

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM YÜZEYİNE POLİMER
KAPLAMALARIN UYGULANMASI VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru AKCAN

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Akın AKINCI

Haziran 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**ALÜMİNYUM YÜZEYİNE POLİMER
KAPLAMALARIN UYGULANMASI VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru AKCAN

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 21/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Akın AKINCI
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Ali Osman KURT
Üye



Prof. Dr.
Tamer SINMAZÇELİK
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ebru AKCAN

18.05.2016

TEŞEKKÜR

Öncelikle bütün hayatım boyunca yanımda olan, hiçbir maddi ve manevi yardımı esirgemeyen, üzerimde büyük emekleri olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında fikir ve tecrübelerini paylaşmaktan çekinmeyen değerli hocam Prof. Dr. Akın AKINCI'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca SAN-TEZ programı kapsamında oluşturulan bir proje çalışmasında yer almamızı sağlayarak çalışmalarımızı destekleyen T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile birlikte Toyota Boshoku Türkiye A.Ş.'ne (Proje no: 0312.STZ.2013-2) teşekkürü bir borç bilirim. Kaplamalar için altlık malzemelerimin hazırlanmasında desteği olan Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. firması ile Parlak Metal Kaplama firmasına teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında yardımlarıyla destek olan değerli arkadaşlarım Arzu ÖZÜYAĞLI ve Cem MEHMETALİOĞLU ile tezimi düzenleme kısmında büyük yardımı olan değerli arkadaşım İbrahim Fatih KEKİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrencisi olduğum ve çalışmalarımı gerçekleştirdiğim Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne ve kıymetli öğretim üyelerine, araştırma görevlilerine ve ayrıca bana yardımı dokunan herkese teşekkür ederim. Gayret bizden başarı Allah'tandır.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xvi
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
POLİÜRETANLAR	4
2.1. Poliüretan Malzemelerin Tarihçesi	4
2.2. Poliüretan Malzemeler	4
2.2.1. Poliüretan malzemelerin tanımı.....	5
2.2.2. Poliüretan malzemelerin bileşenleri	5
2.3. Poliüretan Köpükler	7
2.3.1. Esnek poliüretan köpük malzemeler	8
2.4. Poliüretan Malzemelerin Üretim Metotları.....	9
2.4.1. Reaksiyon enjeksiyon kalıplama (RIM) prosesi	10
2.4.2. Difenil metan diizosiyanat (MDI) üretim prosesi.....	12
2.4.3. Toluen diizosiyanat (TDI) üretim prosesi	13
2.5. Kalıp Ayırıcılar	14

BÖLÜM 3.

ALÜMİNYUM	16
3.1. Alüminyum'un Tarihsel Gelişim Süreci	16
3.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri	16
3.3. Al-Si Alaşımları	18
3.4. Alüminyum'un Endüstriyel Kullanım Alanları	21
3.5. Alüminyum Plastik Kalıpları	21
3.6. Koltuk Süngeri Üretiminde Kullanılan Alüminyum Kalıplar	23
3.7. Al Kalıp Yüzeyinde Bağlanma Mekanizmaları	25

BÖLÜM 4.

ALÜMİNYUM'UN YÜZEY İŞLEMLERİ	27
4.1. Yüzey Hazırlama	27
4.1.1. Mekanik ön işlemler	27
4.1.2. Kimyasal ön işlemler	28
4.2. Kuşlama İşlemi	29
4.2.1. Kuşlama makinaları	31
4.2.2. Aşındırıcılar	35
4.2.3. Aşındırıcıların kuşlamaya etkisi	35
4.3. Alüminyum'un Anodik Oksidasyonu (Eloksal)	40
4.3.1. Anodizasyon tanımı	40
4.3.2. Anodik oksit yapısı ve oluşum mekanizması	42
4.3.3. Alüminyum oksit oluşumunu etkileyen parametreler	45
4.4. Polisaj ve Parlatma	46
4.4.1. Polisaja etki eden faktörler	48

BÖLÜM 5.

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE KAPLAMA İŞLEMİ	51
5.1. Sol-jel Teknolojisi	51
5.2. Sol-jel kaplama işlem aşamaları	52
5.3. Püskürtme yöntemiyle sol-jel kaplamanın uygulanması	53
5.4. Granit kaplama	54

5.5. Yüzeylerin Yapışmazlık Özellikleri	54
5.6. Kontak açısının ölçülmesi	58

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
6.1. Altlık Malzemelerinin Üretimi.....	60
6.2. Kumlama İşlemi	62
6.3. Anodizasyon İşlemi.....	62
6.4. Parlatma İşlemi.....	64
6.5. Kaplama İşlemi.....	65
6.5.1. Altlık malzemelerin kaplama işlemine hazırlanması.....	65
6.5.2. Kaplama İşlemi ve Parametreler	67
6.5.3. Deneyleerde kullanılan malzemeler	67
6.5.4. Nano Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ katkılı birinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların üretimi.....	68
6.5.5. Nano Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ katkılı ikinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların üretimi	70
6.5.6. Nano Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ katkılı üçüncü bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların üretimi	73
6.5.7. Nano Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ katkılı dördüncü bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların üretimi	75
6.5.8. Granit görünümlü polimer esaslı kaplamaların üretimi	76
6.6. Yapılan Karakterizasyon İncelemeleri	79
6.6.1. Kalınlık ölçümü.....	79
6.6.2. Yüzey pürüzlülüğü	80
6.6.3. Optik mikroskop incelemeleri.....	80
6.6.4. SEM ve EDS incelemeleri.....	81
6.6.5. AFM ölçümleri	82
6.6.6. Kontak açısı tespiti	82
6.6.7. Cross-cut incelemeleri.....	83
6.6.8. Kaplama adezyonu ve ölçülmesi.....	85
6.6.9. XRD Analizi	87

BÖLÜM 7.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	88
7.1. Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu	88
7.1.1. Yüzey pürüzlülüğü.....	88
7.1.2. Mikroyapı incelemeleri.....	90
7.1.3. Kontak açısı değerleri	92
7.1.4. AFM incelemeleri	94
7.1.5. XRD Sonuçları.....	95
7.2. Kaplamaların Karakterizasyonu.....	95
7.2.1. Kalınlık ölçümü	95
7.2.2. Optik mikroskop görüntüleri.....	99
7.2.3. Kontak açısı değerleri	107
7.2.4. Cross-cut yapışma deney sonuçları.....	115
7.2.5. SEM ve EDS analizi	121
7.2.6. AFM incelemeleri	131
7.2.7. Yüzey pürüzlülüğü.....	134
7.2.8. Kaplama adezyonu ve ölçümü.....	136
7.2.9. XRD analizi	139

BÖLÜM 8.

