleleri arasında meydana gelen değişiklik gösterilmiştir. Açı değeri 45 dereceye gelinceye kadar malzemede meydana gelen kütle kaybı artmıştır. Sonrasında ise azalarak devam etmiştir. 90 derecede ise kütle kaybı neredeyse yoktur.



Şekil 3.8. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber malzeme aşınma oranı

Şekil 3.8'de Eroziv bant işlemsiz quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası eroziv aşınma oranı çubuk grafik olarak grafiği gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum eroziv aşınma oranı 45° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 15° çarpma açısından 45° çarpma açısına gelene kadar, malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı doğrusal bir şekilde artmıştır. 60° çarpma açısında melzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı ile 15° çarpma açısında malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı miktarları birbirine oldukça yakındır. Açı değeri 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı azalmalar doğrusal olmamaktadır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum eroziv aşınma oranı 15°-30° arasında gözlemlenmemiştir. Bunun sebebi eroziv bant uygulanmış işlemsiz fiber kompozitin yüzeyinde bununan eroziv bantın 45° çarpma açısında maksimum melzeme eroziv aşınma oranına ulaşması olarak gösterilebilir. 90° çarpma açılarında ise malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı 0,005 gr' dan bile azdır.

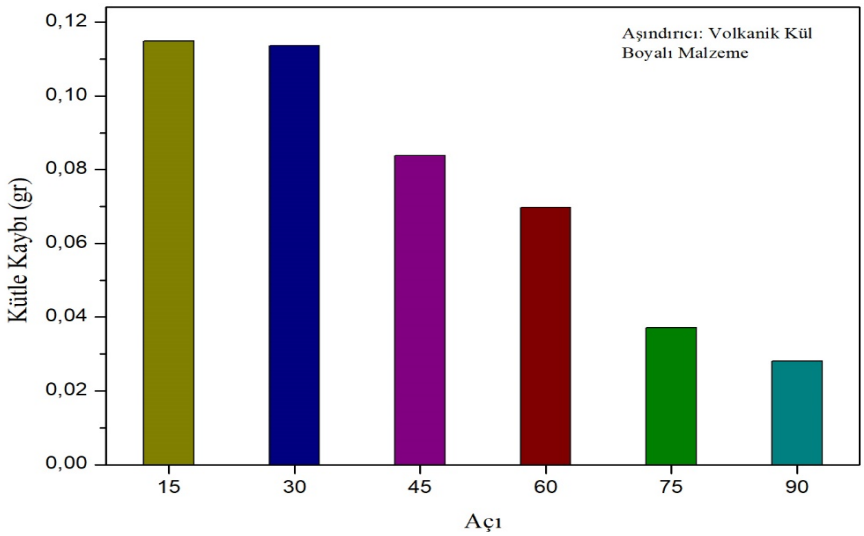
3.3. Boyalı Quartz Fiber ve İşlemsiz Quartz Fiber Kompozitin Volkanik Kül Aşındırıcısı Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri

Boyalı ve işlemsiz olarak adlandırılan iki farklı numunelerin katı partikül erozoyonu davranışına kütle kaybı ve eroziv aşınma test parametlerinin etkileri incelencektir. Aşındırıcı tipi olarak Volkanik kül aşındırıcısı 3 bar basınç altında uygulanmıştır. Bu uygulama, malzemelere 10 mm uzaklıktan 10 saniye boyunca altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) gerçekleştirilen katı partikül erozyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitlerin kütle kaybı ve eroziv aşınma davranışlarına partikül çarpma açısı etkilerinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 3.5. Boyalı quartz fiber malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları

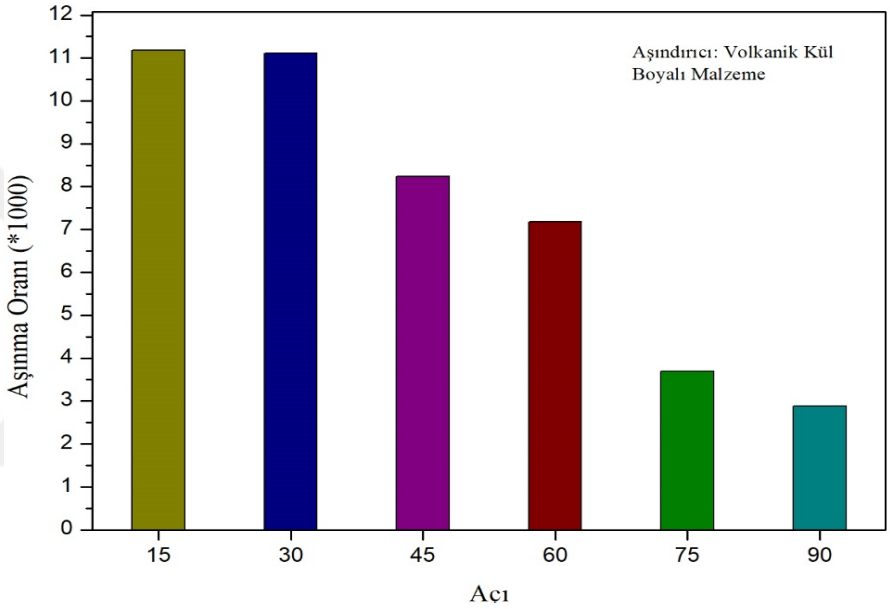
Hedef Malzeme	BASINÇ (bar)	AŞINDIRICI TİPİ	Çarpma Açısı(°)	SÜRE (sn)	M1 (gr)	M2 (gr)	M1-M2 (gr)	Erozyon Oranı
Boyalı	3	Volkanik Kül	90	10	9,759	9,7317	0,0281	2,879157
Boyalı	3	Volkanik Kül	75	10	10,022	9,9858	0,0371	3,701523
Boyalı	3	Volkanik Kül	60	10	9,717	9,6478	0,0697	7,17262
Boyalı	3	Volkanik Kül	45	10	10,182	10,0982	0,0838	8,230217
Boyalı	3	Volkanik Kül	30	10	10,223	10,1097	0,1136	11,11187
Boyalı	3	Volkanik Kül	15	10	10,277	10,1629	0,1149	11,17943

Tablo 3.5'te çıkan sonuçlarda boyalı quartz fiber malzeme için kütle kaybı grafiği Şekil 3.9'da, aşınma oranı grafiği ise Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Boyalı quartz fiber malzeme volkanik kül kütle kaybı

Şekil 3.9'da boyalı quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, ,volkanik Kül aşındırıcısı sonrası kütle kaybı miktarı çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum kütle kaybı 15°-30° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarı da doğrusal bir şekilde azalmıştır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum kütle kaybı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir. 90° de ise malzemede meydana gelen kütle kaybı en düşük seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 3.10. Boyalı quartz fiber malzeme aşınma oranı

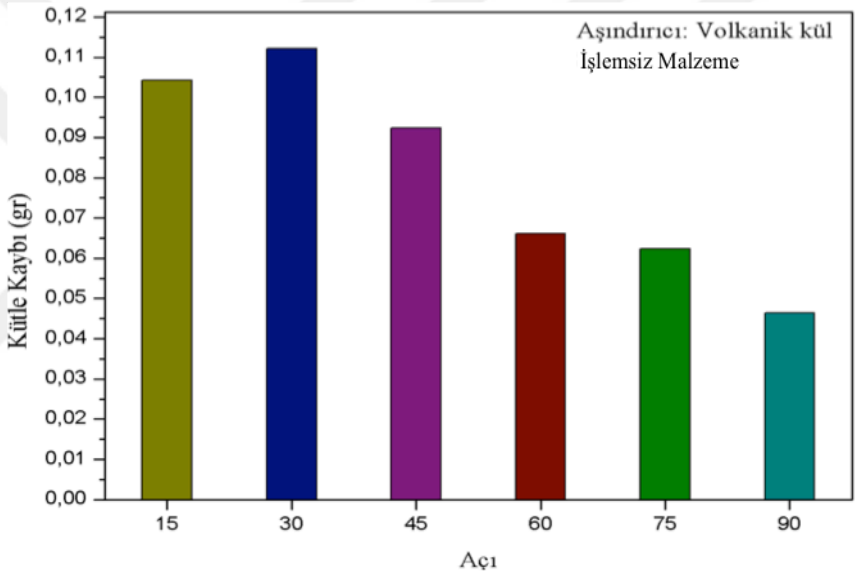
Şekil 3.10'da boyalı quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, ,volkanik Kül aşındırıcısı sonrası eroziv aşınma oranı çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum eroziv aşınma oranı 15°-30° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 45° çarpma açısından 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana oluşan eroziv aşınma oranı da doğrusal bir şekilde azalmıştır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum eroziv aşınma oranı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir. 90° de ise malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı en düşük seviyeye ulaşmıştır.

Oluşturulan Tablo 3.6'da işlemsiz quartz fiber malzemeye altı farklı açıda uygulama sonrası kütle kaybı ve aşınma oranları verilmiştir.

Tablo 3.6. İşlemsiz quartz fiber malzemenin kütle kaybı ve aşınma oranları

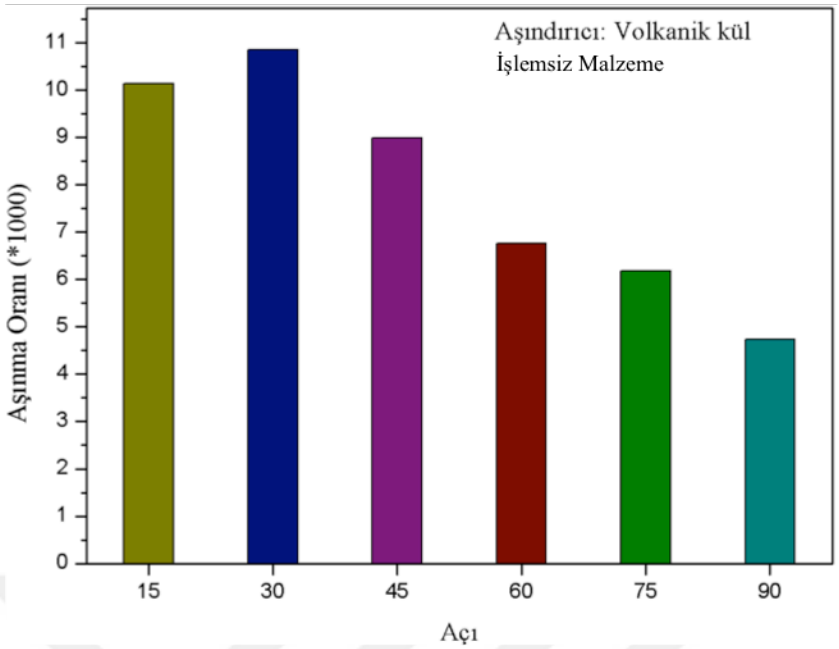
Hedef Malzeme	BASINÇ (bar)	AŞINDIRICI TİPİ	ÇARPMA AÇISI(°)	SÜRE (sn)	M1 (gr)	M2 (gr)	M1-M2 (gr)	EROZYON ORANI (grx1000)
İşlemsiz	3	Volkanik Kül	90	10	9,8063	9,7598	0,0465	4,74184963
İşlemsiz	3	Volkanik Kül	75	10	10,0853	10,0229	0,0624	6,18722299
İşlemsiz	3	Volkanik Kül	60	10	9,7836	9,7175	0,0661	6,75620426
İşlemsiz	3	Volkanik Kül	45	10	10,2743	10,182	0,0923	8,98358039
İşlemsiz	3	Volkanik Kül	30	10	10,3355	10,2233	0,1122	10,8557883
İşlemsiz	3	Volkanik Kül	15	10	10,382	10,2778	0,1042	10,1383565

Tablo 3.6'da çıkan sonuçlarda işlemsiz quartz fiber malzeme için kütle kaybı grafiği Şekil 3.11'de, aşınma oranı grafiği ise Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. İşlemsiz quartz fiber malzeme kütle kaybı

Şekil 3.11'de işlemsiz quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, ,Volkanik Kül aşındırıcısı sonrası kütle kaybı miktarı çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum kütle kaybı 30° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 30° çarpma açısından 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarı doğrusal bir şekilde azalmamıştır. 60° ve 75° çarpma açılarında işlemsiz qurtz fiber malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarları birbirlerine oldukça yakındır. 90° de ise malzemede meydana gelen kütle kaybı biraz daha azalmış ve en düşük seviyeye ulaşmıştır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum kütle kaybı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir.



Şekil 3.12. İşlemsiz quartz fiber malzeme aşınma oranı

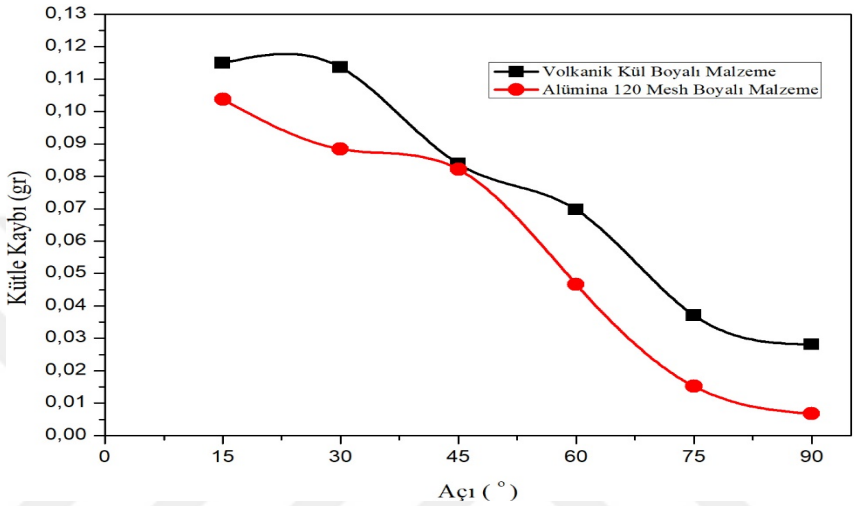
Şekil 3.12'de işlemsiz quartz fiber malzemeye 6 farklı açıda uygulanan, ,Volkanik Kül aşındırıcısı sonrası eroziv aşınma oranı çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Eroziv aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan maksimum eroziv aşınma oranı 30° çarpma açısında görüldüğü belirlenmiştir. Açı değeri 30° çarpma açısından 90° ye doğru arttıkça malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı miktarı doğrusal bir şekilde azalmamıştır. 60° ve 75° çarpma açılarında işlemsiz qurtz fiber malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranları birbirlerine oldukça yakındır. 90° de ise malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranı biraz daha azalmış ve en düşük seviyeye ulaşmıştır. Sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum eroziv aşınma oranı 15°-30° arasında gözlemlenmiştir.

3.4. Boyalı Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 aşındırıcısı ve Volkanik Kül Aşındırıcısı Uygulanması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması

Boyali quartz fiber kompozite Alümina 120 aşındırıcı ve Volkanik Kül aşındırıcısı uygulaması sonrası katı partikül erozoyonu davranışına kütle kaybı ve eroziv aşınma test parametlerinin etkileri incelenmiştir. İki farklı aşındırıcı tipi 3 bar basınç altında malzmelere uygulanmıştır. Bu uygulama, malzemelere 10 mm uzaklıktan 10 saniye boyunca altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) gerçekleştirilen katı partikül erozyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Boyalı quartz fiber

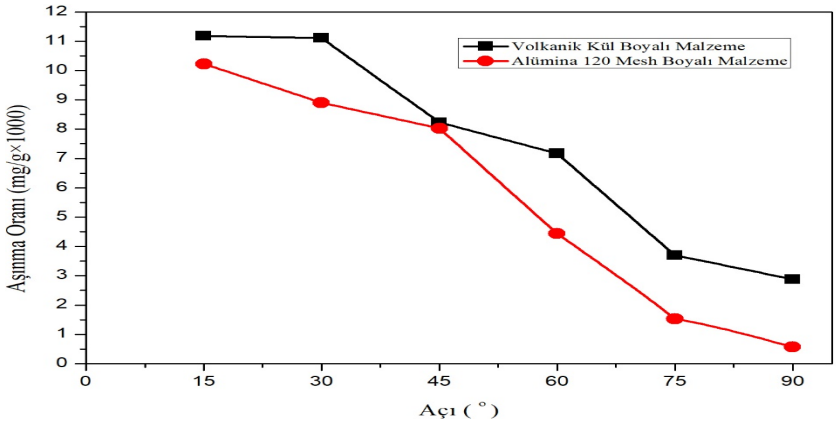
kompozitlerin her iki aşındırıcı tipinde de kütle kaybı ve eroziv aşınma davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Şekil 3.13'de boyalı quartz fiber malzemeye uygulanan alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcıları sonrası kütle kaybı karşılaştırması, Şekil 3.14'te ise aşınma oranı karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.13. Boyalı quartz fiber kompozit kütle kaybı

Şekil 3.13'te boyalı quartz fiber malzemeye uygulanan alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcıları sonrası kütle kaybı karşılaştırması dğrusal bir grafikte incelenmiştir. Alümina 120 mesh aşındırıcısı kırmızı çizgi, volkanik kül aşındırıcısı ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak volanik kül aşındırıcısının boyalı qaurtz fiber malzeme üzerinde oluşturduğu kütle kaybı, alümina 120 mesh aşındırıcısının boyalı quartz fiber malzeme üzerinde oluşturduğu kütle kaybı miktarından daha fazladır. Üstelik bu malzeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Sadece 45° çarpma açısında her iki aşındırıcı tipi içinde malzeme üzerinde oluşturdukları kütle kayıpları birbirlerine oldukça yakındır. Her iki aşındırıcı tipi içinde çarpma açısı 15° olduğunda maksimum kütle kayıpları yaşanmıştır. Volkanik kül aşındırıcısının 90° çarpma açısında malzemede meydana getirdiği kütle kaybı miktarı, alümina 120 mesh aşındırıcısının 75° çarpma açısında malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki, boyalı quartz fiber malzeme için volkanik kül aşındırıcısı alümina 120 mesh aşındırıcısına göre altı farklı çarpma açısında da daha fazla kütle kaybına yol açmıştır.



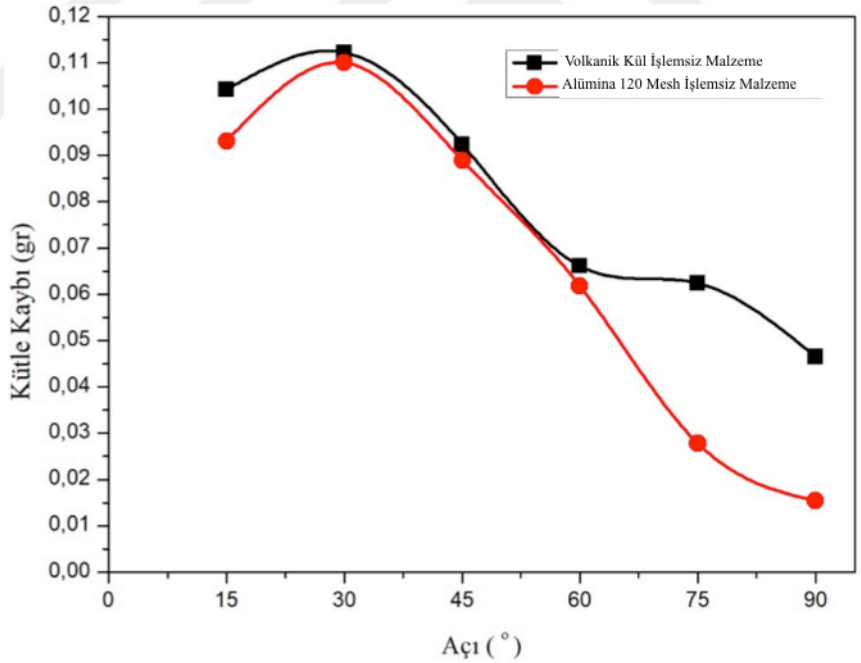
Şekil 3.14. Boyalı quartz fiber kompozit aşınma oranı

Şekil 3.14'de boyalı quartz fiber malzemeye uygulanan alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcıları sonrası eroziv aşınma oranı karşılaştırması doğrusal bir grafikte incelenmiştir. Alümina 120 mesh aşındırıcısı kırmızı çizgi, volkanik kül aşındırıcısı ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak volanik kül aşındırıcısının boyalı qaurtz fiber malzeme üzerinde oluşturduğu eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının boyalı quartz fiber malzeme üzerinde oluşturduğu eroziv aşınma oranından daha fazladır. Üstelik bu durum malzemeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Sadece 45° çarpma açısında her iki aşındırıcı tipi içinde malzeme üzerinde oluşturdukları eroziv aşınma oranları birbirlerine oldukça yakındır. Her iki aşındırıcı tipi içinde çarpma açısı 15° olduğunda maksimum eroziv aşınma oranı yaşanmıştır. Volkanik kül aşındırıcısının 90° çarpma açısında malzemede meydana getirdiği eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının 75° çarpma açısında malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki, boyalı quartz fiber malzeme için volkanik kül aşındırıcısı alümina 120 mesh aşındırıcısına göre altı farklı çarpma açısında da daha fazla eroziv aşınma oranına yol açmıştır. Bölüm içerisinde verilen grafikler incelendiğinde quartz fiber erozyon oranı değerinin kullanılan aşındırıcıların boyutlarına bağlı olarak önemli bir değişim gösterdiği sonucuna varılmıştır. Küçük partiküllerin büyük partiküllere kıyasla quartz fiberde daha az eroziv aşınma oranına yol açtıkları belirlenmiştir. Bu durumun küçük partiküllerin büyük partiküllerle karşılaştırıldığında hedef malzemeye daha yüksek hızlarda çarpıp, daha dar noktaya temas etmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

3.5. İşlemsiz Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 Aşındırıcısı ve Volkanik Kül Aşındırıcısı Uygulanması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması

Işlemsiz quartz fiber kompozite Alümina 120 aşındırıcı ve Volkanik Kül aşındırıcısı uygulaması sonrası katı partikül erozoyonu davranışına kütle kaybı ve eroziv aşınma test parametlerinin etkileri incelenmiştir. İki farklı aşındırıcı tipi 3 bar basınç altında malzmelere uygulanmıştır. Bu uygulama, malzemelere 10 mm uzaklıktan 10 saniye boyunca altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) gerçekleştirilen katı partikül erozyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Işlemsiz quartz fiber kompozitlerin her iki aşındırıcı tipinde de kütle kaybı ve eroziv aşınma davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

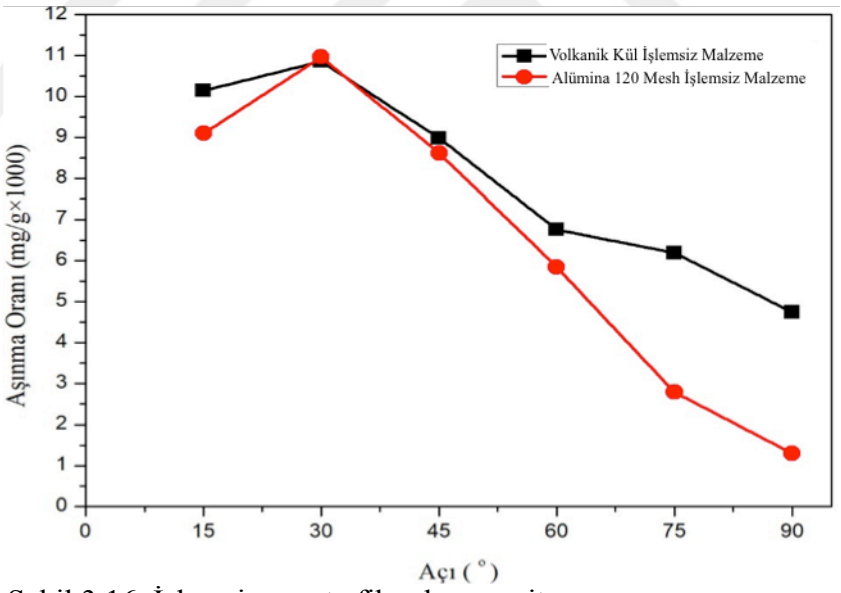
Şekil 3.15'de işlemsiz quartz fiber malzemeye uygulanan alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcıları sonrası kütle kaybı karşılaştırması, Şekil 3.16'da ise aşınma oranı karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.15. İşlemsiz quartz fiber kompozit kütle kaybı

Şekil 3.15'de işlemsiz quartz fiber malzemeye uygulanan alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcıları sonrası kütle kaybı karşılaştırması dğrusal bir grafikte incelenmiştir. Alümina 120 mesh aşındırıcısı kırmızı çizgi, volkanik kül aşındırıcısı ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak volanik kül aşındırıcısının işlemsiz qaurtz fiber malzeme üzerinde oluşturduğu kütle

kaybı, alümina 120 mesh aşındırıcısının işlemsiz quartz fiber malzeme üzerinde oluşturduğu kütle kaybı miktarından daha fazladır. Üstelik bu malzeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Ancak 30°, 45° ve 60° çarpma açısılarında her iki aşındırıcı tipi içinde malzeme üzerinde oluşturdukları kütle kayıpları birbirlerine oldukça yakındır. Her iki aşındırıcı tipi içinde çarpma açısı 30° olduğunda maksimum kütle kayıpları yaşanmıştır. Volkanik kül aşındırıcısının 90° çarpma açısında malzemede meydana getirdiği kütle kaybı miktarı, alümina 120 mesh aşındırıcısının 75° çarpma açısında malzemede meydana gelen kütle kaybı miktarından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Her iki aşındırıcı tipi içinde 90° çarpma açısı verilerine bakıldığında volkanik kül aşındırışında meydan a gelen kütle kaybı, alümina 120 mesh aşındırışında meydana gelen kütle kaybının yaklaşık 5 katı kadardır. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki, işlemsiz quartz fiber malzeme için volkanik kül aşındırıcısı alümina 120 mesh aşındırıcısına göre altı farklı çarpma açısında da daha fazla kütle kaybına yol açmıştır.



Şekil 3.16. İşlemsiz quartz fiber kompozit aşınma oranı

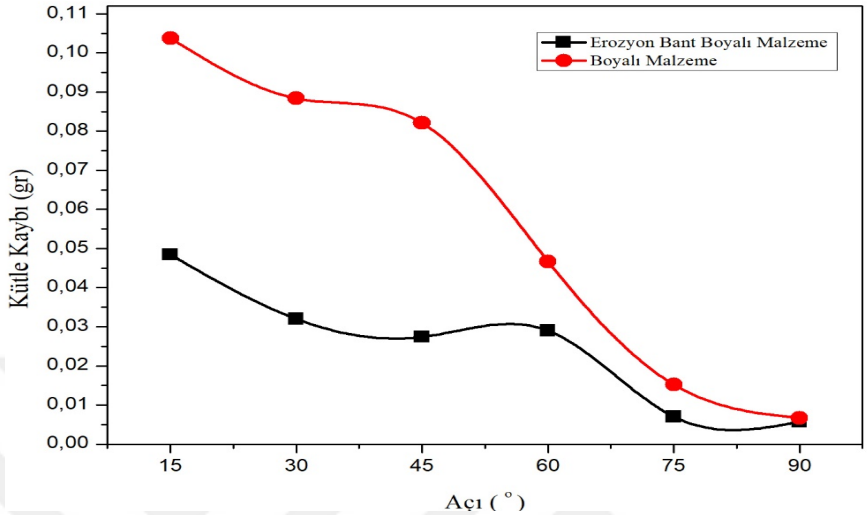
Şekil 3.16'da işlemsiz quartz fiber malzemeye uygulanan alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcıları sonrası eroziv aşınma oranı karşılaştırması dğrusal bir grafikte incelenmiştir. Alümina 120 mesh aşındırıcısı kırmızı çizgi, volkanik kül aşındırıcısı ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak volanik kül aşındırıcısının işlemsiz qaurtz fiber malzeme üzerinde oluşturduğu eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının işlemsiz quartz fiber malzeme

üzerinde oluşturduğu eroziv aşınma oranı miktarından daha fazladır. Üstelik bu malzeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Ancak 30°, 45° ve 60° çarpma açısılarında her iki aşındırıcı tipi içinde malzeme üzerinde oluşturdukları eroziv aşınma oranları birbirlerine oldukça yakındır. Her iki aşındırıcı tipi içinde çarpma açısı 30° olduğunda maksimum eroziv aşınma oranları yaşanmıştır. Volkanik kül aşındırıcısının 90° çarpma açısında malzemede meydana getirdiği eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının 75° çarpma açısında malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Her iki aşındırıcı tipi içinde 90° çarpma açısı verilerine bakıldığında volkanik kül aşındırışında meydan a gelen eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırışında meydana gelen eroziv aşınma oranının yaklaşık 5 katı kadardır. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki, işlemsiz quartz fiber malzeme için volkanik kül aşındırıcısı alümina 120 mesh aşındırıcısına göre altı farklı çarpma açısında da daha fazla eroziv aşınma oranına yol açmıştır.

3.6. Boyali Quartz Fiber Kompozit ve Eroziv Bant Uygulanmış Boyalı Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 Aşındırıcı Uygulaması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması

Alümina 120 mesh aşındırıcısı boyali quartz fiber kompozite ve eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozite uygulaması sonrası katı partikül erozoyonu davranışına kütle kaybı ve eroziv aşınma test parametlerinin etkileri incelenmiştir. Aşındırıcı tipi 3 bar basınç altında iki farklı malzemeye de uygulanmıştır. Bu uygulama, malzemelere 10 mm uzaklıktan 10 saniye boyunca altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) gerçekleştirilen katı partikül erozyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Boyali quartz fiber kompozit ve eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitin alümina 120 mesh aşındırıcı tipinde de kütle kaybı ve eroziv aşınma davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

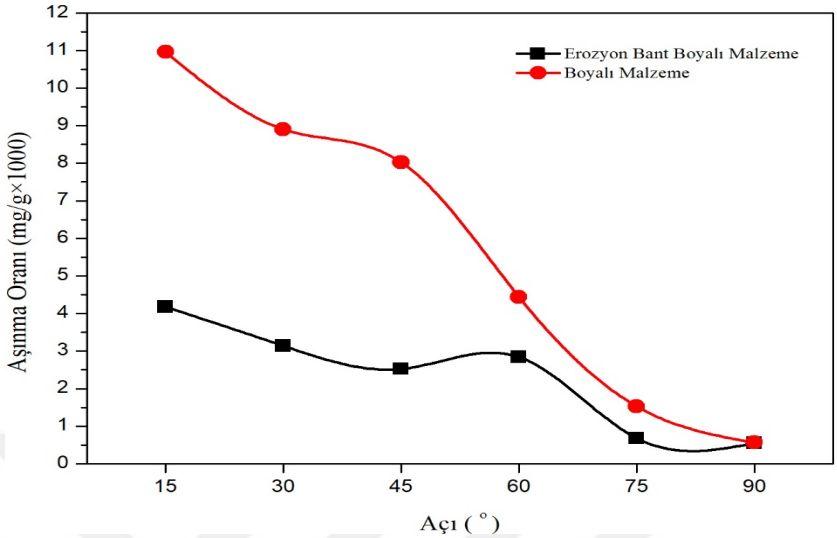
Şekil 3.17'de boyali quartz fiber kompozite ve eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcısı uygulanması sonrası kütle kaybı karşılaştırması, Şekil 3.18'de ise aşınma oranı karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.17. Alümina 120 mesh aşındırıcıs sonrası kütle kaybı

Şekil 3.17'de boyalı quartz fiber kompozite ve eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozite uygulanan alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası kütle kaybı karşılaştırması doğrusal bir grafikte incelenmiştir. Boyalı quartz fiber kompozitte meydana gelen kütle kayıpları kırmızı çizgi, eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitte meydana gelen kütle kayıpları ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak, alümina 120 mesh aşındırıcısının eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği kütle kaybı, alümina 120 mesh aşındırıcısının boyalı quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği kütle kaybından daha az olduğu söylenebilir. Üstelik bu durum malzemeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Sadece 90° çarpma açısında her iki aşındırıcı tipi içinde malzeme üzerinde oluşturdukları kütle kaybı miktarları birbirlerine oldukça yakındır. Her iki malzeme içinde çarpma açısı 15° olduğunda maksimum kütle kaybı miktarı yaşanmıştır. Alümina 120 mesh aşındırıcısının 90° çarpma açısı dışındaki diğer tüm açılarda boyalı quartz fiber kompozitte meydana getirdiği kütle kaybı miktarı, alümina 120 mesh aşındırıcısının 90° çarpma açısı dışındaki diğer tüm açılarda eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitte meydana getirdiği kütle kaybı miktarının 2 katı kadar olduğu gözlemlenmişdir. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki, boyalı quartz fiber

kompozite eroziv bant uygulaması sonrasında, 6 farklı çarpma açısında meydana gelen kütle kayıplarında azalmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 3.18. Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası aşınma oranı

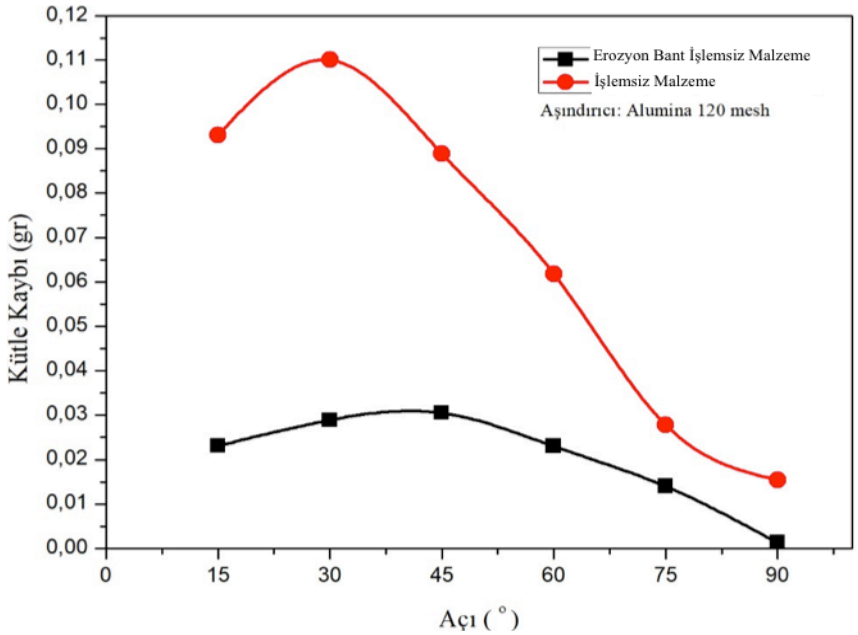
Şekil 3.18'de boyalı quartz fiber kompozite ve eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozite uygulanan alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası eroziv aşınma oranı karşılaştırması doğrusal bir grafikte incelenmiştir. Boyalı quartz fiber kompozitte meydana gelen eroziv aşınma oranı kırmızı çizgi, eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitte meydana gelen eroziv aşınma oranı ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak, alümina 120 mesh aşındırıcısının eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının boyalı quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği eroziv aşınma oranından daha az olduğu söylenebilir. Üstelik bu durum malzemeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Sadece 90° çarpma açısında her iki malzeme içinde malzeme üzerinde oluşturdukları eroziv aşınma oranları birbirlerine oldukça yakındır. Her iki aşındırıcı tipi içinde çarpma açısı 15° olduğunda maksimum eroziv aşınma oranı yaşanmıştır. Alümina 120 mesh aşındırıcısının 90° çarpma açısı dışındaki diğer tüm açılarda boyalı quartz fiber kompozitte oluşturduğu eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının 90° çarpma açısı dışındaki diğer tüm açılarda eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitte meydana getirdiği eroziv aşınma oranının 2 katı kadar olduğu gözlemlenmişdir. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki,

boyalı quartz fiber kompozite eroziv bant uygulaması sonrasında, 6 farklı çarpma açısında meydana gelen eroziv aşınma oranlarında azalmalar gözlemlenmiştir.

3.7. İşlemsiz Quartz Fiber Kompozit ve Eroziv Bant Uygulanmış Boyalı Quartz Fiber Kompozite Alümina 120 Aşındırıcı Uygulaması Sonrası Eroziv Aşınma Özellikleri Karşılaştırılması

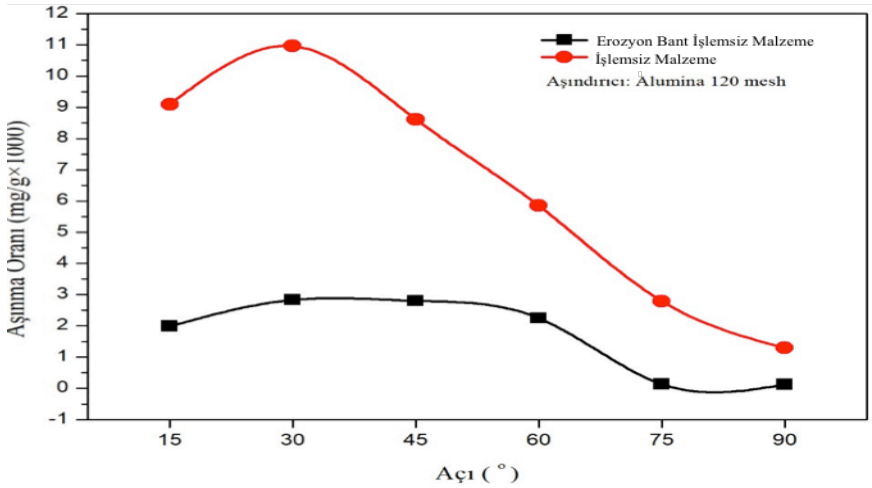
Alümina 120 mesh aşındırıcısı işlemsiz quartz fiber kompozite ve eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozite uygulaması sonrası katı partikül erozoyonu davranışına kütle kaybı ve eroziv aşınma test parametlerinin etkileri incelenmiştir. Aşındırıcı tipi 3 bar basınç altında iki farklı malzemeye de uygulanmıştır. Bu uygulama, malzemelere 10 mm uzaklıktan 10 saniye boyunca altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) gerçekleştirilen katı partikül erozyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Işlemsiz quartz fiber kompozit ve eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitin alümina 120 mesh aşındırıcı tipinde de kütle kaybı ve eroziv aşınma davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Şekil 3.19'da kütle kaybı karşılaştırması, Şekil 3.20'de ise aşınma oranı karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.19. Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası kütle kaybı

Şekil 3.19'da işlemsiz quartz fiber kompozite ve eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozite uygulanan alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası kütle kaybı karşılaştırması doğrusal bir grafikte incelenmiştir. Işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana gelen kütle kayıpları kırmızı çizgi, eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana gelen kütle kayıpları ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak, alümina 120 mesh aşındırıcısının eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği kütle kaybı, alümina 120 mesh aşındırıcısının işlemsiz quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği kütle kaybından daha az olduğu çok aşikardır. Üstelik bu durum malzemeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Sadece 75° ve 90° çarpma açısında her iki aşındırıcı tipi içinde malzeme üzerinde oluşturdukları kütle kaybı miktarları birbirlerine çok olmasada yakındır. Işlemsiz quartz fiber kompozitte çarpma açısı 30° olduğunda maksimum kütle kaybı miktarı yaşanmıştır. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitte ise çarpma açısı 30° - 45° olduğunda maksimum kütle kaybı miktarı yaşanmıştır. Alümina 120 mesh aşındırıcısının tüm açılarda işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana getirdiği kütle kaybı miktarı, alümina 120 mesh aşındırıcısının tüm açılarda eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana getirdiği kütle kaybı miktarının çok üzerinde olduğu gözlemlenmişdir. Özellikle 30° çarpma açısında bu oran beş kata yakındır. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki, işlemsiz quartz fiber kompozite eroziv bant uygulaması sonrasında, 6 farklı çarpma açısında meydana gelen kütle kayıplarında azalmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 3.20. Alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası aşınma oranı

Şekil 3.20'de işlemsiz quartz fiber kompozite ve eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozite uygulanan alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası eroziv aşınma oranı karşılaştırması doğrusal bir grafikte incelenmiştir. Işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana gelen eroziv aşınma oranı kırmızı çizgi, eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana gelen eroziv aşınma oranı ise siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Genel olarak grafik incelendiğinde ilk olarak, alümina 120 mesh aşındırıcısının eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının işlemsiz quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği eroziv aşınma oranından daha az olduğu çok aşikardır. Üstelik bu durum malzemeye uygulanan altı farklı çarpma açısı içinde doğrudur. Sadece 75° ve 90° çarpma açısında her iki aşındırıcı tipi içinde malzeme üzerinde oluşturdukları eroziv aşınma oranları birbirlerine çok olmasada yakındır. Işlemsiz quartz fiber kompozitte çarpma açısı 30° olduğunda maksimum eroziv aşınma oranı yaşanmıştır. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitte ise çarpma açısı 30° - 45° olduğunda maksimum eroziv aşınma oranı yaşanmıştır. Alümina 120 mesh aşındırıcısının tüm açılarda işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana getirdiği eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının tüm açılarda eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitte meydana getirdiği eroziv aşınma oranından çok üzerinde olduğu gözlemlenmişdir. Özellikle 30° çarpma açısında bu oran beş kata yakındır. Bu grafiğe bakarak net olarak söylenebilir ki, işlemsiz quartz fiber kompozite eroziv bant uygulaması sonrasında, 6 farklı çarpma açısında meydana gelen eroziv aşınma oranlarında azalmalar gözlemlenmiştir.