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	142
8.1. Genel Sonuçlar	142
8.2. Öneriler	143
KAYNAKLAR.....	144
ÖZGEÇMİŞ	151

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AFM	: Atomik kuvvet mikroskopisi
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
ASTM	: Amerikan standart
C ₂ H ₅ OH	: Etil alkol
CA	: Temas açısı
CO ₂	: Karbondioksit
γ _{kg}	: Katı ve gaz arasındaki arayüzey gerilimi
γ _{ks}	: Katı ve sıvı arasındaki arayüzey gerilimi
DA	: Doğru akım
EDS	: Enerji dağılımı spektrometresi
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
HDI	: Hekza metilen diizosiyanat
HCl	: Hidroklorik asit
M	: Molarite
MDI	: Difenil metan diizosiyanat
MTMS	: Metiltrimetoksisilan
NaOH	: Sodyum hidroksit
NH ₄ F	: Amonyum florür
NH ₄ OH	: Amonyum hidroksit
OH ⁻	: Hidroksil
PFOA	: Perflorooktanoik asit
psi	: İnç kareye pound cinsinden uygulanan kuvvet
PTFE	: Politetrafloroetilen
PU	: Poliüretan
RIM	: Reaksiyon enjeksiyon kalıplama
SEM	: Taramalı electron mikroskopu
SiO ₂	: Silisyum dioksit

SPH	: Sıkı paket hegzagonal
γ_{sg}	: Sıvı ve gaz arasındaki arayüzey gerilimi
TDI	: Toluen diizosiyanat
TEOS	: Tetraetil ortosilikat
XRD	: X-ışınları difraksiyonu
YMK	: Yüzey merkezli kübik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Poliüretan malzemelerin kimyasal yapısı	5
Şekil 2.2. a) Difenil metan diizosiyanat (MDI) ve b) toluen diizosiyanat (TDI) şematik gösterimi	6
Şekil 2.3. Politetrametilen eter glikol yapısının şematik gösterimi	6
Şekil 2.4. Esnek poliüretan köpük uygulamaları	8
Şekil 2.5. Poliüretan köpükte meydana gelen değişim evreleri	9
Şekil 2.6. Reaksiyon enjeksiyon kalıplama (RIM) prosesinin şematik gösterimi	10
Şekil 2.7. Toluene diizosiyanat üretim akış şeması	14
Şekil 3.1. Değişik oranlarda Si içeren Al-Si alaşımlarının mikroyapıları , a) Saf Al, b) Al-%7Si, c) Al-%12,6Si, d) Al-%20Si, e) Al-%30Si ve f) Al- %40Si	19
Şekil 3.2. Al-Si ikili denge diyagramı	20
Şekil 3.3. Sünger üretiminde kullanılan alüminyum plastik kalıbı	23
Şekil 3.4. PU koltuk a) Al kalıp ve reaksiyonunu yeni tamamlamış PU sünger b) otomobil koltuğu üretiminde kullanılan PU sünger ürün	24
Şekil 3.5. Pürüzlü yüzey üzerinde yapışma mekanizması	25
Şekil 3.6. Elektrostatik bağlanma teorisi	26
Şekil 3.7. Difüzyon ile bağlanma teorisi	26
Şekil 4.1. Manuel kumlama kabini görüntüsü	32
Şekil 4.2. Kumlama kazanı görüntüsü	33
Şekil 4.3. Kumlama odası görüntüsü	34
Şekil 4.4. Türbinli kumlama makinesini oluşturan ünitelerin görüntüsü	34
Şekil 4.5. Aşındırıcıların numune üzerine püskürtülme görüntüsü	35
Şekil 4.6. Numune üzerinde aşırı dövme izi görüntüsü	36
Şekil 4.7. Numune üzerinde istenilen temizliğin sağlanmamış görüntüsü	36
Şekil 4.8. Düşük sertlik değerine sahip aşındırıcı görüntüsü	37
Şekil 4.9. Uygun sertlik değerine sahip aşındırıcı görüntüsü	37

Şekil 4.10. Yuvarlak aşındırıcı görüntüsü	37
Şekil 4.11. Köşeli aşındırıcı görüntüsü	37
Şekil 4.12. Eloksal işlem banyosu	41
Şekil 4.13. Anodik oksit yapısı	42
Şekil 4.14. Anodik oksit yapısının SEM görüntüsü; (a) 3500X büyütme (b) 40000X büyütme	43
Şekil 4.15. Gözeneklerin oluşumu	43
Şekil 4.16. Gözeneklerin gelişmesi.....	44
Şekil 4.17. Polisaj eğrisi.....	46
Şekil 4.18. Parlatma makinası ve polisaj	47
Şekil 4.19. Metal yüzeyinin polisajla düzeltilmesi.	48
Şekil 4.20. Tekerin terminolojisi	49
Şekil 5.1. Çeşitli sol-jel türevli ürünlerin şematik gösterimi	51
Şekil 5.2. Yüksek enerjili ve düşük enerjili yüzeylerin karşılaştırılması	55
Şekil 5.3. Yüzey serbest enerjisi vektörleri ve kontak açısı	56
Şekil 5.4. Kohezyon ve adezyon kuvvetleri	57
Şekil 5.5. Gonyometrik metotla katı bir yüzey üzerinde oluşturulan su damlasının profili.....	58
Şekil 5.6. Kontak açısının ölçülmesi için deney düzeneği	59
Şekil 6.1. Hazırlanan numunelerin teknik çizimleri a) levhasal b) silindirik.....	60
Şekil 6.2. Altlık malzemelerin son halleri a) levhasal, b) silindirik.....	61
Şekil 6.3. Eloksallama ünitelerinin işlem sırasına göre görüntüleri, a) Polisaj, b) durulama, c) dağlama, d) anodizasyon ve e) ön tespit	63
Şekil 6.4. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış levhasal şekilli alüminyum altlık malzemelerine ait yüzey görüntüleri.	65
Şekil 6.5. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış silindirik şekilli alüminyum altlık malzemelerine ait yüzey görüntüleri.	65
Şekil 6.6. Alüminyum altlık malzemelerin temizlenmesinde kullanılan ultrasonik temizleme cihazı.	66
Şekil 6.7. Birinci bileşime sahip nano Al ₂ O ₃ toz katkılı polimer esaslı sol-jel kaplamaya ait üretimin şematik gösterimi.	69

Şekil 6.8. %3,5 nano Al ₂ O ₃ toz katkılı birinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	70
Şekil 6.9. % 3,5 nano SiO ₂ toz katkılı birinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	70
Şekil 6.10. Nano SiO ₂ toz katkılı ikinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamanın ultrasonik karıştırıcıdaki görüntüsü.....	71
Şekil 6.11. Nano SiO ₂ toz katkılı ikinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamanın püskürtülmesine ait görüntü.....	72
Şekil 6.12. % 3,5 nano Al ₂ O ₃ toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	72
Şekil 6.13. % 3,5 nano SiO ₂ toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	73
Şekil 6.14. % 3,5 nano Al ₂ O ₃ toz katkılı üçüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	74
Şekil 6.15. % 3,5 nano SiO ₂ toz katkılı üçüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	74
Şekil 6.16. % 3,5 nano Al ₂ O ₃ toz katkılı dördüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	75
Şekil 6.17. % 3,5 nano SiO ₂ toz katkılı dördüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.....	76
Şekil 6.18. Kaplama ünitelerinin işlem sırasına göre görüntüleri, a) kumlama, b) astarlama, c) ara katların atılması, d) fırınlama için askılama ve e) kürlenme fırını.....	77
Şekil 6.19. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış levhasal şekilli alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış olan granit kaplamanın görüntüsü.....	78
Şekil 6.20. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış silindirik şekilli alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış olan granit kaplamanın görüntüsü.....	78
Şekil 6.21. Kullanılan kalınlık ölçüm cihazı.....	79
Şekil 6.22. Kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı.....	80
Şekil 6.23. Kullanılan üç boyutlu optik mikroskop cihazı.....	81

Şekil 6.24. Kullanılan SEM cihazı.....	81
Şekil 6.25. Kullanılan AFM cihazı.....	82
Şekil 6.26. Kontak açısı ölçümü yapılan cihaz.	82
Şekil 6.27. a) Cross-cut testi cihazı, b) Cross-cut testinde kullanılan kesici.	83
Şekil 6.28. Yapışma mukavemeti deneyinde kullanılan granit görünümlü poli- mer kaplanmış 25,4 mm çapındaki silindirik numuneler.	86
Şekil 6.29. ASTM C633 yapışma mukavemeti a) şematik çizimi b) test sırasın- daki görünümü.....	86
Şekil 6.30. Analiz yönteminde kullanılan Rigaku Dimaks 2200 marka X- ışınları difraktometresi.	87
Şekil 7.1. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış, c) parlatılmış-eloksallanmış ve d) parlatılmış alüminyum altlıkların yüzey pürüzlülüğü görüntüleri.	89
Şekil 7.2. Farklı yüzey işlemi görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri. ...	89
Şekil 7.3. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış, c) parlatılmış-eloksallanmış ve d) parlatılmış alüminyum altlıkların optik mikroyapıları.....	90
Şekil 7.4. 2M'lık H ₂ SO ₄ çözeltisinde 19°C sıcaklıkta 30 dakika ve 18 V gerilim değerindeki numunelerin a) SEM görüntüsü ve b) EDS analizi.	91
Şekil 7.5. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış, c) parlatılmış-eloksallanmış ve d) parlatılmış alüminyum altlıkların kontak açıları.	92
Şekil 7.6. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlık malzemelere ait AFM görüntüleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.	94
Şekil 7.7. Etial 171 alüminyum alaşımına ait altlık malzemelerin XRD sonucu.....	95
Şekil 7.8. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış nano Al ₂ O ₃ toz katkılı çeşitli bileşime sahip polimer kaplamaların ortalama kalınlıkları.	96
Şekil 7.9. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış nano SiO ₂ toz katkılı çeşitli bileşime sahip polimer kaplamaların ortalama kalınlıkları.	97
Şekil 7.10. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın ortalama kalınlık değerleri.....	98

Şekil 7.11. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer kaplamanın kumlanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.	99
Şekil 7.12. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer kaplamanın eloksallanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.	100
Şekil 7.13. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer kaplamanın parlatılmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.	101
Şekil 7.14. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO_2 toz katkılı polimer kaplamanın kumlanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.	102
Şekil 7.15. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO_2 toz katkılı polimer kaplamanın eloksallanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.	103
Şekil 7.16. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO_2 toz katkılı polimer kaplamanın parlatılmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.	104
Şekil 7.17. a) Kumlanmış (5X), b) kumlanmış (10X), c) eloksallanmış (5X), d) eloksallanmış (10X), e) parlatılmış (5X) ve f) parlatılmış (10X) alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait optik mikroskop görüntüleri.	105
Şekil 7.18. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait üç boyutlu optik mikroskop görüntüleri.	106
Şekil 7.19. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış nano Al_2O_3 toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değerleri.	107
Şekil 7.20. % 3,5 Al_2O_3 nano toz katkılı bileşimlerin farklı yüzey işlemi görmüş altlıklardaki kontak açısı değerlerinin karşılaştırılması.	108

Şekil 7.21. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış nano SiO ₂ toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değerleri.....	109
Şekil 7.22. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış nano SiO ₂ toz katkılı dördüncü bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değerleri.....	110
Şekil 7.23. % 3,5 SiO ₂ nano toz katkılı bileşimlerin farklı yüzey işlemi görmüş altlıklardaki kontak açısı değerlerinin karşılaştırılması.	111
Şekil 7.24. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamalara ait kontak açısı değerleri.	112
Şekil 7.25. Granit görünümlü kaplamanın kontak açısı ölçümü sırasındaki suyun yüzey üzerinde oluşturduğu küresel formun görüntüsü.....	113
Şekil 7.26. Farklı yüzey işlemi alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait kontak açısı sonuçları.....	113
Şekil 7.27. Yüzey işlemlerine bağlı olarak granit görünümlü kaplama ile nano Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamaların kontak açısı değerleri.	114
Şekil 7.28. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al ₂ O ₃ toz katkılı polimer kaplamaların kumlanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.	115
Şekil 7.29. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al ₂ O ₃ toz katkılı polimer kaplamaların eloksallanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.	116
Şekil 7.30. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO ₂ toz katkılı polimer kaplamaların kumlanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.	117
Şekil 7.31. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO ₂ toz katkılı polimer	