3.8. Tüm Test Numulerin Eroziv Aşınma Testleri Sonrası Yüzeylerinin Lazer 3-D Profilometre ile Analizi

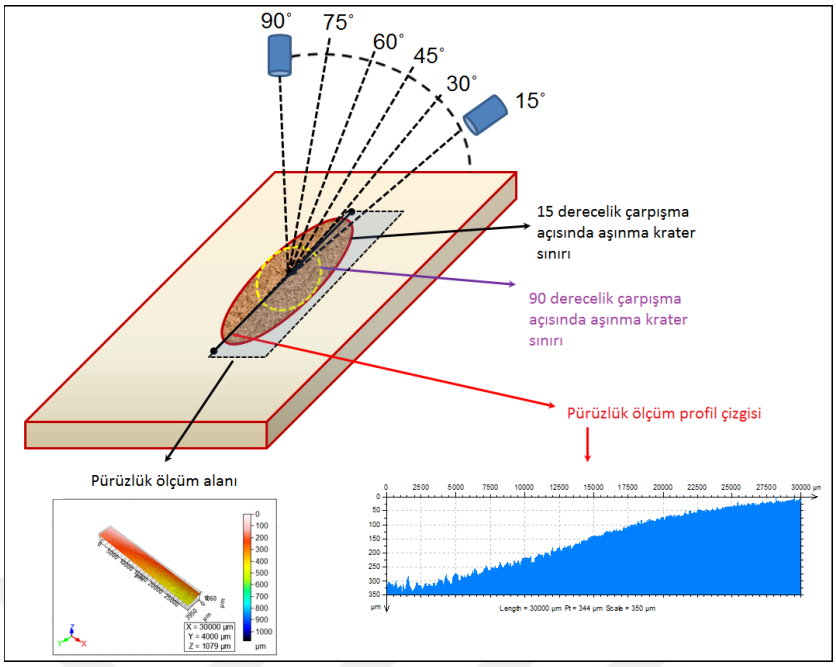
Farklı şekilde yüzeylere sahip radome malzemesinin katı partikül erozyon testleri sonrası yüzeylerinde oluşan hasarlar ve pürüzlülük değerleri, bu bölümde temassız lazer profilometre taramalarından elde edilen sonuçlar irdelenerek incelenmiştir. Farklı açılarda, yüzeyi işlemsiz, yüzeyi boyalı ve yüzeyine erozif bant yapıştırılmış numuneler; alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcı ile aşındırılan numune yüzeylerinin pürüzlülüğü ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük tarama parametrelerinin etkisi bölüm içinde ayrı ayrı başlıklar altında verilmiştir. Katı partikül erozyonu

testleri sonrası kompozitlerin yüzey hasarlarını değerlendirmek amacıyla Nanovea PS50 Temassız üç boyutlu profilometre kullanılarak yüzey pürüzlülük taraması gerçekleştirilmiştir. Ham görüntüler elde edildikten sonra profil pürüzlülük değerleri için erozyon kraterinin tam orta noktasından alınan kesit kullanılmış, böylece hasar kraterinin derinliği hakkında en sağlıklı bilgi elde edilmeye çalışılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili parametreler olan S_a, S_v, S_z ve S_p ile çizgisel pürüzlülükle ilgili parametreler olan R_a, R_v, R_z ve R_p değerleri elde edilerek oluşturulan grafiklerle irdelenmiştir. S_a değeri, pürüzlülük açısından, taranan yüzeydeki referans aşınmamış yüzeydeki tüm tepe ve tüm çukur noktalarının ortalaması alınıp ölçüm sayısına profilometre programı tarafından bölünerek elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeridir. Yüzey pürüzlülük değerlendirmesinde bir başka parametre S_p değeridir. S_p değeri, katı parikül erozyonu testleri sonrası malzeme yüzeyinde oluşan yüzeyden yukarıya doğru çıkmış tepelerin normal eksene dik uzaklığını tanımlar. S_v değeri ise aşınma sonrası yüzeyde oluşan vadi şeklindeki oyukların derinlik bilgisini ifade etmektedir. Son olarak değerlendirilen yüzey pürüzlülük parametresi S_z değeridir ve yüzeydeki tepelerin üst noktasıyla vadilerin dip noktası arasındaki dikey mesafeyi tanımlar.

R_a, yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y- koordinatlarının mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalamasıdır. R_a aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünün y-koordinatlarının merkez hattında ortalama aritmetik sapmasını tanımlar.

Yüzey pürüzlülük profilinin verilen ölçü bölümündeki en geniş profil tepesi R_p nin yüksekliğine ve en derin profil koyağı R_v derinliğine dayanan değerdir.

R_z ,veya yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafe, yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelen y-koordinat aralıklarının ölçülmesine yol teşkil eder. Yüzey pürüzlülük ölçüm şeması şekil 3.21'de verilmiştir.

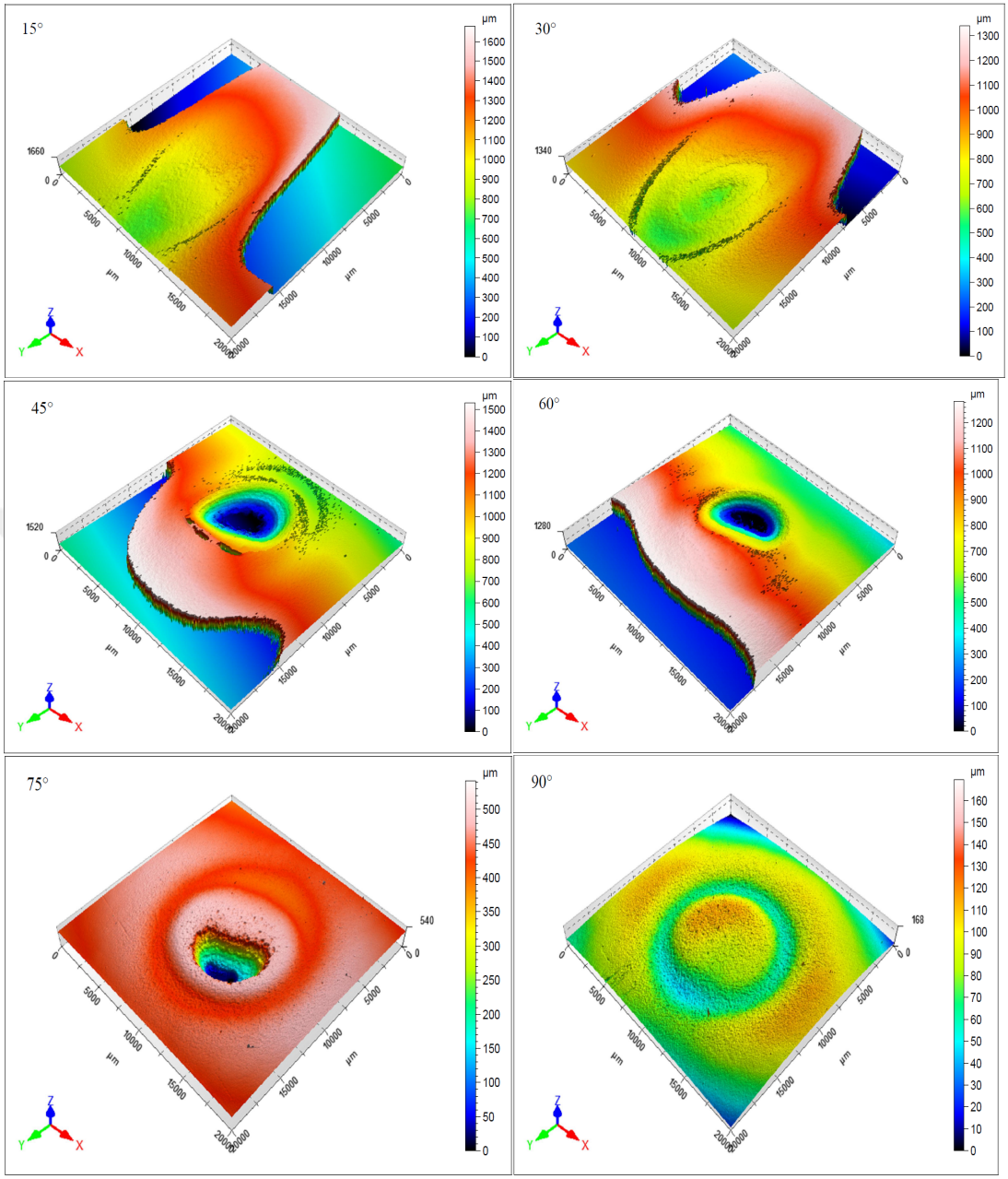


Şekil 3.21. Yüzey pürüzlülük ölçüm şeması

3.8.1. Boyalı quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi

Boyalı quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcısı 6 farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) uygulandıktan sonra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir.

Şekil 3.22'de, boyalı quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili profilometre taramalar verilmiştir.

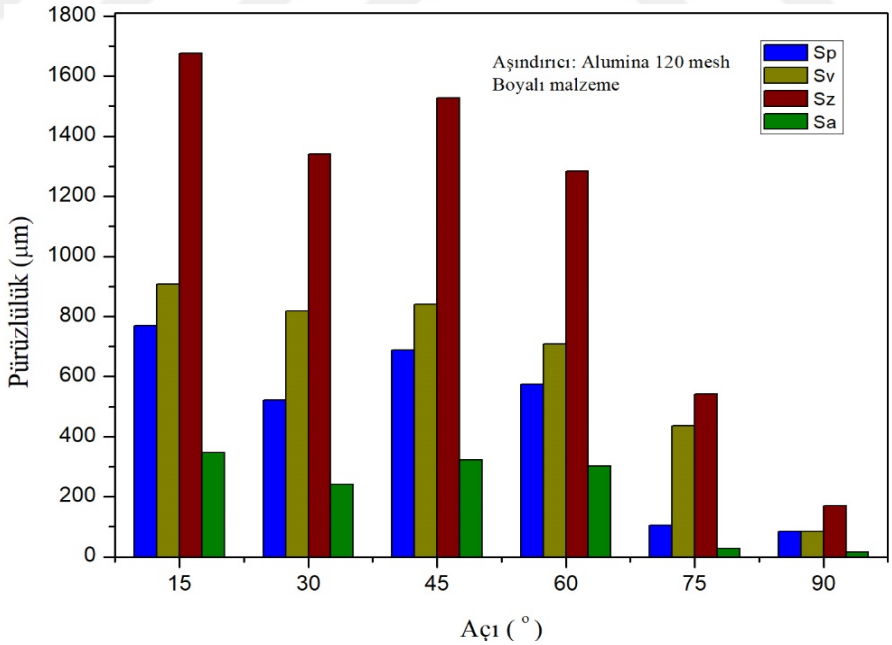


Şekil 3.22. Boyalı quartz SA resimleri

Şekil 3.22'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir. Boyalı quartz fiber radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, düşük çarpma açılarında (15°,30° ve 45° gibi) benzer değerler gösterirken dik çarpma açılarına doğru çıkıldığında ortalama yüzey pürüzlülük değerinin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bu durum düşük çarpma açılarında aşındırıcı partiküllerin sahip oldukları büyük yatay kuvvet bileşeni ve küçük dikey kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyini çizme eğiliminde olmalarından kaynaklanmaktadır. Yüksek çarpma açılarında ise aşındırıcı partiküller büyük dikey kuvvet bileşeni ve düşük yatay kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyine saplanma eğilimindedirler Dik çarpma açılarında aşındırıcı partiküller dövme şeklinde yüzeye etki ettiği için yüzey pürüzlülüğü değerindeki azalma buna bağlanabilir. Vadi şeklindeki oyukların derinlik değeri de maksimum değerini 15° çarpma açısında ortaya çıkarırken, minimum değeri 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Mikro sürme şeklinde yüzeyde oluşan hasar mekanizması 15° derecede etki olarak yüzeyden kazıma işlemi yaparak hem derin vadilerin oluşmasına hem de aşındırıcı partikülün enerjisinin tükendiği sırada kazıdığı ve plastik deformasyona uğrayan malzemenin yığıntı şeklinde birikerek tepeler oluşturmasına sebep olmaktadır.

Şekil 3.23'de, boyalı quartz fiber kompozite uygulanan aşındırıcı sonrası yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

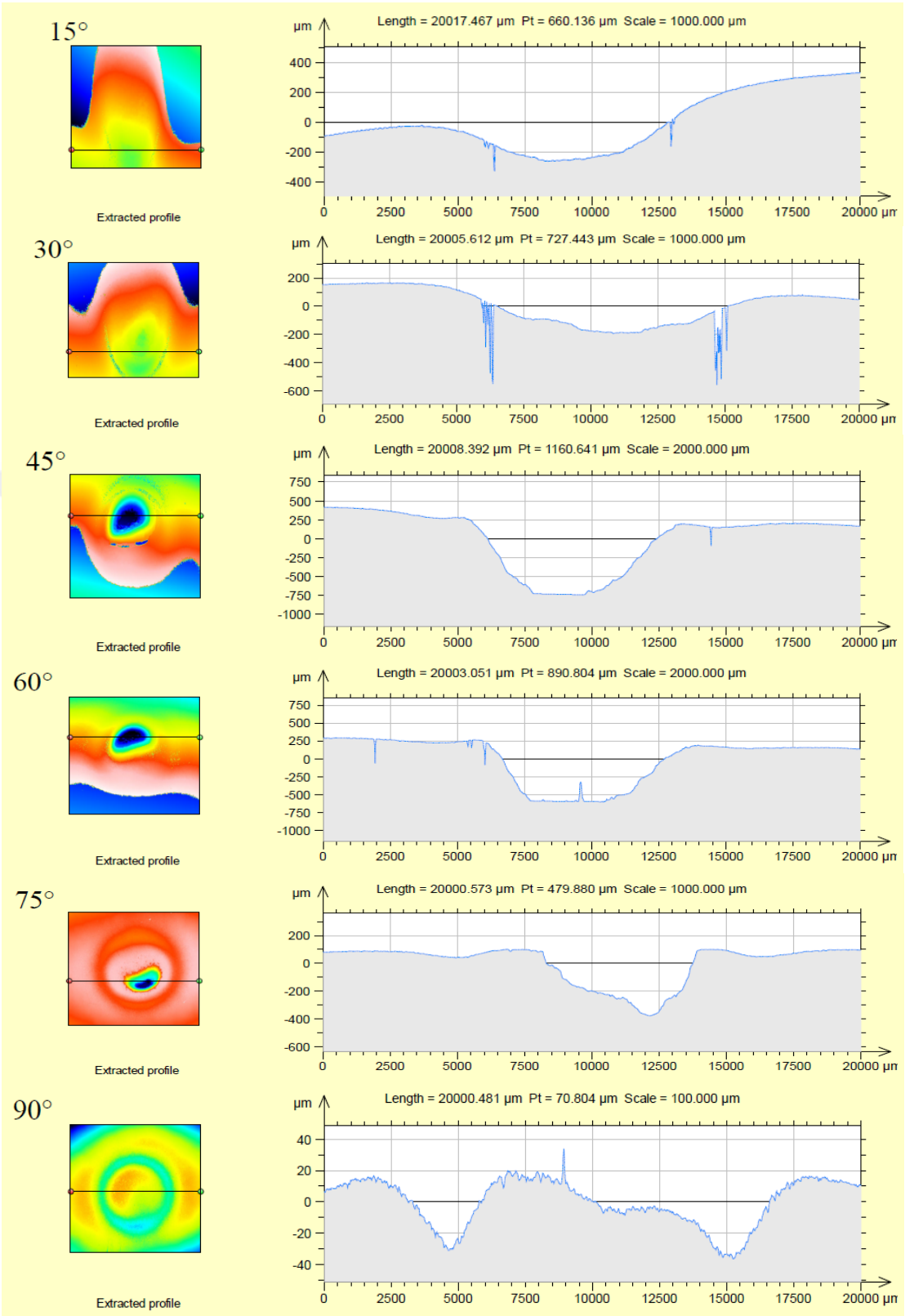


Şekil 3.23. Boyalı quartz fiber kompozit SA grafiği

Şekil 3.23'de boyalı quartz fiber kompozit radome mazlemesinin katı partikül erozyonu testleri sonrası yüzey pürüzlülük taramaları yapılarak elde edilen pürüzlülük değerlerinin çarpma açısına bağlı değişimleri verilmiştir. Yüzey

pürüzlülük taramalarında temassız lazer profilometre kullanılarak eroziv aşınma krateri ve hasar bölgesi yüzeyi detaylı şekilde incelenmiştir. Test numunelerinde katı partikül erozyonunun oluşturduğu taranan yüzey ortalama yüzey pürüzlülüğü S_a değeriyle ifade edilmektedir. S_a değeri, boyalı radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, düşük çarpma açılarında (15°,30° ve 45° gibi) benzer değerler gösterirken dik çarpma açılarına doğru çıkıldığında S_a değerinin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Dik çarpma açılarında aşındırıcı partiküller dövme şeklinde yüzeye etki ettiği için S_a değerindeki azalma buna bağlanabilir. Boyalı radome malzemesi alumina 120 mesh aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra ortaya çıkan S_p değerleri incelendiğinde maksimum değer 15° çarpma açısında görülmüştür. Yüzeye neredeyse paralel şekilde püskürtülen aşındırıcı partiküller etkin şekilde plastik deformasyonlara sebep olarak 15° çarpma açısında S_p değerinin maksimum seviyeye çıkarmışlardır. Minimum S_p değeri ise 90° çarpma açısında gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi, S_v değeri de maksimum değerini 15° çarpma açısında ortaya çıkarırken, minimum S_v değeri 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Mikro sürme şeklinde yüzeyde oluşan hasar mekanizması 15° derecede etki olarak yüzeyden kazıma işlemi yaparak hem derin vadilerin oluşmasına hem de aşındırıcı partikülün enerjisinin tükendiği sırada kazıdığı ve plastik deformasyona uğrayan malzemenin yığıntı şeklinde birikerek tepeler oluşturmasına sebep olmaktadır. S_z değeri yüzeydeki dalgalanma etkisi olarak tanımlanabilecek mekanizmanın esasını oluşturur. Boyalı radome malzemesinde maksimum S_z değeri 15° çarpma açısında ortaya çıkarken, minumum S_z değeri 90° çarpma açısında gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar daha önce belirtilen S_v ve S_p değerleriyle de uyumludur.

Şekil 3.24'de boyalı quartz fiber kompozitin çizgisel pürüzlülük ile ilgili taramalar verilmiştir.



Şekil 3.24. Boyalı quartz fiber kompozit RA resimleri

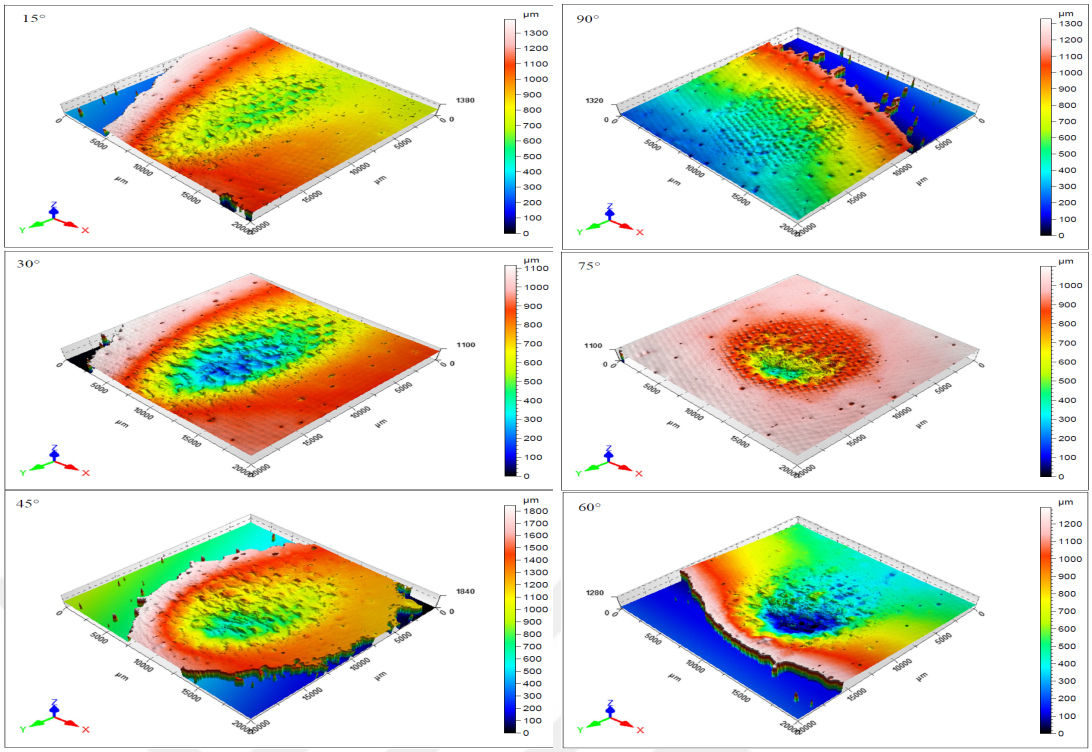
Şekil 3.24'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler

sonucu malzeme çizgisel pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu değerler elde edilirken eroziv kreterlerin tam orta noktası alınarak profil çizgileri oluşturulmuştur. Bu çalışmanın amacı malzemede 6 farklı çarpma açısında meydana gelen çizgisel pürüzlülğkler ile derinlik geometrisi oluşturmaktır. Yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y- koordinatlarının mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalaması incelendiğinde 30° ve 60° çarpma açılarında maksimum değere ulaştıkları gözlenlenmiştir. Yüzey pürüzlülük profilinin verilen ölçü bölümündeki en geniş profil tepesi yüksekliğine 60° çarpma açısında ulaştığı gözlenlemiştir. Bunun sebebi olarak, bu açıda uygulanan partiküllerin malzeme yüzeyinde birikme yaparak malzemede yığılma yapmasıdır. Yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafe, yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelen y-koordinat aralıklarının ölçülmesiyle bulunmuştur. Bu değer 30° çarpma açısında maksimum olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak, malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranının en yüksek değere 30° çarpma açısıda ulaşmış olmasıdır.Aynı zamanda kati partikül aşınması sırasında oluşan yığınlarda yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafenn maksimum olmasında etkili olduğu söylenebilir. 90° çarpma açısında ortaya çıkan çizgisel pürüzlülük değerleri diğer çarpma açılarına göre daha farklıdır. Malzemeye dik bir şekilde püskürtülen aşındırıclar kenar noktalarda aşınmaya sebep olurken orta noktaya doğru malzeme üzerinde çok az aşınmış ya da gömülme gerçekleştirmiştir. Bu durumda mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalamasının 90° çarpma açısında çok az olduğunu kanıtlar niteliktedir.