kaplamaların eloksallanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.	118
Şekil 7.32. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait cross-cut yapışma deneyi sonuçları.	120
Şekil 7.33. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO ₂ tozu içeren ikinci bileşime ait kaplama-nın a) SEM yüzey görüntüsü, b) elementel analiz dağılımı ve c) alan haritalama.	121
Şekil 7.34. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO ₂ tozu içeren üçüncü bileşime ait kaplama-nın a) SEM yüzey görüntüsü, b) elementel analiz dağılımı ve c) alan haritalama.	122
Şekil 7.35. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO ₂ tozu içeren ikinci bileşime ait kaplama-nın SEM enine kesit görüntüsü.	123
Şekil 7.36. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO ₂ tozu içeren ikinci bileşime ait kaplama-nın üç boyutlu optik mikroskoptaki enine kesit görüntüsü.	123
Şekil 7.37. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO ₂ tozu içeren üçüncü bileşime ait kaplama-nın a) SEM yüzey görüntüsü, b) elementel analiz dağılımı ve c) alan haritalama.	124
Şekil 7.38. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümü polimer kaplamanın a) 100X ve b) 500X büyütmede elde edilmiş enine kesit SEM görüntüsü.	125
Şekil 7.39. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümü polimer kaplamanın (a) SEM görüntüsü (b) kaplama bölgesinin ve (c) altlık malzemesinin EDS analizi.	126
Şekil 7.40. Eloksallanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümü polimer kaplamanın (a) 100X ve (b) 1000X büyütmede elde edilmiş enine kesit SEM görüntüsü.	127
Şekil 7.41. Eloksallanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümü polimer kaplamanın (a) SEM görüntüsü (b) kaplama bölgesinin (c) eloksallama bölgesinin ve (d) altlık malzemesinin EDS analizi.	128

Şekil 7.42. Parlatılmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünüm- lü kaplamanın (a) 100X ve (b) 1000X büyütmede elde edilmiş eni- ne kesit SEM görüntüsü.	129
Şekil 7.43. Parlatılmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünüm- lü polimer kaplamanın (a) SEM görüntüsü (b-c) kaplama bölgesi- nin ve (d-e) altlık malzemesinin EDS analizi.....	130
Şekil 7.44. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano Al ₂ O ₃ tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamanın AFM görüntüsü.	132
Şekil 7.45. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano SiO ₂ tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamanın AFM görüntüsü.	132
Şekil 7.46. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış granit görü- nümlü polimer kaplamanın AFM görüntüsü.	133
Şekil 7.47. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait yüzey pürüzlülüğü sonuçları.	134
Şekil 7.48. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait yüzey pürüzlülüğü sonuçları.	135
Şekil 7.49. Granit görünümlü polimer kaplamanın LOCTİTE 407 ile yapılan ASTM C633 testi sonrasında elde edilen ilk deneye ait mukavemet- yüzde uzama eğrisi.	136
Şekil 7.50. Granit görünümlü polimer kaplamanın LOCTİTE 407 ile yapılan ASTM C633 testi sonrasında elde edilen ikinci deneye ait mukavemet-yüzde uzama eğrisi.	137
Şekil 7.51. Granit görünümlü polimer kaplamanın LOCTİTE 407 ile yapılan ASTM C633 testi sonrasında elde edilen üçüncü deneye ait mukavemet-yüzde uzama eğrisi.	137
Şekil 7.52. Nano SiO ₂ tozu içeren ikinci bileşime ait kaplamanın XRD analizi.	139
Şekil 7.53. Nano SiO ₂ tozu içeren üçüncü bileşime ait kaplamanın XRD analizi... ..	140
Şekil 7.54. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış granit görü- nümlü kaplamanın XRD analizi.	141

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Esnek poliüretan köpüklerin özellikleri	8
Tablo 2.2. Reaksiyon enjeksiyon kalıplama prosesi ile geleneksel termoplastik kalıplama arasındaki farklar	12
Tablo 3.1. Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırılması	17
Tablo 3.2. Etial 171 Al-Si alaşımının genel özellikleri	17
Tablo 3.3. Silisyumun alüminyum içindeki erirliğinin sıcaklıkla değişimi	19
Tablo 5.1. Bazı malzemelerin yüzey enerjileri	57
Tablo 6.1. Kullanılan Etial 171 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi	61
Tablo 6.2. Kumlama parametreleri.....	62
Tablo 6.3. Anodizasyon parametreleri	62
Tablo 6.4. Parlaticı sıvı cilanın bileşimine ait bilgiler	64
Tablo 6.5. Tüm kaplama bileşimleri için deneylerde kullanılan malzemeler	68
Tablo 6.6. Granit görünümlü kaplama malzemesi için temin edilen PfluoN fir- masının ticari ürün kodları	68
Tablo 6.7. Granit kaplamanın püskürtülmesinde kullanılan işlem parametreleri	76
Tablo 6.8. Cross-cut sınıflandırma rehberi.....	84
Tablo 7.1. Nano Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ toz katkılı polimer kaplamaların kumlanmış ve eloksallanmış alüminyum altlıklardaki temas açısı ve cross-cut yapışma deneyi sonuçları.	119
Tablo 7.2. Üç deney sonrasında elde edilen granit görünümlü polimer kaplama- ların çekme mukavemeti değerleri.	138

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Yapışmaz Kaplama, Anodizasyon, Yüzey pürüzlülüğü, Temas açısı, Cross-cut

Otomobil endüstrisinde kullanılan kalıplar çoğunlukla döküm yöntemiyle üretilmiş olan alüminyum alaşımlarıdır. Poliüretan koltuk süngeri üretiminde kullanılan alüminyum kalıpların yapışma sorunu nedeniyle yüzey özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında; sünger malzemenin alüminyum kalıptan kolay bir şekilde ayrılabilmesini sağlamak amacıyla yapışmaz özelliğe sahip polimer kaplamalar düşünülmüştür. Bu kaplamaların arayüzey özelliklerini inceleyebilmek için Etial 171 Alüminyum alaşımına kaplama öncesinde kumlama, eloksallama ve parlatma yüzey işlemleri yapılmıştır. Eloksallama koşulları, optik mikroskop görüntüleri, temas açısı, yüzey pürüzlülüğü ve AFM incelemeleri ile hangi yüzey işleminin optimum özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Kaplamaların üretiminde sol-jel yöntemi kullanılmış olup, 4 farklı kaplama bileşimi uygulanmıştır. Ultrasonik ve manyetik karıştırıcı kullanılarak, hazırlanan bileşimlerin içerisine % 3,5 oranında 2 farklı inorganik nano toz (Al_2O_3 ve SiO_2) ilave edilerek, spreysel kaplama yöntemi ile altlık malzemelerine uygulandıktan sonra uygun koşullarda küreleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kaplamalar ile birlikte, üretimi sanayide gerçekleştirilen granit görünümlü polimer kaplamanın özellikleri de incelenmiştir. Üretilen kaplama numunelerinin karakterizasyonu için kalınlık ölçümü, yüzey pürüzlülüğü, optik mikroskop incelemeleri, SEM ve EDS incelemeleri, AFM ölçümleri, kontak açısı tespiti, ve cross-cut yapışma deneyi, çekme deneyi ve XRD analizleri yapılmıştır.