3.8.2. İşlemsiz quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi

İşlemsiz quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcısı 6 farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) uygulandıktan sonra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir.

Şekil 3.25'de, işlemsiz quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili profilometre taramalar verilmiştir.

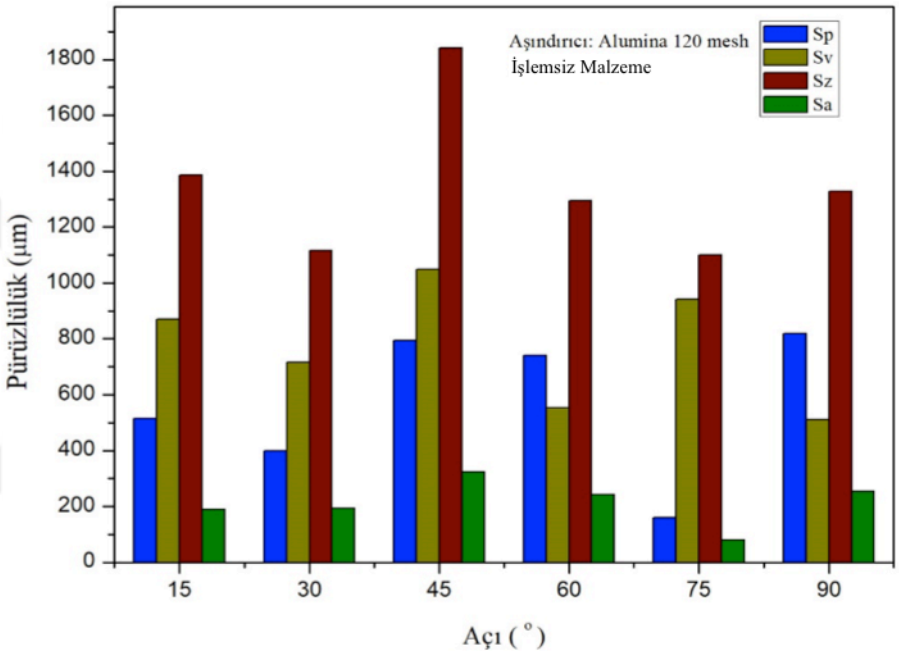


Şekil 3.25. İşlemsiz quartz fiber SA resimleri

Şekil 3.25'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir. Işlemsiz quartz fiber radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, düşük çarpma açılarında (15°,30° 45° gibi) benzer değerler gösterirken dik çarpma açılarına doğru çıkıldığında ortalama yüzey pürüzlülük değerinin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum düşük çarpma açılarında aşındırıcı partiküllerin sahip oldukları büyük yatay kuvvet bileşeni ve küçük dikey kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyini çizme eğiliminde olmalarından kaynaklanmaktadır.Dik çarpma açılarında aşındırıcı partiküller dövme şeklinde yüzeye etki ettiği için yüzey pürüzlülüğü değerindeki azalma buna bağlanabilir. Sadece 90° çarpma açısında bu ortalama değer yukarı yönlü olmuştur. Bunun sebebi ise, bu çarpma açısında malzeme yüzeyinde oluşan partiküllerin birikmesi sonucu yüzeyden yukarıya doğru çıkmış tepelerin normal eksene dik uzaklığının yüksek olmasıdır. Vadi şeklindeki oyukların derinlik değeri de maksimum değerini 45°çarpma açısında ortaya çıkarırken, minimum değeri 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Mikro sürme şeklinde yüzeyde oluşan hasar mekanizması 45° derecede etki olarak yüzeyden kazıma işlemi yaparak hem derin

vadilerin oluşmasına hem de aşındırıcı partikülün enerjisinin tükendiği sırada kazıdığı ve plastik deformasyona uğrayan malzemenin yığıntı şeklinde birikerek tepeler oluşturmasına sebep olmaktadır. taranan yüzeydeki referans aşınmamış yüzeydeki tüm tepe ve tüm çukur noktalarının ortalama yüzey pürüzlülük değeri minimum 75° çarpma açısında oluştuğu görülmüştür.

Şekil 3.26'da, işlemsiz quartz fiber kompozite uygulanan aşındırıcı sonrası yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

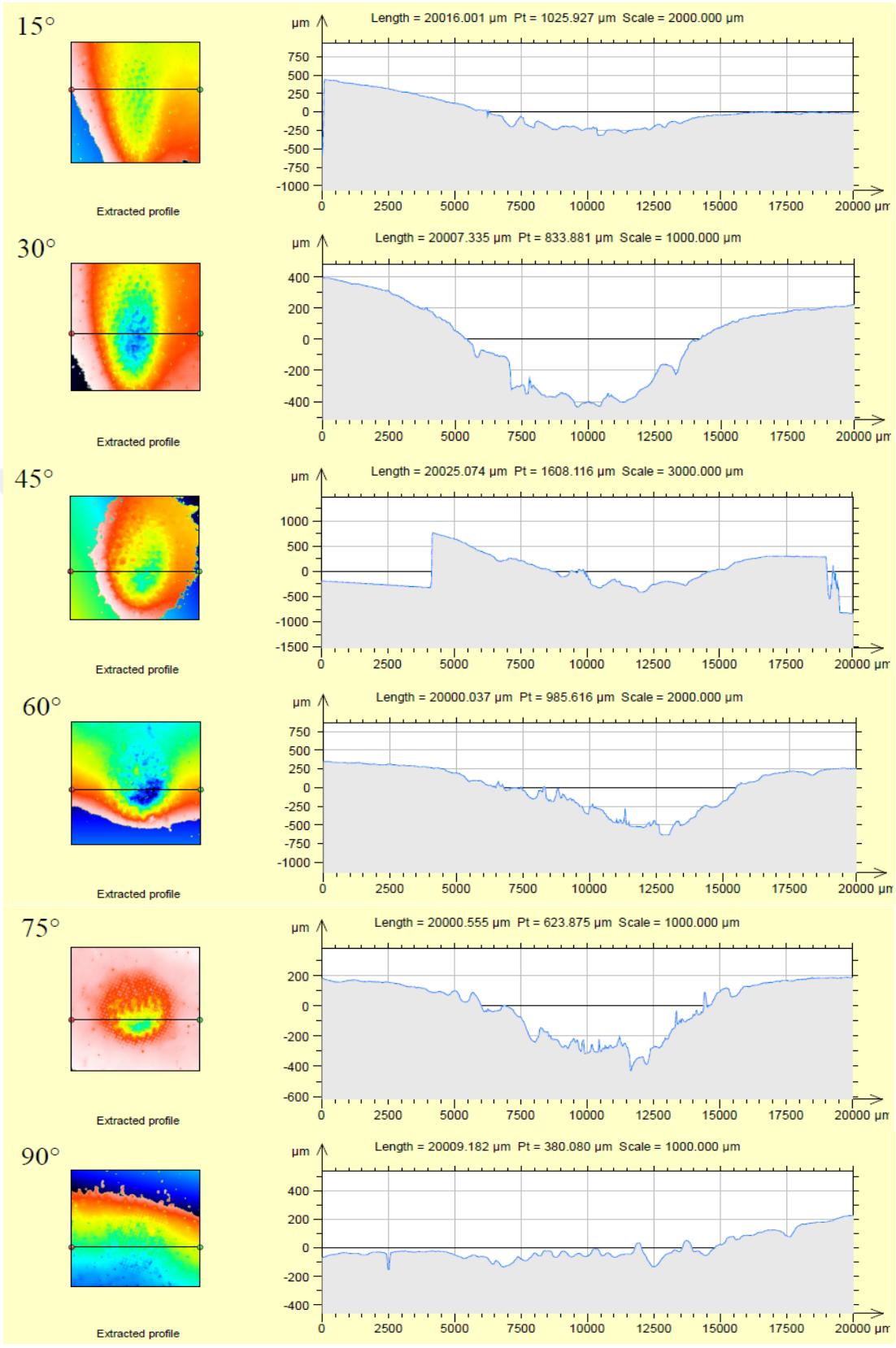


Şekil 3.26. İşlemsiz quartz fiber kompozit yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 3.26'da işlemsiz quartz fiber kompozit radome mazlemesinin katı partikül erozyonu testleri sonrası yüzey pürüzlülük taramaları yapılarak elde edilen pürüzlülük değerlerinin çarpma açısına bağlı değişimleri verilmiştir. Yüzey pürüzlülük taramalarında temassız lazer profilometre kullanılarak eroziv aşınma krateri ve hasar bölgesi yüzeyi detaylı şekilde incelenmiştir. S_a değeri, boyalı radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, düşük çarpma açılarında (15°,30° gibi) benzer değerler gösterirken dik çarpma açılarına doğru çıkıldığında S_a değerinin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.Sadece 90° çarpma açısında bu değer yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi ise erosiv aşınma sonrası malzeme yüzeyinde gömülen partiküllerin S_p değerini arttırmasından dolayıdır. Işlemsiz radome malzemesi alumina 120 mesh aşındırıcı partiküllerle test

edildikten sonra ortaya çıkan S_p değerleri incelendiğinde maksimum değer 90° çarpma açısında görülmüştür. Minimum S_p değeri ise 75° çarpma açısında gözlemlenmiştir. Bu çarpma açısında malzeme üzerinde biriken kalıntılar minimum düzeyde iken , malzemede meydana gelen aşınma derinliği maksimum düzeye ulaşmıştır. S_v değeri de maksimum değerini 75° çarpma açısında ortaya çıkarmıştır. S_z değeri yüzeydeki dalgalanma etkisi olarak tanımlanabilecek mekanizmanın esasını oluşturur. Işlemsiz radome malzemesinde maksimum S_z değeri 45° çarpma açısında ortaya çıkarken, minumum S_z değeri 75° çarpma açısında gözlemlenmiştir.

Şekil 3.27' de işlemsiz quartz fiber kompozitin çizgisel pürüzlülük ile ilgili taramalar verilmiştir.



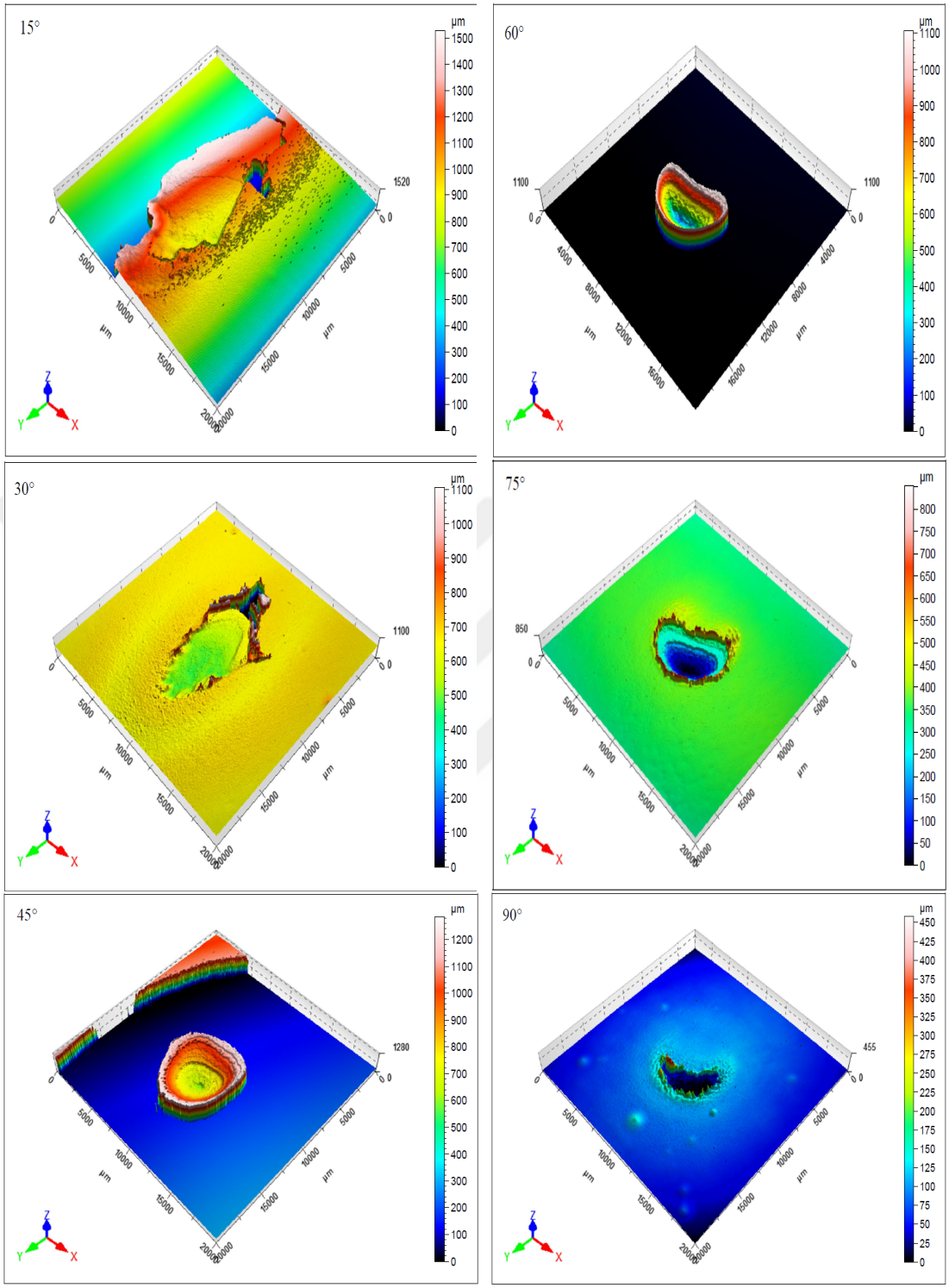
Şekil 3.27. İşlemsiz quartz fiber kompozit profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları

Şekil 3.27'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzeme çizgisel pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu değerler elde edilirken eroziv kreterlerin tam orta noktası alınarak profil çizgileri oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y- koordinatlarının mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalaması incelendiğinde 45° çarpma açısında maksimum değere ulaştığı gözlenlenmiştir. Yüzey pürüzlülük profilinin verilen ölçü bölümündeki en geniş profil tepesi yüksekliğine yien 45° çarpma açısında ulaştığı gözlenlemiştir. Bunun sebebi olarak, bu açıda uygulanan partiküllerin malzeme yüzeyinde birikme yaparak malzemede yığılma yapmasıdır. Yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafe, yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelen y-koordinat aralıklarının ölçülmesiyle bulunmuştur. Bu değer 45° çarpma açısında maksimum olduğu gözlemlenmiştir. 90° çarpma açısında ortaya çıkan çizgisel pürüzlülük değerleri diğer çarpma açılarına göre daha farklıdır. Malzemeye dik bir şekilde püskürtülen aşındırıclar kenar noktalarda aşınmaya sebep olurken orta noktaya doğru malzeme üzerinde çok az aşınmış ya da gömülme gerçekleştirmiştir. Bu durumda mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalamasının 90° çarpma açısında çok az olduğunu kanıtlar niteliktedir.

3.8.3. Boyalı ve eroziv bant uygulanmış quartz fiber kompozite alumina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi

Eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcısı 6 farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) uygulandıktan sonra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir.

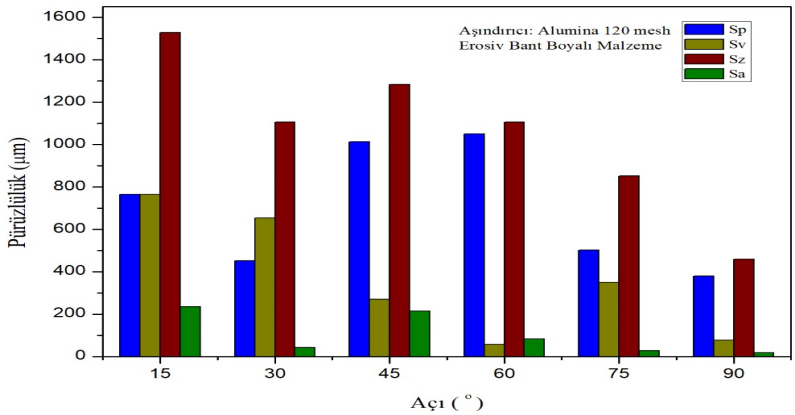
Şekil 3.28'da, eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili profilometre taramaları verilmiştir.



Şekil 3.28. Eroziv bant SA resimleri

Şekil 3.28'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir. Eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, düşük çarpma açılarında (15°,30° ve 45° gibi) benzer değerler gösterirken dik çarpma açılarına doğru çıkıldığında ortalama yüzey pürüzlülük değerinin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum düşük çarpma açılarında aşındırıcı partiküllerin sahip oldukları büyük yatay kuvvet bileşeni ve küçük dikey kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyini çizme eğiliminde olmalarından kaynaklanmaktadır. Yüksek çarpma açılarında ise aşındırıcı partiküller büyük dikey kuvvet bileşeni ve düşük yatay kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyine saplanma eğilimindedirler. Vadi şeklindeki oyukların derinlik değeri de maksimum değerini 15° çarpma açısında ortaya çıkarırken, minimum değeri 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Malzeme yüzeyinde oluşan yüzeyden yukarıya doğru çıkan tepenin uzunluğu en fazla 45° ve 60° çarpma açılarında meydana gelmiştir. Yukarıdaki şekillerde oluşan vadi şekillerin derinliği ölçüldüğünde en fazla değerin 15° ve 30° çarpma açılarında meydana geldiği gözlenlenmiştir. Malzemede meydana gelen eroziv aşınmanın da bu açılarda meydana gelmesi, yukarıda bahsedilen cümleyi doğrular niteliktedir.