Yapılan bu analizlerin sonucunda; kumlanmış alüminyum altlık malzemesindeki nano SiO_2 toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplama ile granit görünümlü polimer kaplamaların iyi özellik gösterdikleri görülmüştür. Kaplamaların temas açısı değerleri sırasıyla $113,1^\circ$ ve $134,5^\circ$ olarak bulunmuştur. Cross-cut yapışma deneyinin sonucu olarak da kaplamaların her ikisinin de ASTM 5B tipine uygun davranış sergilediği görülmüştür. Bu sonuç, her iki kaplamanın da yüzeye tutunmasının iyi olduğunu göstermiştir. Granit görünümlü polimer kaplamaya yapılan çekme deneyi sonucunda, çekme mukavemeti değeri 2,93 MPa olarak ölçülmüştür.

APPLICATION OF THE POLYMER COATING ON THE ALUMINIUM SURFACE AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES

SUMMARY

Keywords: Aluminium, Non-stick Coating, Anodic Oxidation, Surface Roughness, Contact Angle, Cross-cut

The molds used in the automobile industry are mostly aluminum alloy that manufactured by casting. There is a need to improve the surface properties of aluminum molds used in polyurethane foam seat production. Therefore, the foam in order to be readily separable from aluminum is considered polymer coatings with a non-stick property. In order to ensure adherence of this coatings various processes have been done prior to coating the aluminum substrate. In this study, Etial 171 Aluminium alloy is used with different surface treatments. Sanded, polished and anodized in which the Al base is tested by experiments can show optimum functionality of the coatings. Anodizing conditions, the contact angle of the aluminum substrate, the surface roughness and it is located in the optical microscope images of the aluminum.

Sol-gel method is used in the production of coatings, which four different coating composition is applied. Ultrasonic and magnetic stirrer into the prepared compositions using a rate 3,5% two different inorganic nano powder (Al_2O_3 and SiO_2) was added and application to the substrate material by the spray coating method, then curing was carried out under appropriate conditions. Such coatings together with granite-like polymer coating which production carried in the industry were also investigated. Coating thickness measurement, surface roughness, optical microscope examination, SEM and EDS analysis, AFM examination, contact angle detection, cross-cut adhesion test, tensile test and XRD analyzes were performed for the characterization samples of the coatings produced.

The result of these analyzes; sandblasted aluminum substrate materials applied to nano SiO_2 powder doped with polymer coating (second compound) and the granite-like polymer coating have been found to show good feature. (The contact angle of the coatings are found to be 113.1° and 134.5° , respectively. Cross-cut adhesion of the coatings both as a result of the test was also observed to exhibit behaviour appropriate to the type ASTM 5B. This result showed that the two coatings of a good adsorption. As a result of the tensile test made on granite-like polymer coating, tensile strength value was measured at 2.93 MPa.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmek, yeni mühendislik özellikleri kazandırmak veya dekoratif açıdan çekici kılmak insanoğlunun eski çağlardan beri süregelen amaçlarından biri olmuştur. Günümüzde, malzeme yüzeylerinin değiştirilmesine yönelik işlemler, yüzey ve altlık malzemesinin tasarımını bir arada ele alan ve her ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen işlemler olarak tanımlanabilir. Yüzey işlem teknolojileri ve yüzey mühendisliği özellikle 90'lı yıllardan sonra önemli hale gelmiştir. Günümüzde hem klasik hem de modern teknolojilere dayanan yüzey işlemlerinin önemi artmaya devam etmektedir [1]. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği gelişmelere paralel olarak hem gelişen teknolojinin ihtiyacı olan malzemelerin üretilmesine imkân sağlamakta, hem de teknolojik alanlarda bazı yeniliklere öncülük etmektedir [2]. Teknolojinin hızla ilerlemesiyle metalik malzemelerin herhangi bir işlem uygulanmadan göstermiş olduğu performans, sistem şartları ağırlaştığında yetersiz kalmaktadır. Malzemelerin endüstride kullanılabilmesi için bazı yüzey özelliklerini bünyesinde taşıması gerekmektedir. Bu şartlarda malzemelerin istenilen yüzey performanslarını sağlaması amacıyla yüzey işlem teknolojileri ve kaplama yöntemleri geliştirilmektedir [3].

Kumlama, malzemelerin üzerinde biriken kir, yağ, pas, boya ve tufal gibi atıkları yüzeyden arındırmak ve malzeme yüzeyini arzu edilen formda pürüzlendirmek amacıyla yapılmaktadır. Aşındırıcının malzeme yüzeyine belirli bir basınç ve açı ile püskürtülmesi sonucunda malzeme yüzeyinin temizlenmesi ve pürüzlendirilmesi gerçekleştirilmektedir [4-5]. Kaplama ve yapıştırma öncesindeki işlemler için yüzeyin belirli bir pürüzlüğe sahip olması gerekir. Bunun istenmesindeki amaç kaplamanın tutunacağı yüzey alanını arttırarak sağlam bir kaplama tabakasına sahip olmaktır. Fakat gereğinden fazla pürüzlülük istenmeyen bir durumdur. Çünkü yüzeyi kapatmak için gereken kaplama miktarı artar [6].

Alüminyum yüzeyinde anodik oksit oluşumu, yapısı ve kimyasal davranışlarının incelenmesi yaygın olarak çalışılan bir konudur. Eloksal, “Anodik Oksidasyon” veya “Anodizasyon” olarak tanımlanabilir. Eloksal, alüminyum için çok özel bir yüzey kaplamadır. Anodik oksit oluşumu oksit/elektrolit ve alaşım/oksit ara yüzeylerinde kation ve anyonların taşınmasıyla gerçekleşir. Elektroliz yöntemiyle alüminyum oksidin oluşumuna etki eden faktörler; potansiyel, sıcaklık, elektrolit tipi ve derişim olmaktadır [7-11]. Elektrolit içinde anodik oksit kısmi çözünürlüğe sahip olmaktadır, metal arayüzeyinde geçirimsiz bir bariyer oksit tabakası oluşmaktadır ve gözenekli dış tabaka elektrolit ile temas halinde bulunmaktadır [12]. Genel olarak anodik oksitin hem metal oksit arayüzeyinde hem de elektrolit arayüzeyinde büyüdüğü kabul edilmektedir [13]. Metallerin birçoğuna anodizasyon işlemi yapılabilmesine rağmen, alüminyumun anodizasyonu ile daha çok karşılaşmaktadır [14]. Alüminyum oksidin geniş bant boşluğu, bariyer yüksekliği, dielektrik sabiti, iyi yapışma, mekanik mukavemet, termal stabilite ve korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle çeşitli ticari, askeri ve laboratuvar uygulamalarında kullanılmaktadır [15].