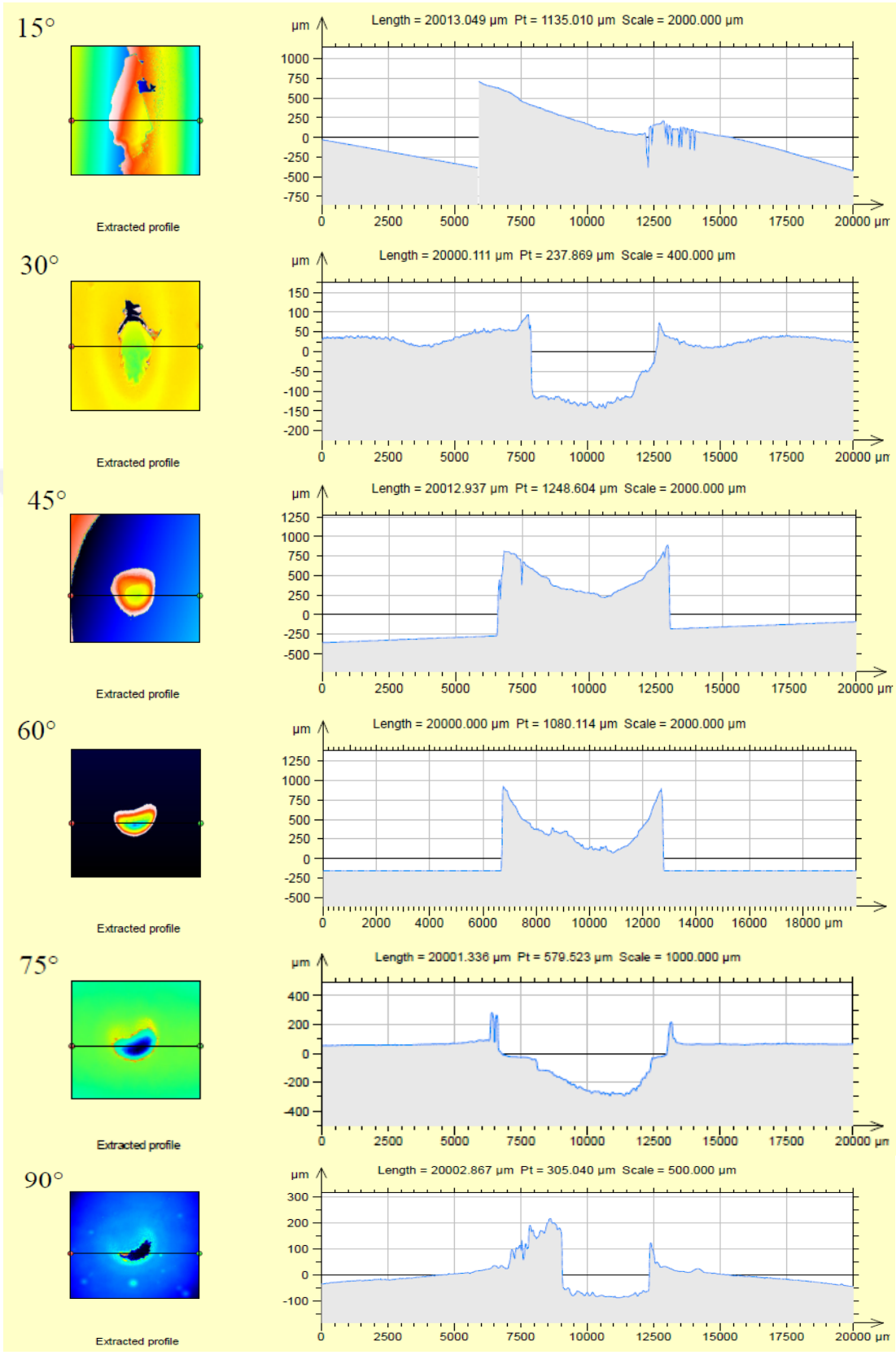
Şekil 3.29'da, eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozite uygulanan aşındırıcı sonrası yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.



Şekil 3.29. Eroziv bantlı boyalı quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 3.29'da boyalı quartz fiber kompozit radome mazlemesinin katı partikül erozyonu testleri sonrası yüzey pürüzlülük taramaları yapılarak elde edilen pürüzlülük değerlerinin çarpma açısına bağlı değişimleri verilmiştir. Yüzey pürüzlülük taramalarında temassız lazer profilometre kullanılarak eroziv aşınma krateri ve hasar bölgesi yüzeyi detaylı şekilde incelenmiştir. S_a değeri, boyalı radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, düşük çarpma açılarında (15°,30° ve 45° gibi) benzer değerler gösterirken dik çarpma açılarına doğru çıkıldığında S_a değerinin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Dik çarpma açılarında aşındırıcı partiküller dövme şeklinde yüzeye etki ettiği için S_a değerindeki azalma buna bağlanabilir.Eroziv bant uygulanmış boyalı radome malzemesi alumina 120 mesh aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra ortaya çıkan S_p değerleri incelendiğinde maksimum değer 45° ve 60° çarpma açısında görülmüştür. Minimum S_p değeri ise 90° çarpma açısında gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi, S_v değeri de maksimum değerini 15° çarpma açısında ortaya çıkarırken, minimum S_v değeri 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Mikro sürme şeklinde yüzeyde oluşan hasar mekanizması 15° derecede etki olarak yüzeyden kazıma işlemi yaparak hem derin vadilerin oluşmasına hem de aşındırıcı partikülün enerjisinin tükendiği sırada kazıdığı ve plastik deformasyona uğrayan malzemenin yığıntı şeklinde birikerek tepeler oluşturmasına sebep olmaktadır. S_z değeri yüzeydeki dalgalanma etkisi olarak tanımlanabilecek mekanizmanın esasını oluşturur. Eroziv bant uygulanmış boyalı radome malzemesinde maksimum S_z değeri 15° çarpma açısında ortaya çıkarken, minumum S_z değeri 90° çarpma açısında gözlemlenmiştir.

Şekil 3.30'da eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitin çizgisel pürüzlülük ile ilgili taramalar verilmiştir.



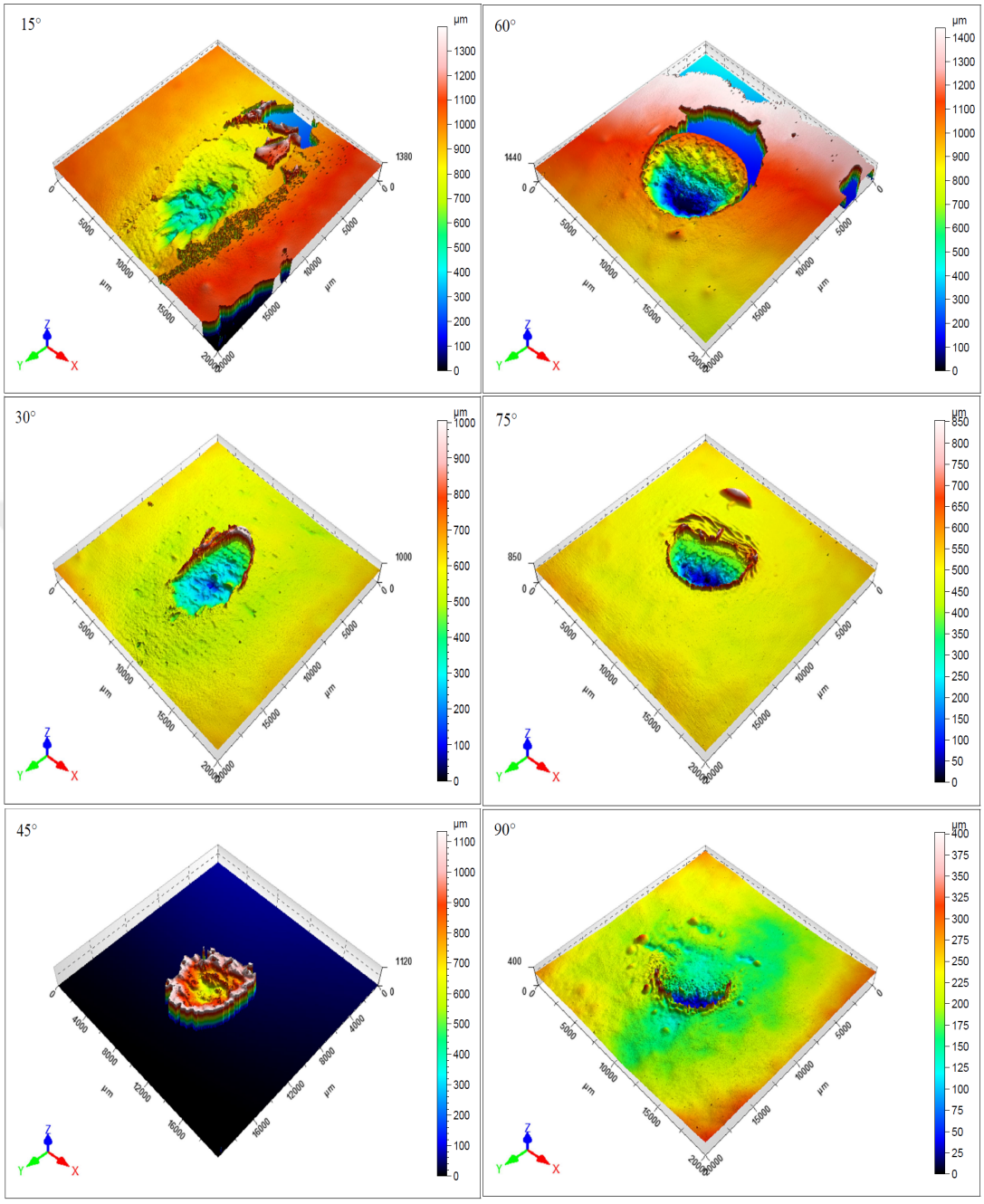
Şekil 3.30. Eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozit optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları

Şekil 3.30'da 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzeme çizgisel pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı malzemede altı farklı çarpma açısında meydana gelen çizgisel pürüzlülğkler ile derinlik geometrisi oluşturmaktır. Yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y-koordinatlarının mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalaması incelendiğinde 15° çarpma açısında maksimum değere ulaştığı gözlenlenmiştir. Yüzey pürüzlülük profilinin verilen ölçü bölümündeki en geniş profil tepesi yüksekliğine 60° çarpma açısında ulaştığı gözlenlemiştir. Bunun sebebi olarak, bu açıda uygulanan partiküllerin malzeme yüzeyinde birikme yaparak malzemede yığılma yapmasıdır. Yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafe, yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelen y-koordinat aralıklarının ölçülmesiyle bulunmuştur. Bu değer 15° çarpma açısında maksimum olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak, malzemede meydana gelen eroziv aşınma oranının en yüksek değere 15° çarpma açısıda ulaşmış olmasıdır. 90° çarpma açısında malzemeye dik bir şekilde püskürtülen aşındırıcılar kenar noktalarda aşınmaya sebep olurken orta noktaya doğru malzeme üzerinde çok az aşınmış ya da gömülme gerçekleştirmiştir. Bu durumda mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalamasının 90° çarpma açısında çok az olduğunu kanıtlar niteliktedir.

3.8.4. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozite alumina 120 mesh aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi

Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozite alümina 120 mesh aşındırıcısı 6 farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) uygulandıktan sonra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir.

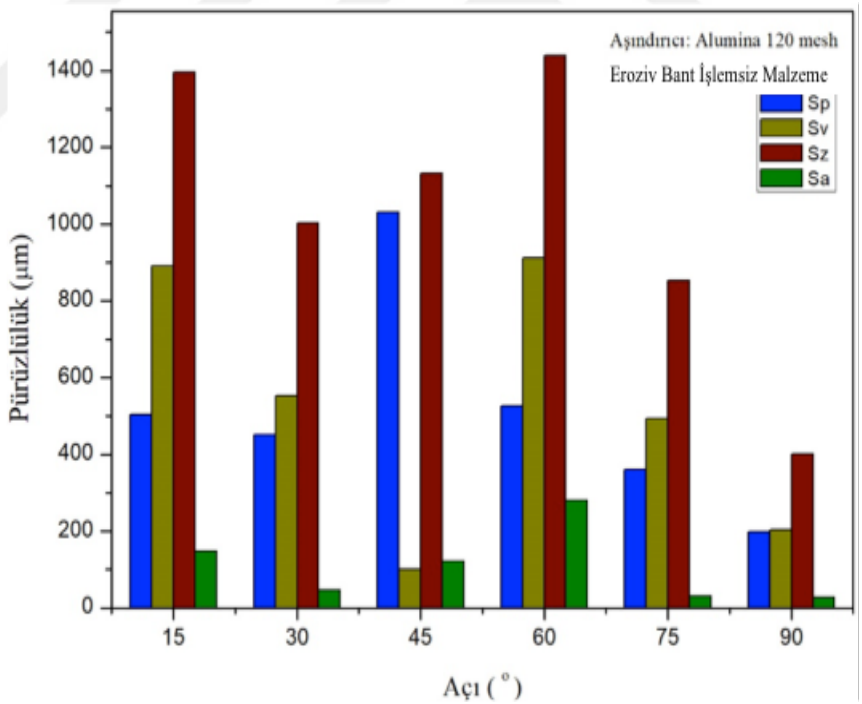
Şekil 3.31'de, eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili profilometre taramalar verilmiştir.



Şekil 3.31. Eroziv bant işlemsiz RA resimleri

Şekil 3.31'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir. Boyalı quartz fiber radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 15° ve 60° çarpma açılarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. 15° çarpma açısında aşındırıcı partiküllerin sahip oldukları büyük yatay kuvvet bileşeni

ve küçük dikey kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyini çizme eğiliminde olmalarından kaynaklanmaktadır. 75° ve 90° çarpma açılarında aşındırıcı partiküller büyük dikey kuvvet bileşeni ve düşük yatay kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyine saplanma eğilimindedirler. Vadi şeklindeki oyukların derinlik değeri de maksimum değerini 15° çarpma açısında ortaya çıkarırken, minimum değeri 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Mikro sürme şeklinde yüzeyde oluşan hasar mekanizması 15° derecede etki olarak yüzeyden kazıma işlemi yaparak hem derin vadilerin oluşmasına hem de aşındırıcı partikülün enerjisinin tükendiği sırada kazıdığı ve plastik deformasyona uğrayan malzemenin yığıntı şeklinde birikerek tepeler oluşturmasına sebep olmaktadır. Düşük çarpma açılarında dha fazla tepecik oluşması, malzemede meydana gelen toplam pürüzlülüğün dik açılara göre daha fazla olmasından meydana geldiği görülmektedir. Şekil 3.33'de, eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozite uygulanan aşındırıcı sonrası yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

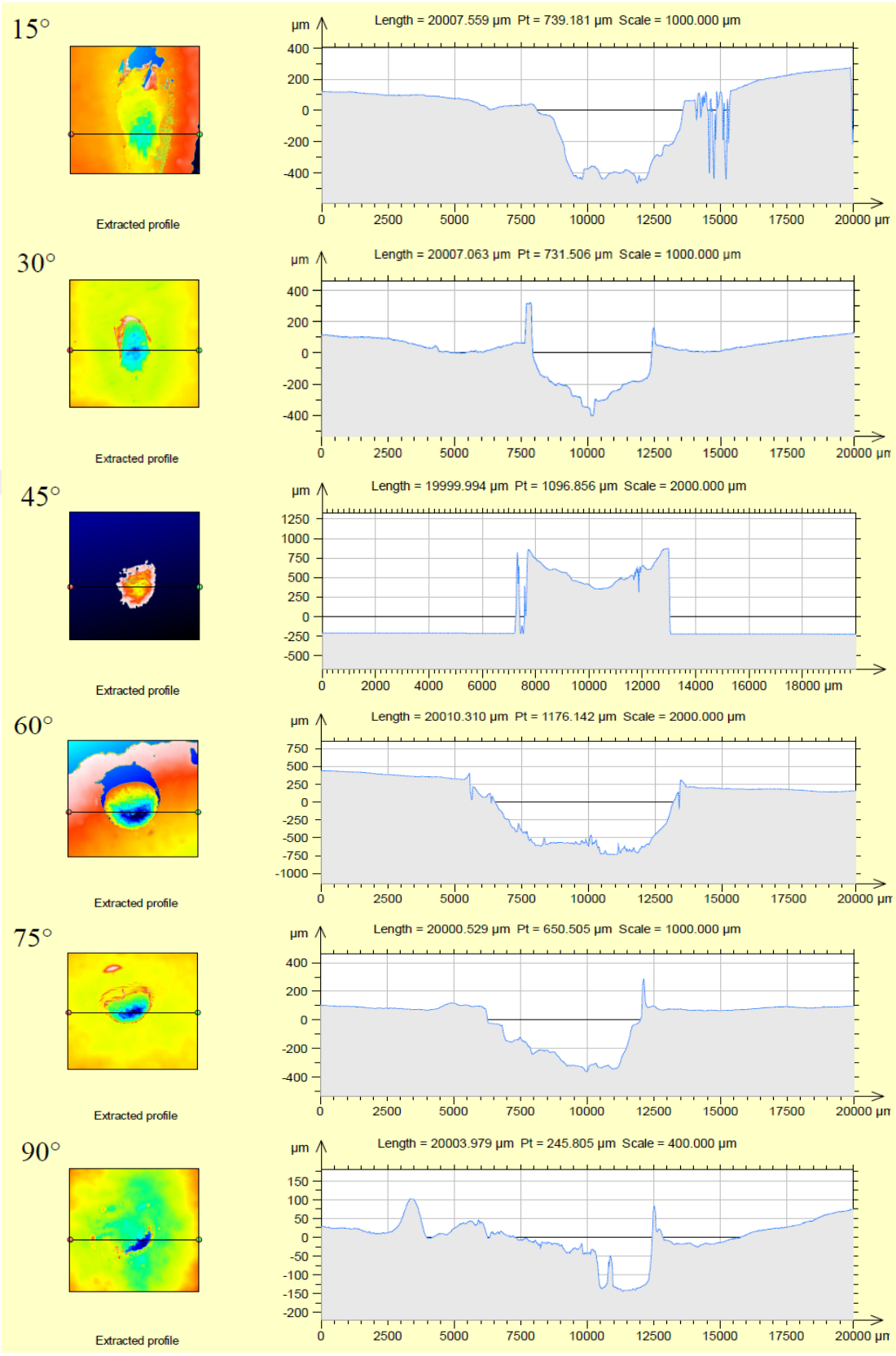


Şekil 3.32. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozit yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 3.32'de boyalı quartz fiber kompozit radome mazlemesinin katı partikül erozyonu testleri sonrası yüzey pürüzlülük taramaları yapılarak elde edilen pürüzlülük değerlerinin çarpma açısına bağlı değişimleri verilmiştir. Yüzey

pürüzlülük taramalarında temassız lazer profilometre kullanılarak eroziv aşınma krateri ve hasar bölgesi yüzeyi detaylı şekilde incelenmiştir. S_a değeri, eroziv bant uygulanmış işlemsiz radome malzemesi yüzeyi 120 mesh alumina aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, en yüksek değerin 15° ve 60° çarpma açılarında meydana geldiği görülmüştür. 75° ve 90° çarpma açılarında aşındırıcı partiküller dövme şeklinde yüzeye etki ettiği için S_a değerindeki azalma buna bağlanabilir. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz radome malzemesi test edildikten sonra ortaya çıkan S_p değerleri incelendiğinde maksimum değer 45° çarpma açısında görülmüştür. Yapılan testlerde bu değerin genellikle 45° çarpma açısında meydana gelmesinin sebebi ,partiküllerin bu açıda eroziv bant uygulanan işlemsiz malzemedeki eroziv bant kısmını sürme eğilimi göstererek malzemeden ayrılıp, malzeme üzerinde birikme yaratması olduğu söylenebilir. Minimum S_p değeri ise 90° çarpma açısında gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi, S_v değeri de maksimum değerini 15° çarpma açısında ortaya çıkarırken, minimum S_v değeri 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. S_z değeri yüzeydeki dalgalanma etkisi olarak tanımlanabilecek mekanizmanın esasını oluşturur. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz radome malzemesinde maksimum S_z değeri 15° ve 60° çarpma açısında ortaya çıkarken, minumum S_z değeri 90° çarpma açısında gözlemlenmiştir. Katı partikül aşınmasının malzeme derinliğine minimum düzeyde 45° çarpma açısında ulaşmıştır.

Şekil 3.33'de eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozitin çizgisel pürüzlülük ile ilgili taramalar verilmiştir.



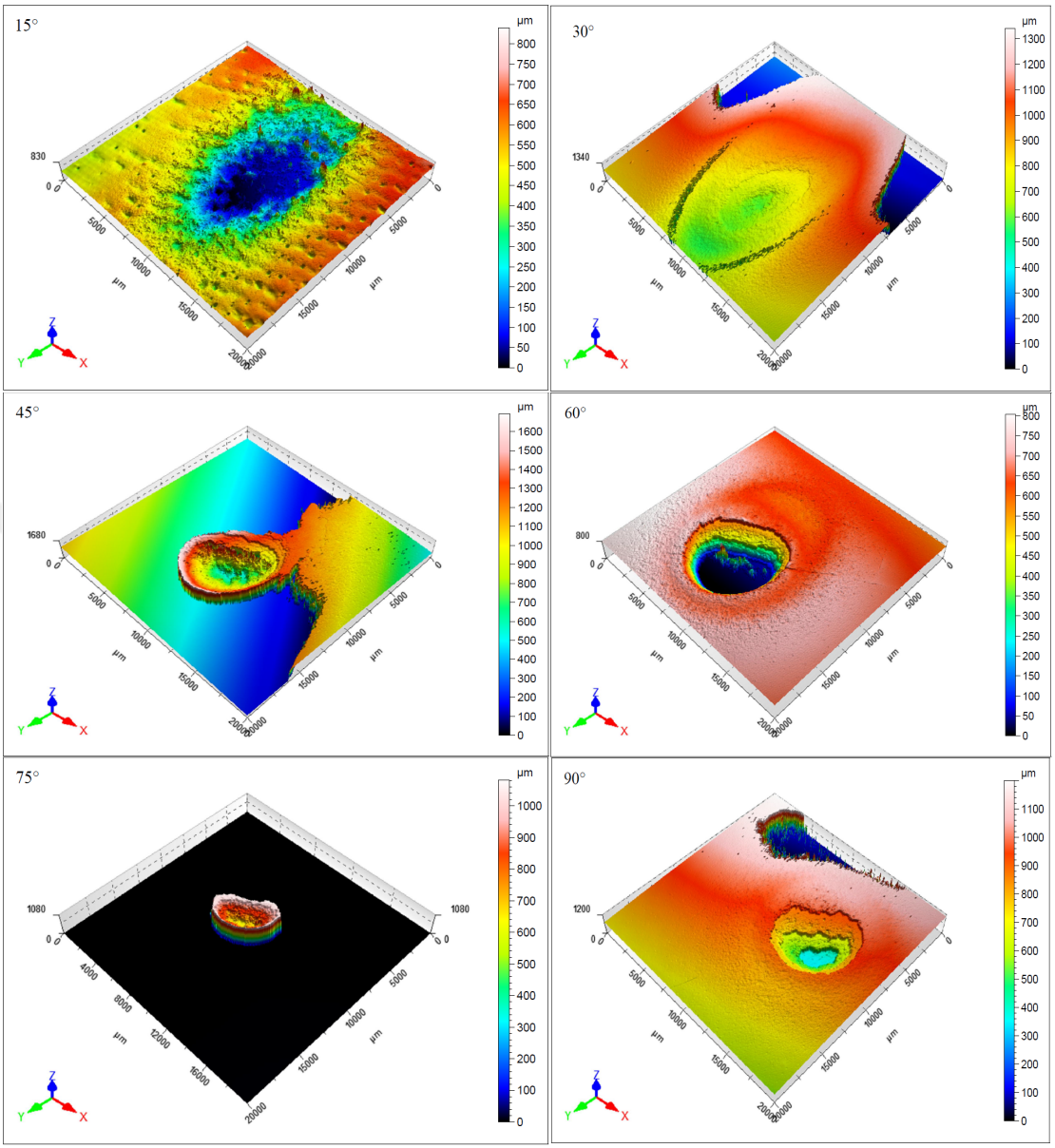
Şekil 3.33. Eroziv bant uygulanmış işlemsiz quartz fiber kompozit optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları

Şekil 3.33'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, Alümina 120 mesh boyutunda aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzeme çizgisel pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu değerler elde edilirken eroziv kreterlerin tam orta noktası alınarak profil çizgileri oluşturulmuştur. Bu çalışmanın amacı malzemede 6 farklı çarpma açısında meydana gelen çizgisel pürüzlülğkler ile derinlik geometrisi oluşturmaktır. Yüzey pürüzlülük profiline mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalaması incelendiğinde 45° çarpma açısında maksimum değere ulaştığı gözlenlenmiştir. Bu durumun sebebi, yüzey pürüzlülük profilinin verilen ölçü bölümündeki en geniş profil tepesi yüksekliğine ve en yüksek profil derinliğine yine bu çarpma açısında ulaşmış olmasıdır. Bu açıda uygulanan partiküllerin malzeme yüzeyinde birikme yaparak malzemeden eroziv bant yapısını sökmesi en yüksek ve en derin değerlere ulaşmasını sağlamıştır. Yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafe, yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelen y-koordinat aralıklarının ölçülmesiyle bulunmuştur. Bu değer 15° ve 60° çarpma açılarında maksimum olduğu gözlemlenmiştir. 90° çarpma açısında ortaya çıkan çizgisel pürüzlülük değerleri diğer çarpma açılarına göre çok daha düşüktür. Malzemeye dik bir şekilde püskürtülen aşındırıclar kenar noktalarda aşınmaya sebep olurken orta noktaya doğru malzeme üzerinde çok az aşınmış ya da gömülme gerçekleştirmiştir.

3.8.5. Boyalı quartz fiber kompozite volkanik kül aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi

Boyalı quartz fiber kompozite volkanik kül aşındırıcısı 6 farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) uygulandıktan sonra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucu eroziv aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir.

Şekil 3.34'de, boyalı quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili profilometre taramalar verilmiştir.

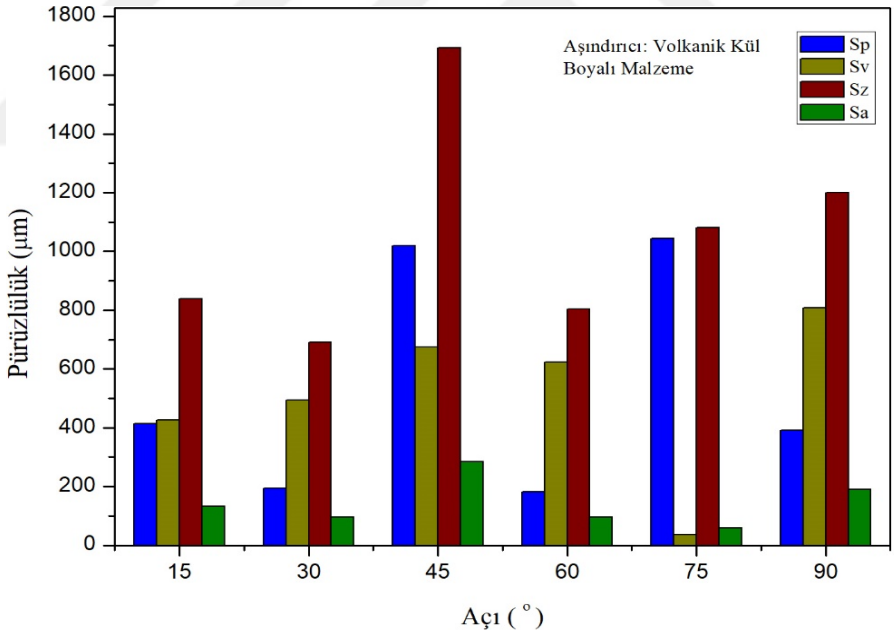


Şekil 3.34. Boyalı quartz fiber kompozit optik profilometre 3D yüzey pürüzlülük taramaları

Şekil 3.34'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, volkanik kül aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir. Boyalı quartz fiber radome malzemesi yüzeyi volkanik kül aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 45° çarpma açısına ulaştığı görülmüştür. Açı değeri 60° ve 75° değerlerinde test gerçekleştiğin, malzeme yüzeyinde meydana gelen ortalama pürüzlülükte doğrusal oranda azalmaktadır.Ancak açı değeri 90° olduğunda, gerçekleştiren testlerde ortalama

yüzey pürüzlülük değerinde artmalar görülmüştür. Bu durum dik açıda malzemeye uygulanan volkanik kül aşındırıcısının partikül boyutu ve yapısı farkından dolayı kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir. Dik açıda malzeme yüzeyine püskürtülen volkanik kül aşındırıcısı malzeme kenarlarına doğru yayılıp fazlaca aşınmaya sebep olmuştur. Malzemenin ortasına doğru gömülme eğilimi yapaması beklenirken, bu bölgede fazlaca aşınmaya sebep olmuştur. Yüksek çarpma açılarında aşındırıcı partiküller büyük dikey kuvvet bileşeni ve düşük yatay kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyine saplanma eğilimindedirler. Buna bağlı olarakta en fazla derinlik pürüzlülüğü 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Vadi şeklindeki oyukların derinlik değeri de maksimum değerini 60° ve 90° çarpma açılarında ortaya çıkarırken, minimum değeri 15° çarpma açısında ortaya çıkmıştır.

Şekil 3.35'de, boyalı quartz fiber kompozite uygulanan volanik kül aşındırıcısı sonrası yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

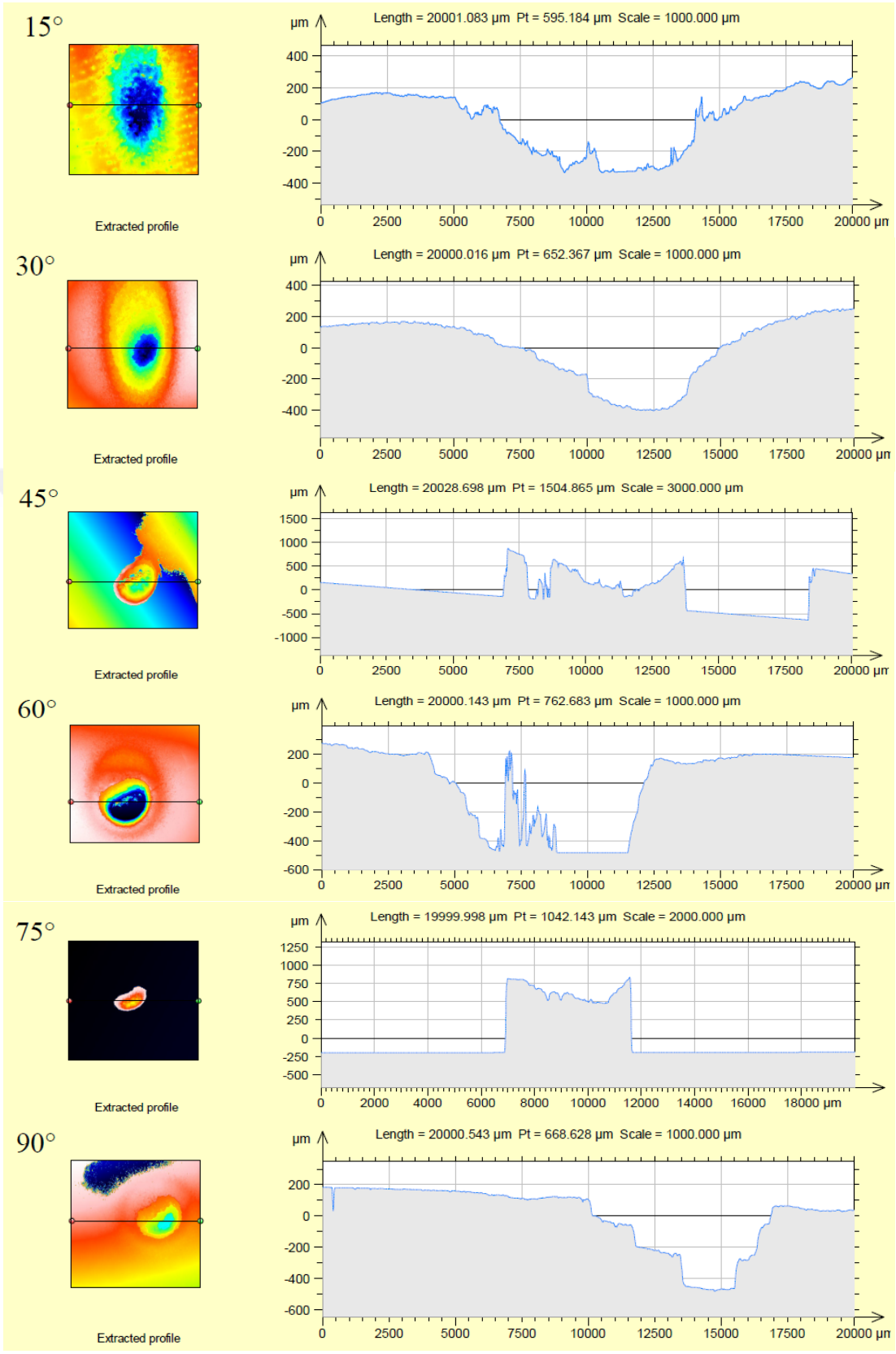


Şekil 3.35. Boyalı quartz fiber kompozit yüzey pürüzülülük değerleri

Şekil 3.35'de boyalı quartz fiber kompozit radome mazlemesinin katı partikül erozyonu testleri sonrası yüzey pürüzlülük taramaları yapılarak elde edilen pürüzlülük değerlerinin çarpma açısına bağlı değişimleri verilmiştir. Yüzey pürüzlülük taramalarında temassız lazer profilometre kullanılarak eroziv aşınma krateri ve hasar bölgesi yüzeyi detaylı şekilde incelenmiştir.S_a değeri, boyalı radome malzemesi yüzeyi volkanik kül aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, en

yüksek değerine 45° çarpma açısında ulaşmıştır. Dik çarpma açılarında aşındırıcı partiküller dövme şeklinde yüzeye etki ettiği için S_a değerindeki azalma beklenebilirdi. Ancak volkanik kül aşındırırıcısının dik açılarda malzeme üzerinde yüksek pürüzlülük oluşturduğu için S_a değerinde azalmanın aksine artma gözlemlenmiştir. S_p değerleri incelendiğinde maksimum değer 45° ve 75° çarpma açılarında görülmüştür. 30° ve 60° çarpma açısında S_p değerinin minimum seviyede olduğu görülmüştür. Beklendiğinin aksine, S_v değeri de maksimum değerini dik açılara aklaştıkça gerçekleştimiştir. Malzemeye uygulnan volkanik kül aşındırıcısının geometric şekillerinden ve boyutlarından dolayı partikülün sahip olduğu kinetik enerji artmaktadır. Böylece hedef malzemeye çarpma anında yüzeyden malzeme koparmak veya malzemeyi delmek için uyguladığı enerjide de artış meydana gelmektedir. Kısaca partikülün yüzeyden kopardığı yani aşındırdığı malzemede artış meydana gelmekte ve böylece daha pürüzlü bir yüzey oluşmaktadır. S_z değeri yüzeydeki dalgalanma etkisi olarak tanımlanabilecek mekanizmanın esasını oluşturur. Boyalı radome malzemesinde maksimum S_z değeri 45° çarpma açısında ortaya çıkarken, minumum S_z değeri 30° çarpma açısında gözlemlenmiştir.

Şekil 3.36'da boyalı quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası çizgisel pürüzlülük ile ilgili taramalar verilmiştir.



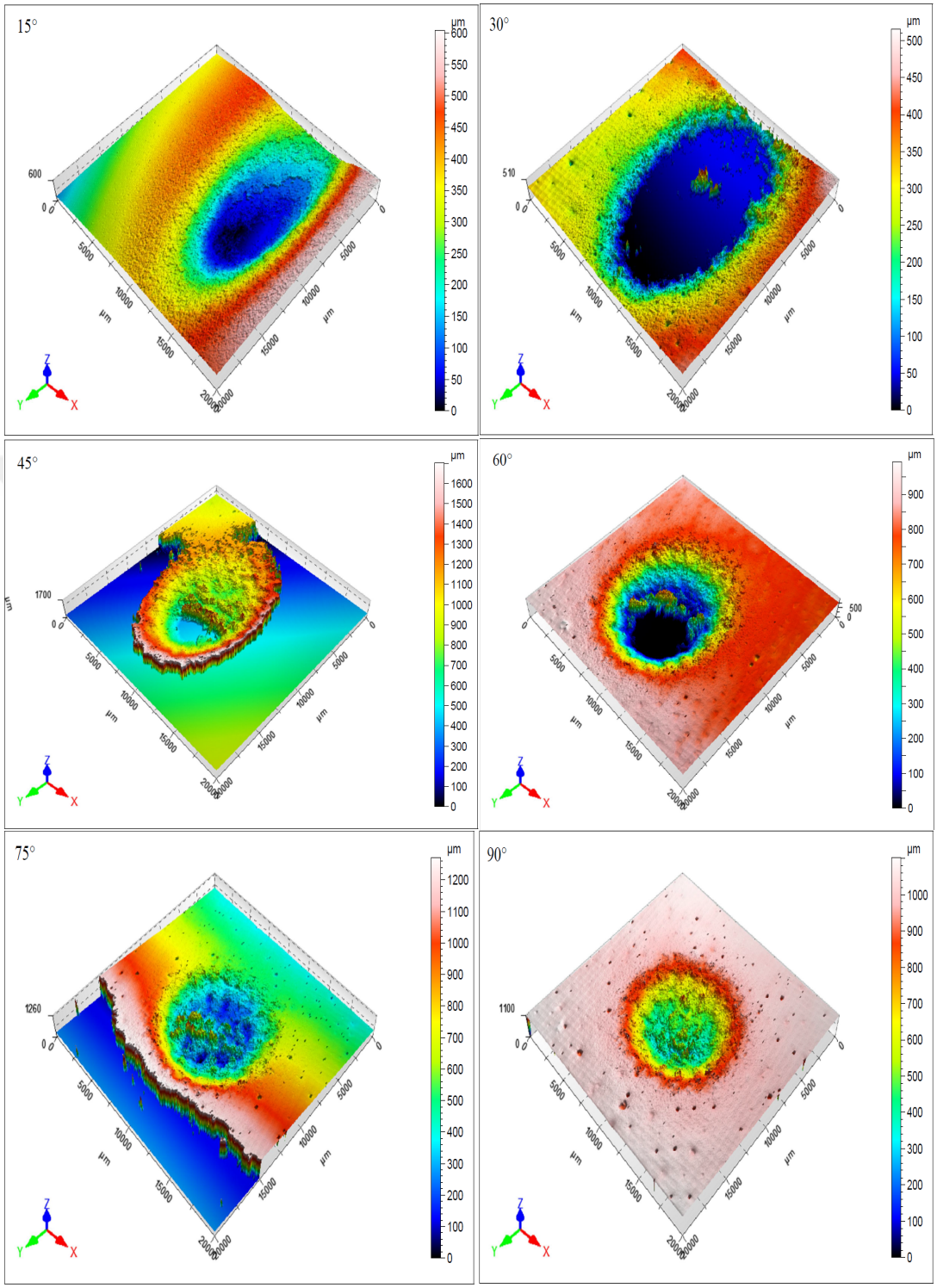
Şekil 3.36. Boyalı quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları

Şekil 3.36'da 3 bar partikül püskürtme basıncında, volkanik kül aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzeme çizgisel pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu değerler elde edilirken eroziv kreterlerin tam orta noktası alınarak profil çizgileri oluşturulmuştur. Bu çalışmanın amacı malzemede 6 farklı çarpma açısında meydana gelen çizgisel pürüzlülğkler ile derinlik geometrisi oluşturmaktır. Yüzey pürüzlülük ortalaması incelendiğinde 45° çarpma açısında maksimum değere ulaştığı gözlenlenmiştir. Yüzey pürüzlülük profilinin verilen ölçü bölümündeki en geniş profil tepesi yüksekliğine ve derinliğe yine 45° çarpma açısında ulaştığı gözlenlemiştir. Yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafe, yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelen y-koordinat aralıklarının ölçülmesiyle bulunmuştur. 90° çarpma açısında malzemeye dik bir şekilde püskürtülen aşındırıclar kenar noktalarda aşınmaya sebep olurken orta noktaya doğru malzeme üzerinde delinmeye sebep olmuşlardır.Bu durumda mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalamasının 90° çarpma açısında azalması yerine , malzemede meydana gelen pürzülülüğü arttırmıştır.

3.8.6. Işlemsiz quartz fiber kompozite volkanik kül aşındırıcı uygulaması sonrası malzeme yüzeyinin lazer 3-D profilometre ile analizi

Işlemsiz quartz fiber kompozite volkanik kül aşındırıcısı 6 farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) uygulandıktan sonra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucu eroziv aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir.

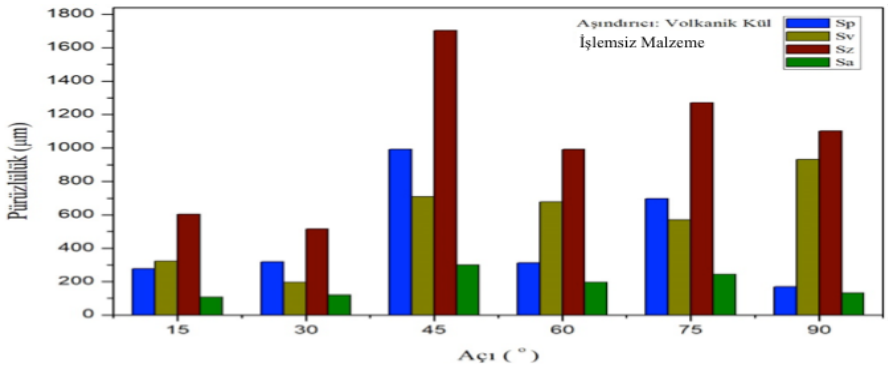
Şekil 3.37'de, işlemsiz quartz fiber kompozitin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili profilometre taramalar verilmiştir.



Şekil 3.37. İşlemsiz kompozit pürüzlülük taramaları

Şekil 3.37'de 3 bar partikül püskürtme basıncında, volkanik kül aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin optik profilometre ile 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir. İşlemsiz quartz fiber radome malzemesi yüzeyi volkanik kül aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 45° çarpma açısına ulaştığı görülmüştür. Açı değeri 60° ve 75° değerlerinde test gerçekleştiğinde, malzeme yüzeyinde meydana gelen ortalama pürüzlülükte değerleri bibirine çok yakındır. Ancak açı değeri 90° olduğunda bu değerde az da olsa azalma yaşanmaktadır. Bunun sebebi, 90° çarpma açısında malzemede çok yüzksek düzeyde dik aşınma gerçekleşip, partiküllerin uygulandığı yerde delinmeye sebep olmuştur. Partiküllerin numuneye uygulandığı noktada malzeme birikmesi oluşmadığı için, yüzeyden yukarıya çıkmış bir tepecik görülmemektedir Dik açıda malzeme yüzeyine püskürtülen volkanik kül aşındırıcısı malzeme kenarlarına doğru yayılıp fazlaca aşınmaya sebep olmuştur. Malzemenin ortasına doğru gömülme eğilimi yapaması beklenirken, bu bölgede fazlaca aşınmaya sebep olmuştur. Yüksek çarpma açılarında aşındırıcı partiküller büyük dikey kuvvet bileşeni ve düşük yatay kuvvet bileşeni nedeniyle malzeme yüzeyine saplanma eğilimindedirler. Buna bağlı olarakta en fazla derinlik pürüzlülüğü 90° çarpma açısında ortaya çıkmıştır. Vadi şeklindeki oyukların derinlik değeri de maksimum değerini 45° ' den ve 90° çarpma açılarına geklinceye kadar görülmektedir. 60° çarpma açısında tarama görüntüsünde meydana gelen siyah görüntü, malzemenin delndiğini göstermektedir.