Alüminyumun kullanım yerine ve kullanılan alüminyumun alaşım türüne göre eloksal işlemi farklı tiplerde elektrolitler kullanılarak yapılmaktadır. Wang, çalışmasında eloksal prosesinde en yaygın elektrolit olarak fosforik asit, okzalik asit ve sülfürik asit olarak farklı asit çözeltilerinin kullanıldığını bahsetmiştir. Çalışmasında fosforik asit kullanarak 15 µm kalınlığında oksit tabakası oluşturmuştur [16]. Graeve ve ark., AA1050 alaşımlı alüminyum plaka kullanarak sülfürik asit içerisinde eloksal işlemini gerçekleştirmiş ve sıcaklığın oksit filmi üzerindeki etkisini araştırmıştır [17].

Yapışmaz kaplamalar genellikle Floropolimer ve silikon içeren polimer esaslı kaplamalardır. Bu bileşenler kaplamaya yapışmazlık özelliğini sağlayan temel bileşenlerdir. Başka hiçbir kaplama malzemesinin bir arada sahip olamadığı kimyasal direnç, nem ve ortam şartlarından etkilenmeme, esneklik, geniş çalışma sıcaklık aralığı, düşük sürtünme katsayısı, yapışmayan yüzey ve üstün dielektrik kararlılığı

özelliklerine sahip olan yapışmaz (non-stick) kaplamalar uzay araçlarından insan vücuduna kadar birçok alanda kullanılmaktadır [18].

BÖLÜM 2. POLİÜRETANLAR

2.1. Poliüretan Malzemelerin Tarihçesi

Üretan ya da izosiyanat polimeri olarak da adlandırılan Poliüretan, kauçuk yerine kullanılmak üzere yeni bir ürün bulma çalışmaları yapan ünlü bilim adamı Prof. Otto Bayer tarafından 2. Dünya Savaşı'nın ilk yıllarında üretilmiştir. İzosiyanat-alkol reaksiyonu 19. yüzyıldan itibaren bilinmesine rağmen 1937 senesinde Otto Bayer tarafından poliizosiyanat ve polioliol ajanlar kullanılarak iyi kalitede plastik üretiminde kullanılabilecek kadar işe yaramaz denilerekten bir kenara itilmişti. Poliüretan teknolojisi Otto Bayer'in çalışmalarının ardından özellikle Jean-Pierre Abbat Dr. Fritz Hartmann'la birlikte Amerika'ya taşınmış ve kısa süre içerisinde büyük gelişim göstermiştir.

Özellikle 1950 sonrası nispeten daha ekonomik polioliol'lerin bulunması ile başta otomotiv ve uçak sektörü olmak üzere sünger sanayi, ayakkabı sanayi, yapıştırıcılar, zemin kaplama malzemeleri, köpükler, ısı ve nem izolasyonu sektörlerinde geniş çapta tüketim alanı bulmuştur [19].

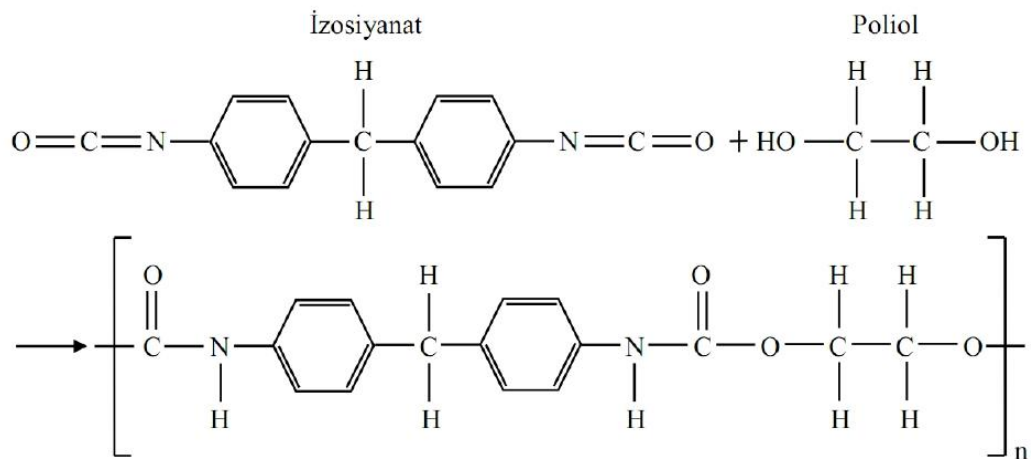
2.2. Poliüretan Malzemeler

Poliüretan malzemeler, polioliol sistemi ile ona uygun izosiyanatın belirli oranlarda karışımı ile oluşmaktadır. Bu karışımın türlü katkı maddeleri ve dolgu maddeleri takviyesi ile bir kompozit yapı elde edilmektedir. Katkı maddeleri ve dolgu maddeleri ile kompozit yapının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmektedir.

Poliüretan malzemeler plastik malzemelerin bir alt grubudur ve kendi içinde de çok farklı özelliklerde üretilebilmektedir. Poliüretan malzemelerin farklı yoğunluklarda üretilebiliyor olması, istenilen kullanım yerine göre kolayca üretilebilmesi, tasarım açısından ergonomik ürünlerin elde edilebilirliği ve daha hafif tasarımlar üretilebilirliği poliüretan malzemeler için tercih sebebi olmaktadır [20].

2.2.1. Poliüretan malzemelerin tanımı

Poliüretan, hidroksil (OH) sonlu poliöl ile izosiyanat (NCO) sonlu izosiyanatın reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Her iki bileşen uygun katalizörler eşliğinde karıştırıldığında, ekzotermik reaksiyon ile katı hale geçmektedir. Şekil 2.1.'de poliöl ve izosiyanatın tepkimesi ile oluşan poliüretanın kimyasal yapısı verilmektedir [20].

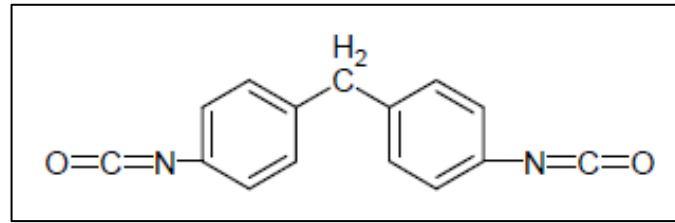


Şekil 2.1. Poliüretan malzemelerin kimyasal yapısı [20].