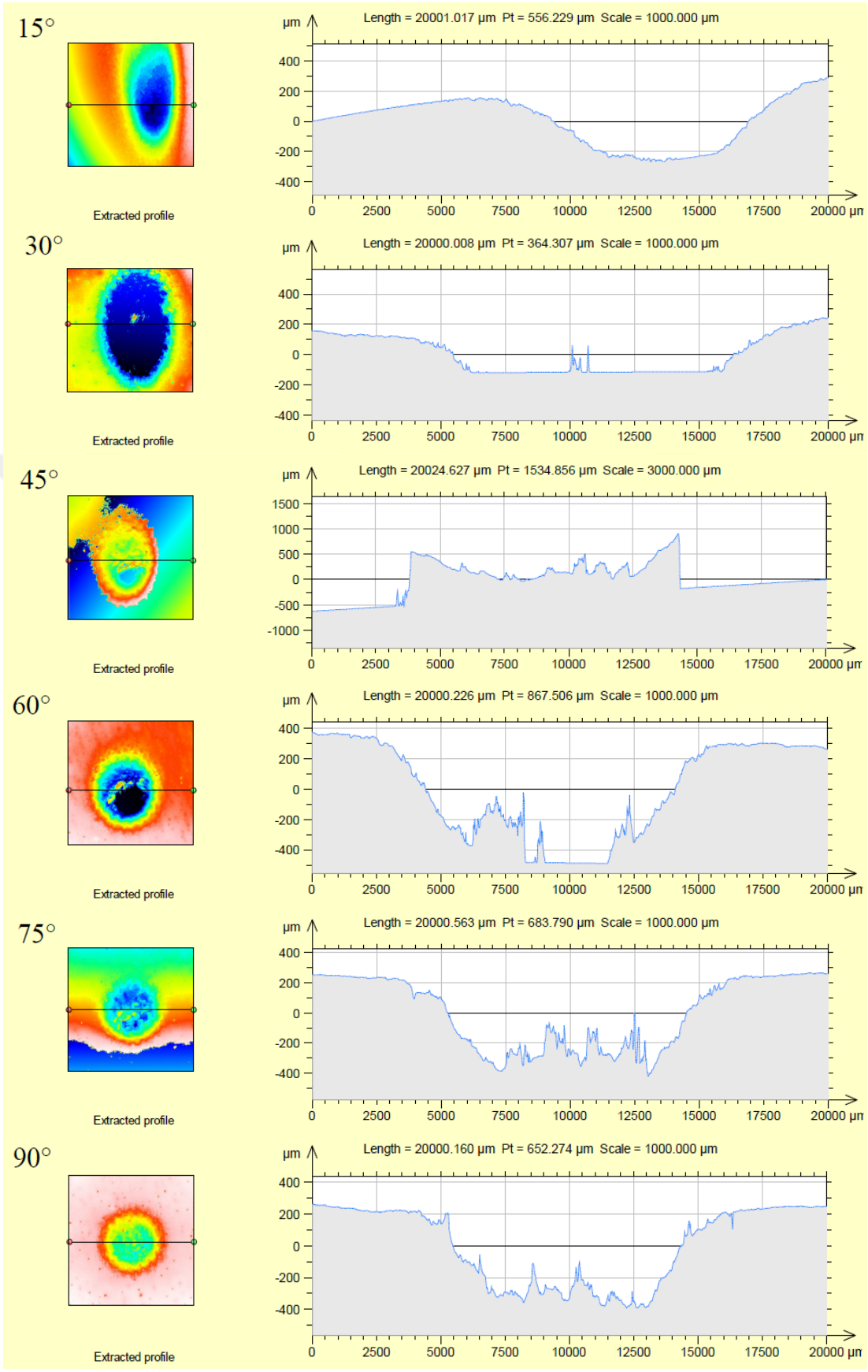
Şekil 3.38'de, işlemsiz quartz fiber kompozite uygulanan volkanik kül aşındırıcısı sonrası yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.



Şekil 3.38. İşlemsiz quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası yüzey pürüzülülük değerleri

Şekil 3.38'de işlemsiz quartz fiber kompozit radome mazlemesinin katı partikül erozyonu testleri sonrası yüzey pürüzlülük taramaları yapılarak elde edilen pürüzlülük değerlerinin çarpma açısına bağlı değişimleri verilmiştir. Yüzey pürüzlülük taramalarında temassız lazer profilometre kullanılarak eroziv aşınma krateri ve hasar bölgesi yüzeyi detaylı şekilde incelenmiştir.S_a değeri, boyalı radome malzemesi yüzeyi volkanik kül aşındırıcı partiküllerle test edildikten sonra, en yüksek değerine 45° çarpma açısında ulaşmıştır. Dik çarpma açılarında aşındırıcı partiküller dövme şeklinde yüzeye etki ettiği için S_a değerindeki azalma beklenebilirdi. Ancak volkanik kül aşındırırıcısının dik açılarda malzeme üzerinde yüksek pürüzlülük oluşturduğu için S_a değerinde azalmanın aksine artma gözlemlenmiştir. Aslında 75° çarpma açısında S_a değerinin doğrusal oranda azalması beklenmektedir.Ancak malzemeye bu açı değerinde uygulama yapılması ile malzeme yüzeyinde aşınma sonrası oluşan yığıntı S_p oranını yükselymiştir. Buda S_a değerinin artmasına yol açmıştır. S_p değerleri incelendiğinde maksimum değer 45° ve 75° çarpma açılarında görülmüştür. 15° ve 90° çarpma açısında S_p değerinin minimum seviyede olduğu görülmüştür. Beklendiğinin aksine, S_v değeri de maksimum değerini dik açılara aklaştıkça gerçekleştimiştir. Malzemeye uygulnan volkanik kül aşındırıcısının geometric şekillerinden ve boyutlarından dolayı partikülün sahip olduğu kinetik enerji artmaktadır. Böylece hedef malzemeye çarpma anında yüzeyden malzeme koparmak veya malzemeyi delmek için uyguladığı enerjide de artış meydana gelmektedir. Kısaca partikülün yüzeyden kopardığı yani aşındırdığı malzemede artış meydana gelmekte ve böylece daha pürüzlü bir yüzey oluşmaktadır. S_z değeri yüzeydeki dalgalanma etkisi olarak tanımlanabilecek mekanizmanın esasını oluşturur. Işlemsiz radome malzemesinde maksimum S_z değeri 45° çarpma açısında ortaya çıkarken, minumum S_z değeri 30° çarpma açısında gözlemlenmiştir

Şekil 3.39'da işlemsiz quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası çizgisel pürüzlülük ile ilgili taramalar verilmiştir.



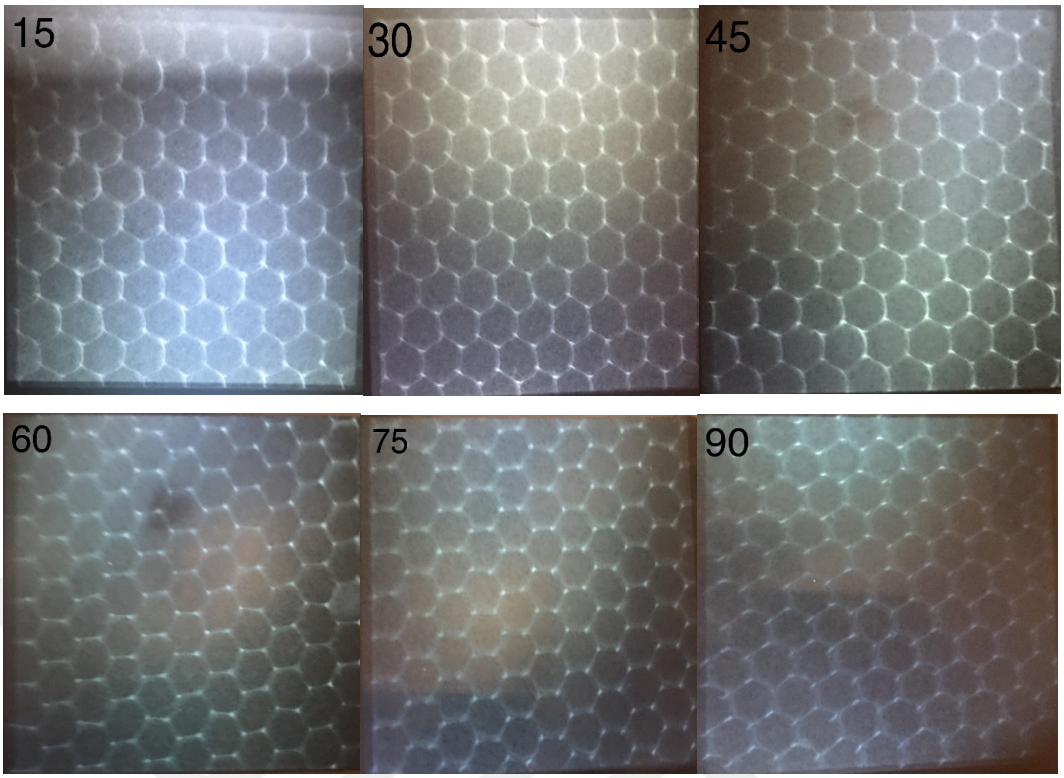
Şekil 3.39. İşlemsiz quartz fiber kompozitin volkanik kül aşındırıcısı sonrası optik profilometre çizgisel pürüzlülük taramaları

Şekil 3.39'da 3 bar partikül püskürtme basıncında, volkanik kül aşındırıcı partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzeme çizgisel pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu değerler elde edilirken eroziv kreterlerin tam orta noktası alınarak profil çizgileri oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülük ortalaması incelendiğinde 45° çarpma açısında maksimum değere ulaştığı gözlenlenmiştir. Yüzey pürüzlülük profilinin verilen ölçü bölümündeki en geniş profil tepesi yüksekliğine ve derinliğe yine 45° çarpma açısında ulaştığı gözlenlemiştir. 90° çarpma açısında malzemeye dik bir şekilde püskürtülen aşındırıcılar kenar noktalarda aşınmaya sebep olurken orta noktaya doğru malzeme üzerinde delinmeye sebep olmuşlardır. Bu durumda mutlak değerlerlerinin aritmetik ortalamasının 90° çarpma açısında azalması yerine , malzemede meydana gelen pürzülülüğü neredeyse sabit kalmıştır. 15° ve 30° çarpma açılarında ise yüzey pürüzlülük profilinde minimum derinlikte olduğu gözlemlenmiştir. 60°, 75° ve 90° çarpma açılarında R_a, R_v, R_z ve R_p değerleri neredeyse aynı kalmıştır.

3.9. Test numunelerinin X-Ray Görüntüleme Yöntemi ile Analizi

Farklı şekilde yüzeylere sahip radome malzemesinin katı partikül erozyon testleri sonrası yüzeylerinde oluşan hasarların, malzemenin iç yüzeyinde de hasara yol açtığınını tespiti için X-Ray görüntüleme yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde, tahribatsız muayene yöntemi olan X-Ray görüntüleme sonrası film üzerinde oluşan görüntüler incelenmeye çalışılmıştır. Altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°), yüzeyi işlemsiz, yüzeyi boyalı ve yüzeyine erozif bant yapıştırılmış numuneler; alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcı ile aşındırılan test numunelerinin iç yapısının bu yöntem ile görüntülenmesi amaçlanmıştır.

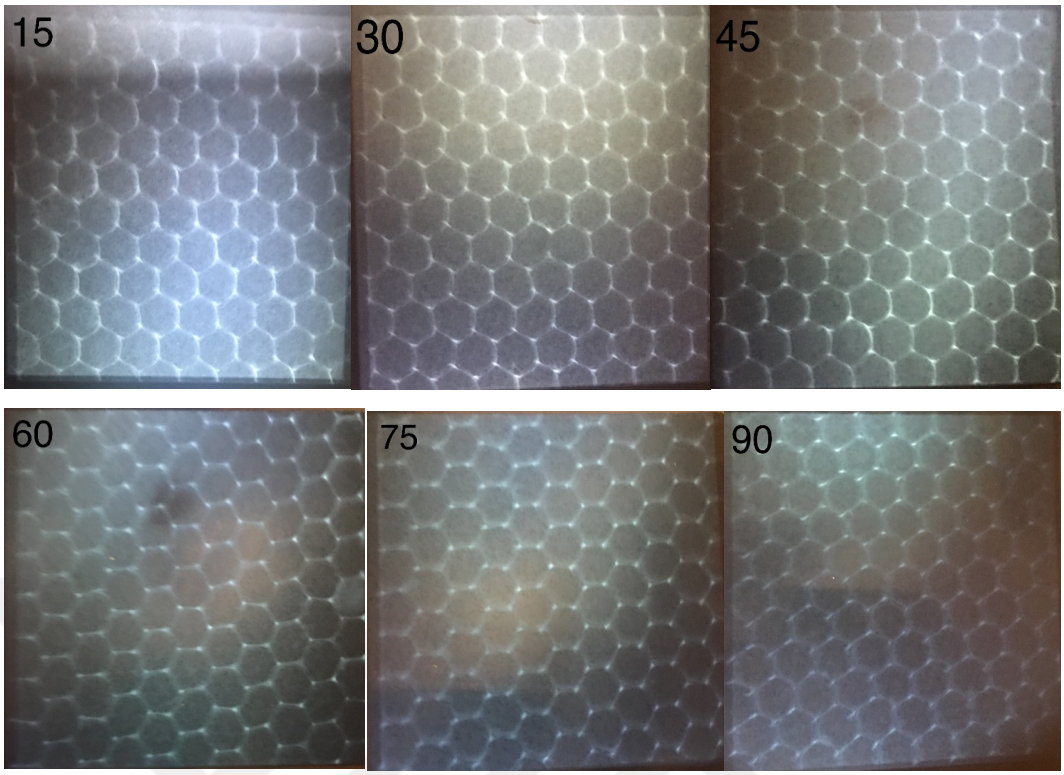
Şekil 3.40'da quartz fiber radom malzemesine uygulanmış alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.40. Quartz fiber radom malzemesine uygulanmış alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri

Şekil 3.40' da 3 bar partikül püskürtme basıncında, alümina 120 mesh partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzemede meydana gelen hasarların görüntüleri incelenmiştir. Katı partikül eroziv aşınma oranının quartz fiber radom malzemesinde en fazla 15° - 30° çarpma açısında gerçekleşmesine rağmen, bu açı değerinde malzeme içerisinde bir hasara rastlanmamıştır. Bu durumun sebebi, 15° çarpma açısında meydana gelen aşınma yatay kuvvet bileşenlerinin yüksek seviyeye ulaşması ile birlikte malzeme yüzeyinde meydana getirdiği aşınma olduğu içindir. 30° çarpma açısında maksimum seviyerde oluşan eroziv aşınma yine malzeme yapısında çok az bir hasara neden olmamıştır. 45° ve 60° çarpma açılarında ise malzeme yapısında meydana gelen hasar siyah karartı olarak net bir şekilde görülmektedir. Eroziv aşınmanın en düşük değeri olan 75° ve 90° çarpma açılarında ise yine malzeme yapısında bir hasara rastlanamamıştır.

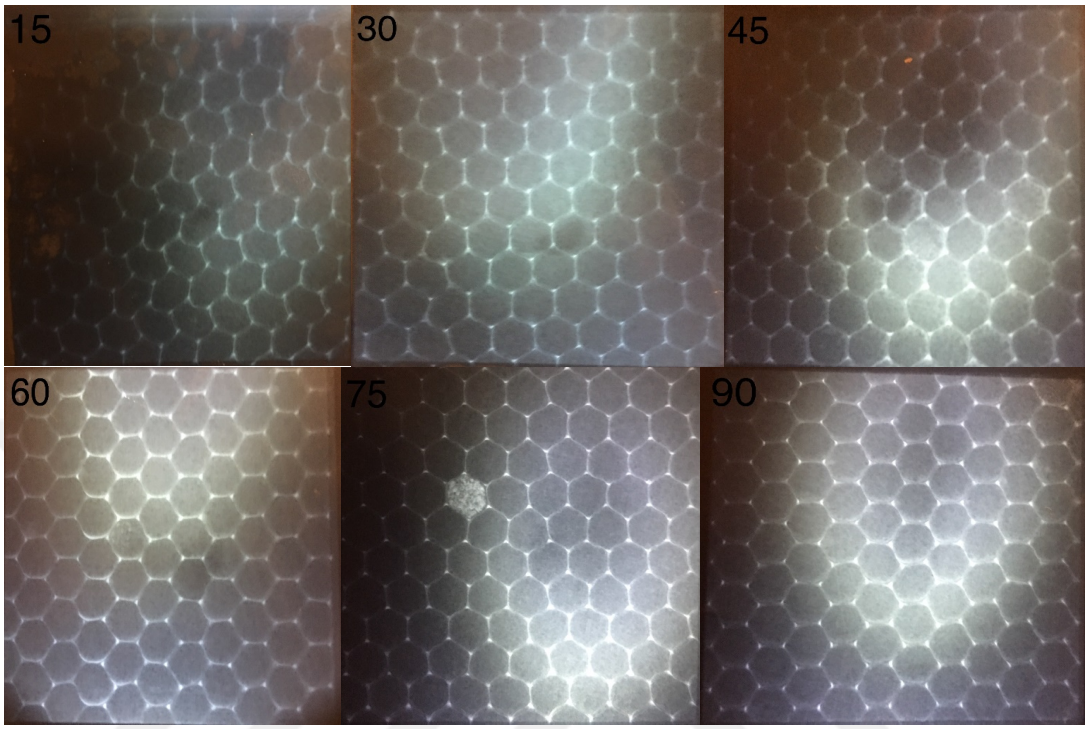
Şekil 3.41'de eroziv bant uygulanmış quartz fiber radom malzemesine uygulanmış alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.41. Eroziv bant uygulanmış quartz fiber radom malzemesine uygulanmış alümina 120 mesh aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri

Şekil 3.41' de 3 bar partikül püskürtme basıncında, alümina 120 mesh partiküller kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzemede meydana gelen hasarların görüntüleri incelenmiştir. Katı partikül eroziv aşınma oranının eroziv bant uygulanmış quartz fiber radom mazlemesinde en fazla 15° - 30° -45° çarpma açılarında gerçekleşmiştir. 15° - 30° çarma açısı değerlerinde malzeme içerisinde bir hasara rastlanmamıştır. Bu durumun sebebi, 15°- 30° çarpma açısında meydana gelen aşınma yatay kuvvet bileşenlerinin yüksek seviyeye ulaşması ile birlikte malzeme yüzeyinde meydana getirdiği aşınma olduğu içindir. 30° çarpma açısında maksimum seviyerde oluşan eroziv aşınma yine malzeme yapısında çok az bir hasara neden olmuştur. 45° ve 60° çarpma açılarında ise malzeme yapısında meydana gelen hasar siyah karartı olarak net bir şekilde görülmektedir. Eroziv aşınmanın en düşük değeri olan 75° ve 90° çarpma açılarında ise malzeme yapısında bir hasara rastlanamamıştır.

Şekil 3.42’de quartz fiber radom malzemesine uygulanmış volkanik kül aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.42. Quartz fiber radom malzemesine uygulanmış volkanik kül aşındırıcısı sonrası ortaya çıkan x-ray grafi görüntüleri

Şekil 3.42’de 3 bar partikül püskürtme basıncında, volkanik kül partikülleri kullanılarak farklı çarpma açılarında gerçekleştirilen deneyler sonucu malzemede meydana gelen hasarların görüntüleri incelenmiştir. Katı partikül eroziv aşınma oranının quartz fiber radom mazlemesinde en fazla 15° - 30° çarpma açılarında gerçekleşmiştir. Bu durumun sebebi, 15°- 30° çarpma açısında meydana gelen aşınma yatay kuvvet bileşenlerinin yüksek seviyeye ulaşması ile birlikte malzeme yüzeyinde meydana getirdiği aşınma olduğu içindir. 15° - 30° çarpma açısı değerlerinde malzeme içerisinde meydana gelen hasarlar karartı olarak gözlemlenmiştir. 45° çarpma açısında ise malzeme yapısında meydana gelen hasar siyah karartı olarak net bir şekilde görülmektedir. 60° ve 75° çarpma açılarında malzemede delinmeler oluştuğu için, oluşan grafi görüntüsünde balpeteği yapısı içerisinde hasar olarak gözlemlenmiştir. Eroziv aşınmanın en düşük değeri olan 90° çarpma açılarında ise malzeme yapısında bir hasara rastlanamamıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uçakların uçuş esnasında ve yerde park pozisyonunda dururken sürekli aşındırıcı partiküllerin etkisine maruz kalmaktadırlar. Teknolojinin gelişmesiyle uçak yapılarında kullanılan malzemeler artık genelde balpeteği kompozit yapıda üretilmektedir. Yapılan araştırmalarda uçakaların en fazla havayla ilk temas ettikleri yüzeylerde aşınmanın maksimum düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Uçakların en ön kısmı olan radom kısmıda, içerisinde bulunan radarların sinyallerinde bir azalma olmaması için kompozit yapıda üretilmektedirler. Tezimizde bahsettiğimiz radom Airbus üreticisinin ticari uçakalrında kullandığı quartz fiber malzemelidir.