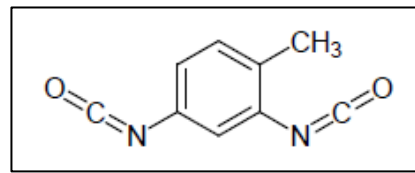
2.2.2. Poliüretan malzemelerin bileşenleri

İzosiyanat, petrolün bir türevi olan benzenin rafinasyonu ile üretilmektedir. İzosiyanatlar -NCO yüzde içeriğine ve fonksiyonuna ya da bir moleküldeki -NCO sayısına bakılarak adlandırılmaktadır. -NCO sayıları izosiyanatların ayırt edici bir özelliği olmaktadır. İzosiyanatlar alifatik ve aromatik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Alifatik izosiyanatta -NCO grubu, bir karbon zincirine ve hidrojen atomlarına bağlanmaktadır. Alifatik izosiyanatlara örnek olarak hekza metilen

diizosiyanat (HDI) verilebilmektedir. Aromatik izosiyanatta ise -NCO grubu özel altı karbonluk bir halkaya bağlanmaktadır. En çok bilinen ikisi; Şekil 2.2.'de gösterilen difenil metan diizosiyanat (MDI) ile toluen diizosiyanat (TDI) olmaktadır [21].



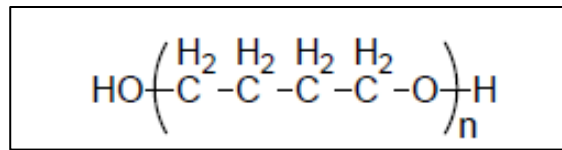
(a)



(b)

Şekil 2.2. a) Difenil metan diizosiyanat (MDI) ve b) toluen diizosiyanat (TDI) şematik gösterimi [22].

Polioller, kimyasal bileşenlerine ayrıldığı zaman ortaya çıkan ürünler propilen ve etilendir. Bu ürünler polioller üretiminde kullanılmaktadır. Polioller, serbest OH⁻ (hidroksil) sayısı ya da molekül ağırlıklarına göre tanımlanmaktadır. Poliollerde hidroksil (OH⁻) sayısı molekül ağırlığı ile ters orantılı olmaktadır. Polioller polieter ve poliester olmak üzere iki çeşittir ve günümüzde kullanılan poliollerin % 80-90'ını polieter polioller oluşturmaktadır [20].



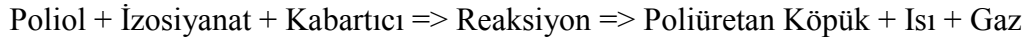
Şekil 2.3. Politetrametilen eter glikol yapısının şematik gösterimi [22].

Katalizörler (reaksiyon yapıcılar), katılma reaksiyonlarını hızlandıran ve çeşitli yan reaksiyonları kontrol eden katalistlerdir. Örnek olarak organotinler, tersiyer aminler verilebilmektedir. Düşük molekül ağırlıklı çok fonksiyonlu bileşikler, reaktif ve zincir yapıcı katkıları olarak da adlandırılmaktadır.

Kabartıcılar, su veya karboksilik asitlerin izosiyanatla katılma reaksiyonu vererek CO₂ gazı oluşumu ile kabarmayı sağlamaktadır. Fiziksel kabartma ajanları düşük kaynama sıcaklıklarına sahip olup, reaksiyon sırasında açığa çıkan ısı sayesinde buharlaşmaktadır. Kapalı hücre yapısına sahip poliüretanlarda büyük bir kısmı hücre içerisine hapis olmaktadır. Böylece ısı ve ses yalıtımı sağlanmaktadır. Kabartıcı ajanlar ya poliöl içerisine karıştırılarak ya da haricen karışıma ilave edilerek kullanılmaktadır [20].

2.3. Poliüretan Köpükler

Poliüretan köpükler, poliöl sistem ile ona uygun izosiyanatın belli oranlarda karışımı ve bu karışımın bir kabartıcı (köpürtücü) yardımıyla genleşmesinden oluşur. Kabartıcılar ya poliöl sistemin içerisine önceden katılır ya da uygulama sırasında karıştırılır. Kabartıcı miktarı arttıkça genleşme artar ve köpüğün yoğunluğu düşer. Poliüretanlar kullanım yerine ve cinsine bağlı olarak sıvı haldeki hacimlerinin 100 katına kadar genişletilebilir. Poliüretan köpüklerin oluşum reaksiyonu;



Poliüretan köpükleri oluşturan kimyasallar sıvı olduğu için dozajlama poliüretan makineleri ile yapılmaktadır. Manuel yapılan uygulamalar genellikle iyi sonuç vermemektedir. Yüksek basınçlı makineler kullanılması daha iyi karışım sonuçları elde edilmesini sağlamaktadır. Poliüretan malzemeler kalıpta rahatlıkla şekillendirilebilmektedir. Reaksiyon sonucu oluşan poliüretanlar kalıbın şeklini almaktadır. Kalıplar çelik, metal, alüminyum, sac ve epoksi malzemesinden yapılmaktadır. Yapılacak ürüne ve kullanılacak poliüretan sisteme göre kalıp seçimi yapılmaktadır. Poliüretanlar ısı açığa çıkaran ekzotermik reaksiyonlardır [23].

Çeşitli formlarda köpük elde etmek üzere ekstrüzyon, enjeksiyonla kaplama vb. gibi teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerin köpük eldesinde kullanımlarında tek fark, cihazlara polimer eriyiği içine, genleşmeyi sağlayacak üfleme ajanının eklenebileceği veya köpürtme gazının gönderilebileceği ek donanımların eklenmiş olmasıdır [24].

2.3.1. Esnek poliüretan köpük malzemeler

Esnek poliüretan köpükler, sınırlı boyutta esneme ve geri şekil alma özelliğine sahip açık hücre yapılı poliüretan malzemelerdir. Halk arasında yaygın kullanımıyla sünger olarak bilinmektedir. Aynı zamanda yarı esnek yapılı ya da çok esnek, şekil hafızalı (viskoelastik yapılı) süngerler bu gruba girmektedir. Günümüzde gelişen teknoloji ve ihtiyaçlara bağlı olarak istenilen elastikiyet, sertlik ve yoğunlukta sünger üretilmektedir [1]. Tablo 2.1.'de esnek poliüretan köpüklerin bazı özellikleri verilmektedir [20].

Tablo 2.1. Esnek poliüretan köpüklerin özellikleri [25].

Yoğunluk (g/cm^3)	0,032
Modül (MPa)	0,068
Çekme Mukavemeti (MPa)	0,19
Uzama (%)	300

Esnek poliüretan köpük malzemeler; otomotivde, mobilyalarda, sünger yataklarda, tekstil ürünlerinde dolgu olarak ve medikal yatak ve yastıklarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 2.4.'de esnek poliüretan köpük malzemelerin kullanım alanları ile ilgili örnekleri gösterilmektedir [20].

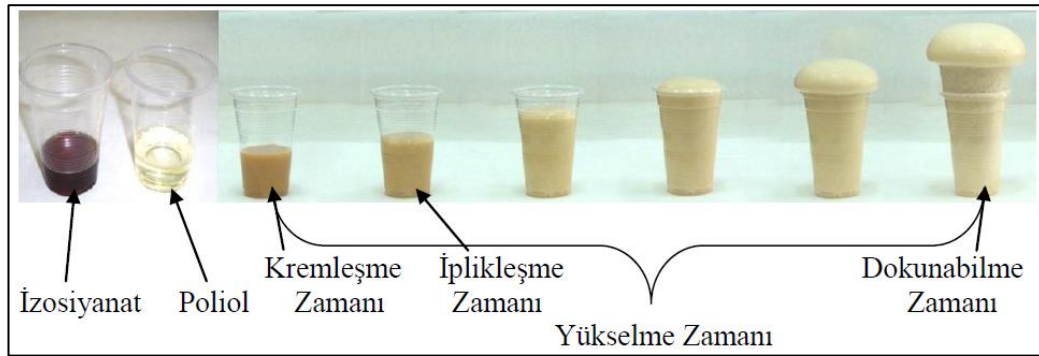


Şekil 2.4. Esnek poliüretan köpük uygulamaları [20].

2.4. Poliüretan Malzemelerin Üretim Metotları

Poliüretan malzemelerin üretiminde gerekli olan üç temel ürün poliüretan hammaddesi, kalıp ve makinedir. Bu malzemeler, üretimi kolay fakat kalitesi ve bazı özellikleri çeşitli faktörlerden dolayı etkilenen malzemelerdir. Dolayısıyla üretim esnasında ortam şartları ve üretim koşullarında bazı önlemler alınmalıdır.

Poliüretan malzeme üretimi esnasında bazı değişim evreleri meydana gelmektedir. Bunlardan birincisi kremleşme zamanı (cream time)'dır. Poliöl ile izosiyanatın karıştırılmaya başladığı andan, reaksiyonun başlama (köpüğün şişmeye başladığı) anına kadar geçen süredir. Bu zamanı takip eden evre iplikleşme zamanı (gel time)'dır. Kremleşme ve yükselme zamanı arasında reaksiyon ortamında viskozite artışı ve çapraz bağlar (jel) oluşmaya başlar. Jelleşmenin başladığı ana iplikleşme zamanı da denir. Kremleşme zamanının bitiminden itibaren köpük yükselmeye ve genişlemeye başlar. Bir süre sonra yükselme durur. Yükselmenin durmasına kadar geçen süreye yükselme zamanı denir. Köpüğün yükselmesi durduğu anda köpüğe dokunulursa ele yapışır. Bir süre sonra dokunulduğunda köpük ele veya dokunulan cisme yapışmaz. Karışımın başlamasından, köpüğe dokunulduğunda yapışmadığı ana kadar geçen bu süreye dokunabilme zamanı denir [20].



Şekil 2.5. Poliüretan köpükte meydana gelen değişim evreleri [20].

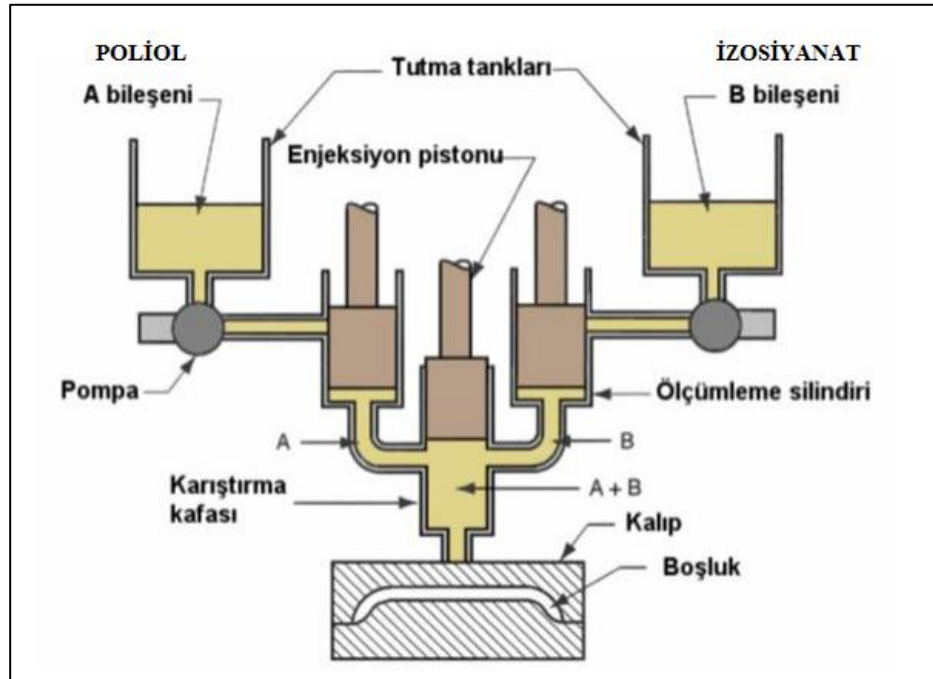
Kimyasal reaksiyonlar kabaca dört aşamada değerlendirilebilir. Birinci aşama Poliöl formülasyonunun izosiyanat ile karıştırılmasıdır. Bu durumda akışkan bir sıvı oluşmaktadır. İkinci aşamada ise köpük oluşmaya başlamaktadır. Üçüncü aşamada

köpük karışımı ısı oluşturarak hacminde yirmi beş kata varan faktörle genişler. Bu aşamada köpüğün yüksek yapışma özelliği nedeniyle farklı malzemeler ile sıkı ve sürekli mükemmel yapışmaktadır.

Dördüncü aşamada serbest köpürme dış yüzeyinde mukavim bir katman oluşturmaktadır. Bu aşamada bile halen akışkan sıvılar kaldıysa, köpürme oluşumu devam ederek küçük boşluklara doğru yolunu bulmaktadır. Poliüretanda, homojen kesitle; ancak en homojen köpürme prosesi ile elde edilebilmektedir [20].

2.4.1. Reaksiyon enjeksiyon kalıplama (RIM) prosesi

Poliüretanlar için reaksiyon kalıplama teknolojisi, 1960'da Bayer malzeme bilimi laboratuvarlarında geliştirilmiştir. RIM, özel hazırlanmış iki bileşenli poliüretan sistemlerin, makineler yardımıyla kalıba enjeksiyonu sonucu oluşmaktadır. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan RIM daha sonra değişik endüstri alanlarında birçok farklı malzeme ihtiyaçlarını karşılayabilmek için geniş