Radom kısmı uçağa takılmadan önce, boya ve astar atma gibi bazı işlemlerden geçmektedir. Ayrıca aşınma önleyici tabaka uygulaması da yapılmaktadır. Bu sebeple tezimizde halihazırda sektörde kullanılan boyalı radom malzemesi, işlemsiz radom malzemesi ve üzeri eroziv bant kaplı radom malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemelere iki farklı aşındırıcı olan alümina 120 mesh ve volkanik kül aşındırıcısı 3 bar basınç altında, 10 mm numune uzaklığından, 10 saniye boyunca ve altı farklı açıda (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) numunelere uygulanmıştır.

Farklı partikül çarpma açılarında, farklı tip aşındırıcı partiküller kullanılarak gerçekleştilen deneylerde quartz fiber malzemenin katı partikül erozyonu davranışı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla aşındırılan numunelerin ilk olarak kütle kaybı ve erozyon oranı değerleri hesaplanmıştır. Erozyon testleri sonrasında yüzeylerinde oluşan hasarlar ve pürüzlülük değerleri, bu bölümde temassız lazer profilometre taramalarından elde edilen 3 boyutlu görüntüler ile sonuçlar irdelenerek incelenmiştir. Son olarak malzeme yapasında meydana gelen hasarlar x-ray yöntemi ile incelenmiştir.

Quartz fiber radom malzemesine alümina 120 mesh aşındırıcısı altı farklı partikül çarpma açılarında uygulanmıştır. En yüksek aşınma oranına düşük çarpma açılarında (15°, 30°, 45°) oluştuğu gözlemlenmiştir. Ancak boyalı malzemenin işlemsiz

malzemeyegöre daha fazla aşınmaya uğradığı da deneysel sonuçlar da ortaya çıkmıştır. En düşük aşınma oranının dik açıda olduğu deneylerde görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, yüzeyde oluşan vadi şeklindeki oyukların derinliklerine bakarsak eğer, en yüksek değere düşük çarpma açılarında (15°, 30°, 45°) ulaştığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ortalama pürüzlülük değerleri de aynı çarpma açılarında maksimum olmuştur. Bu her iki malzemede de meydana gelen en fazla kütle kaybının meydana geldiği çarpma açısı değerleriyle örtüşmektedir. Ancak işlemsiz quartz fiber radom malzemesinde 90° çarpma açısında alümina 120 mesh aşındırıcısı malzeme üzerinde birikerek tepeler oluşturmuştur. Bu sebeple bu açı değerinde ortalama yüzey pürüzlülüğünün minimum olması beklenirken, bu değerin üzerinde çıkmıştır. Malzeme yapısında meydana gelen hasarlar x-ray grafi yöntemiyle incelendiğinde, sadece 45° ve 60° çarpma açılarında ise malzeme yapısında hasar meydana geldiği görülmüştür.

Eroziv bant uygulanmış quartz fiber radom malzemesine alümina 120 mesh aşındırıcısı altı farklı partikül çarpma açılarında uygulanmıştır. Boyalı malzemede en yüksek aşınma oranı 15° çarpma açısında meydana gelmişken, işlemsiz malzemede bu değer 30° ve 45° çarpma açısında oluşmuştur. Yukarıdaki yorumla eş değer olarak işlemsiz malzemede meydana gelen aşınma oranı boyalı malzemeye göre daha fazla olduğu görülmüştür. En düşük aşınma oranının dik açıda olduğu deneylerde görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde boyalı ve işlemsiz malzeme arasında farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Ancak her iki numunede de 45° ve 60° çarpma açılarında yüzey üzerinde oluşan tepecikler maksimum seviyeye çıkmıştır. Bu sebeple düşük çarpma açılarında yüksek olan ortalama pürüzlülük, açı değeri büyüdükçe doğrusal oranda düşüş göstermemiştir. 90° çarpma açısında her iki malzemede de yüzey pürüzlülük değeri minim seviyeye inmiştir. Malzeme yapısında meydana gelen hasarlar x-ray grafi yöntemiyle incelendiğinde, sadece 45° ve 60° çarpma açılarında ise malzeme yapısında hasar meydana geldiği görülmüştür.

Quartz fiber radom malzemesine volkanik kül aşındırıcısı altı farklı partikül çarpma açılarında uygulanmıştır. En yüksek aşınma oranına 15° ve 30° çarpma açılarında ulaşılmıştır. Bu derecelerde her iki malzeme için gerçekleştiren katı partikül erozyonlarında aşınma değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Çarpma açısı değeri arttıkça aşınma oranında azalmalar görülmüştür. Ve her iki numune

içinde 90° çarpma açısında minimum olduğu gözlemlenmiştir. Yukarıda açıklanan işlemsiz malzemede meydana gelen aşınma oranının boyalı malzemeye göre daha az olduğu yargısı volkanik kül aşındırıcısı için tersi sonuç yaratmıştır. Aşınma oranı değerleri birbirine yakın olmakla birlikte boyalı malzemede işlemsiz malzemeye oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi volkanik kül aşındırıcısının malzeme yüzeyinde alümina 120 mesh gibi gömülme yapmayıp direkt olarak malzemede kopmalara sebep olmuştur. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, volkanik kül aşındırıcısının alümina 120 mesh aşındırıcısına göre çok daha farklı davrandığı görülmüştür. En yüksek aşınma oranına 15° ve 30° çarpma açılarında ulaşılmış olmasına karşın, her iki malzemede de çarpma açısı değeri 15°' den 90° çarpma açısına gelinceye kadar malzemede meydana gelen vadilerin derinlikleri maksimuma ulaşmıştır. 45°, 60°, 75° ve 90° çarpma açılarında ortalama pürüzlülük değerleri birbirine çok yakındır. Her iki malzemede de aşınan bölgede meydana gelen tepeciklerin 45° çarpma açısında oluştuğu görülmüştür. . Malzeme yapısında meydana gelen hasarlar x-ray grafi yöntemiyle incelendiğinde, her açı değerinde malzeme yapısında hasar oluştuğu gözlemlenmiştir. Özellikle dik açılarda malzemede delinmeler oluşmuştur.

Dört farklı malzeme ve iki farklı aşındırıcı ile altı farklı açıda uygulanan katı partikül eroziv aşınma testlerinden çıkan sonuç, sünek malzeme davranışından da beklendiği gibi, maksimum eroziv aşınma oranının düşük çarpma açılarında (15°, 30°, 45°) oluştuğu gözlemlenmiştir. Çarpma açısı arttıkça numunelerde meydana gelen aşınma oranlarında da azalmalar olduğu görülmüştür. 90° çarpma açısında eroziv aşınma oranı tüm numunelerde minimum seviyededir.

Quartz fiber radom malzemesine Alümina 120 aşındırıcı ve Volkanik Kül aşındırıcısı uygulaması sonrası katı partikül eroziv aşınma oranları karşılaştırılmıştır. Tüm çarpma açılarında volkanik kül aşındırıcısı malzemede daha fazla aşınmaya neden olmuştur. Düşük çarpma açılarında (15°, 30°, 45°) meydana gelen aşınma oranları arasında çok fazla fark olmamasına karşın, açı değeri arttıkça aşındırıcıların sebep olduğu aşınma oranlarında oluşan fark gittikçe artmaktadır. Her iki aşındırıcı tipi içinde 90° çarpma açısı verilerine bakıldığında volkanik kül aşındırışında meydana gelen eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırışında meydana gelen eroziv aşınma oranının yaklaşık 5 katı kadardır. Yüzey pürüzlülük değerleri

karşılaştırıldığında ise, genel olarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri alümina 120 mesh aşındırıcısında daha fazla görülmüştür. Bu durum volkanik kül aşındırıcısının malzeme yüzeyine çarptığında daha yüksek oranda plastik deformasyon gerçekleştirmeleri ile açıklanabilir.

Quartz fiber kompozit ve eroziv bant uygulanmış quartz fiber kompozitin alümina 120 mesh aşındırıcı tipinde eroziv aşınma oranlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. İlk olarak, tüm çarpma açılarında, alümina 120 mesh aşındırıcısının eroziv bant uygulanmış quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının quartz fiber malzeme üzerinde meydana getirdiği eroziv aşınma oranından daha az olduğu gözlemlenmiştir. Düşük çarpma açılarında (15°, 30°, 45°) meydana gelen aşınma oranları arasında ciddi oranda fark oluşurken, açı değeri arttıkça aşındırıcıların sebep olduğu aşınma oranlarında oluşan fark gittikçe azalmaktadır. Sadece 90° çarpma açısında her iki malzeme içinde malzeme üzerinde oluşturdukları eroziv aşınma oranları birbirlerine oldukça yakındır. Alümina 120 mesh aşındırıcısının 90° çarpma açısı dışındaki diğer tüm açılarda boyalı quartz fiber radom malzemesinde oluşturduğu eroziv aşınma oranı, alümina 120 mesh aşındırıcısının 90° çarpma açısı dışındaki diğer tüm açılarda eroziv bant uygulanmış boyalı quartz fiber kompozitte meydana getirdiği eroziv aşınma oranının 2 katı kadar olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında ise, genel olarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri eroziv bant uygulanmış radom malzemesinde daha azdır. Ancak eroziv bantın yüzeyden ayrılıp tepecik oluşturmasından dolayı, bu değerler eroziv bant uygulanmış radom malzemesinde daha yüksek değerlerdedir.

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde, hava araçlarının radom bölgelerine eroziv bant uygulaması ile aşındırıcı tiplerine karşı dayanımın arttırılması sağlanabilir. Bu sayede aşındırıcılar sebebiyle plansız şekilde oluşacak boya hasarları, bu hasarların ilerlemesi ile oluşabilecek radar hasarlara önlem alınabilir.

KAYNAKLAR

[1] Kayrak M.A., Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri, *Sivil Havacılık Yüksek Okulu Yayınları*, 1999, **09**, 12-13.

[2] Zor, M., Kompozit Malzemelerde Genel Bilgiler, Dokuz Eylül Üniversitesi, http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2Genel_bilgiler.pdf , (Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2016).

[3] Sjoblem P.O., Hartness J.T., Cordell T.M., On Low Velocity Impact Testing of Composite Materials, *Journal Composite of Materials*, **22**, 30-52, 1988.

[4] Aran A., Metal Matrisli Kompozit Malzemeler, İstanbul Teknik Üniversitesi, http://web.itu.edu.tr/~arana/IML212-N9.pdf, (Ziyaret Tarihi: 03 Ocak 2016).

[5] Eren Y., Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2007, 202834.

[6] Mazumdar S.K., *Composites Manufacturing: Material, Product and Process Engineering*, 24, CRC Pres, Boca Raton London New York Washington, 2002.

[7] Anonim A.S.M., *International, Composite Materials the Basics*, 4, Materials Engineering Institute ASM International, Ohio, 1984.

[8] URL-1: http://www.zinisan.com.tr/html/kompozit.pdf, (Ziyaret tarihi: 15 Kasım 2015).

[9] Ekinci V.Ş., Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 212775.

[10] Offringa A., New Thermoplastic Composite Design Concept and Their Automated Manufacture, *JEC Composite Magazine*, 2010, **58**, 45-48.

[11] Kaw A., *Mechanics of Composite Materials*, 2nd ed., CRC Press, Florida, 2006.

[12] Fidan S., Polimer Matrisli Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi ve Oluşan Hasarların Mikro-Tomografi Yöntemiyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 301641.

[13] Kara M., Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006, 183204.

[14] Karaca D., Farklı Kalınlık ve Oryantasyon Yüzdelerindeki Tabakalı Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Enerjileri Altında Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 269714.

[15] Almy M., Post damage capability of carbon fibre reinforced matrices, *Proc lnt Conf on Polymers for Composites The Plastics and Rubber Lost*, London, UK, 11 Ekim 1987.

[16] URL-1: http://hiltex.com.tr/urunler/yuksek-isi-yalitim-kumaslari/cam-elyaf-kumaslar/, (Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2016).

[17] Stellbrink K.K.U., *Proc European Syrup on Damage Development and Failure Processes in Composite Materials*, 2nd ed., Aston Publications, Leuven Belgium, 1987.

[18] URL-1: http://tersfonksiyon.com/kompozit-malzemeler, (Ziyaret Tarihi: 16 Eylül 2017).

[19] Redmk S., Optimal use of adhesive layers in reducing impact damage in composite laminates, Editors: Sna, C.T., *Composite Structures*, 2nd, Elsevier Applied Science Publications, London, 218-231, 1987.

[20] URL1: https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/materials/6720, (Ziyaret Tarihi: 16 Aralık 2015).

[21] Hong S., IAu, D., On the relationship between impact energy and delamination area, *Exptl Mech*, 1989, **13**, 115-120.

[22] Yu SD, Free Flexural Vibration Analysis of Symmetric Honeycomb Panels, *J Sound Vib*, 2005, **284**, 189-204.

[23] http://www.yalitimli-aluminyum.com/p/termoplastik.html, (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2017).

[24] Baker A., *Composite Materials for Aircraft Structures*, 2nd, American Institute of Aeronautics and Astronautics AIAA Education Series, Virginia, 1-2, 2004.

[25] Boeing Aircraft and Space Industry, *Aircraft Maintenance Manual*, 64rd, Boeing Technical Publication Center, Seattle, 2017.

[26] Airbus S.A.A., *Aircraft Maintenance Manual,* 17rd, Technical Publications, Toulouse, 2017.

[27] http://www.boeingimages.com/archive/Boeing-787-Dreamliner-Composition-by-Major-Component-2JRSXLJW4ZHP.html, (Ziyaret tarihi: 05 Mayıs 2016).

[28] Airbus S.A.A., *A320 Quick Reference Composite Material Usage*, 4rd, Technical Publications, Toulouse, 2011.

[29] https://www.azom.com/article.aspx.ArticleID=7984, (Ziyaret tarihi: 17 Haziran 2017).

[30] https://www.indiamart.com/proddetail/quartz-fiber-fabric-5025639955.html, (Ziyaret tarihi: 17 Haziran 2017)

[31] http://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2015/09/airbusofficially-opens-u-s/manufacturing-facility.html, (Ziyaret tarihi: 20 Eylül 2017).

[32] Boeing Aircraft and Space Industry, *Structural Repair Manual*, 32nd, Boeing Technical Publication Center, Seattle, 2017.

[33] Abrate S., Impact on laminated composite materials, *Applied Mechanics Review*, 1991, **44**(4), 155-190.

[34] Thanomslip C., Hogg P., Penetration Impact Resistance of Hybrid Composites Based on Commingled, *Yarn Fabrics Composite Science Technology*, 2003, **63**, 21-27.

[35] Sadasivam B., Mallick P.K., Impact Damage Resistance of Random Fiber Reinforced Automotive Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Material*, 202, **15,** 114-127.

[36] Naik N.K., Ramasimba R., Arya H, Impact Response and Damage Tolerance Characteristics of Glass-Carbon/EpoxyHybrid Composite Plates, *Composite Part B* , 2001, **32**, 565-574.

[37] Aslan Z., Karakuzu R., Sayman O., Dynamic Characteristics of Laminated Woven E-glass/Epoxy, *Journal of Composite Materials*, 2001, **36**(21), 241-242.

[38] Sundararajan G., R. M., Solid Particle Erosion Behaviour of Metallic Materials at Room and Elevated Temperatures, *Tribology International*, 1997, **30**, 330-365.

[39] Kleis I., Kulu P., Solid Particle Erosion Occurrence Prediction and Control, *Springer*, DOI: 1848000286, 206, 2007.

[40] Gohardani O., Impact of Erosion Testing Aspects on Current and Future Flight Conditions, *Elsevier,* 2011, **47,** 280-303.

[41] Federal Aviation Administration, Airport Foreign Object Debris (FOD), *US Department of Transportation*, **14**, 1-2 , 2009.

[42] Zagainov GI., Lozino-Lozinsky G.E., Composite Materials in Aerospace Design, *Springer*, DOI: 0412584700, 445, 1996.

[43] Fyall A.A., King R.B., Proceedings of the Rain Erosion, *Royal Aircraft Establishment Conference*, Meersburg West Germany, 1965.

[44] Boeing Commercial Aircraft Company, Aircraft Surface Coating, *Langely Research Center*, Technical Report NASA CR-3661, 4-9, 1983.

[45] Tabakoff W., Hamed A., Shanov V., Blade Deterioration in a Gas Turbine Engine, *International Journal of Rotating Machinery*, DOI: 10.1155/S1023621X98000190.

[46] Hussein M.F., Tabakoff W., Dynamic Behavior of Solid Particles Suspended by Polluted Flow in a Turbine Stage, *Journal of Aircraft*, 1973 , **10**(7), 434–440.

[47] Richardson G.Y., Lei S.C., Tabakoff W., Testing of Coatings for V-22 Aircraft Applications, *Interntional Journal of Rotating Machinery*, 2003, **9**, 35–40.

[48] Rosato D., Schott N., *Plastics Institute of America Plastics Engineering Manufacturing and Data Handbook*, 1, Springer, US, 2001.

[49] Fyall A.A., King R.B., The Rain Erosion Characteristics of Concorde, *Part 2 Summary Reports*, RAE/TR-75079, 5-11, 1975.

[50] Manton M., The Physics of Clouds in the Atmosphere, *Reports on Progress in Physic*, 1983, **46**, 393–445.

[51] NASA Reliability and Maintainability Steering Committee, NASA Reliability Preferred Practices for Design and Test, *NASA Office of Safety and Mission Quality*, TM 4322, 4, 1991.

[52] Gent R.W., Dart N.P., Cansdale J.T., Aircraft Icing, *Philosophical Transaction of the Royal Society*, DOI:10.1098/rsta.2000.0689.

[53] Grindle T.J., Burcham Jr. F.W., Engine Damage to a NASA DC-8-72 Airplane from a High Altitude Encounter with a Diffuse Volcanic Ash Cloud, *NASA*, TM-2003-212030, 17, 2003.

[54] http://www.bbc.com/news/world-europe-28977773, (Ziyaret tarihi: 11 Mart 2017).

[55] https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/ash_clouds_air___ routes_effects_on _aircraft.html, (Ziyaret tarihi: 11 Mart 2017).

[56] Dunn M.G., Baran A.J., Miatech J., Operation of Gas Turbine Engines in Volcanic Ash Clouds, *Journal Engine Gas Turbines Power*, DOI:10.1115/1.2816987.

[57] Jilbert G.H., Field J.E., Synergistic Effects of Rain and Sand Erosion, *Wear*, DOI:10.1016/S0043-1648(00)00367-7.

[58] Baker D.W.C., Jolliffe K.H, Pearson D., The Resistance of Materials to Impact Erosion Damage, *Philosophical Transaction of the Royal Society*, 1966, **260**(1110), 193–203.

[59] Tewari U.S, Harsha A.P., Hager A.M., Friedrich K., Solid Particle Erosion of Carbon Fibre and Glass Fibre Epoxy Composites, *Composites Science and Technology*, 2003, **63** , 549-557.

[60] Alle W.G., A Rain Erosion Resistant Coating for High Speed Flight, *Aircraft Engine Aerospace Technology*, 1967, **39**(12), 8-10.

[61] Harris D.C., *Materials for Infrared Windows and Domes*, 70, SPIE, California, 1999.

[62] http://www.aerosionix.com/radomes-against-erosion-article-27-8-16.pdf, (Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2017).

[63] https://multimedia.3m.com/mws/media/317474O/3m-polyurethaneprotective-tape-8681hs.pdf, (Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2017).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Yurduseven K.**, Fidan S., Tuna V., Bora M. Ö., Çoban O., Kıvanç T., Low Velocity Impact Damage Evaluation of Quartz Fiber Reinforced Aircraft Radome Composite, *15. Uluslararası Malzeme Sempozyumu*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 15-17 Kasım 2014.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde Motor Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu. 2011-2012 yılları arasında MyTechnic bakım onarım merkezinde, 2012-2013 yılları arasında SunExpress HavaYollarında Uçak Bakım Teknisyeni olarak görev yaptı. 2013 yılından beri Pegasus Havayollarında Uçak Bakım Teknisyeni ve Teknik Eğitmen olarak çalışmaya devam etmektedir. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir.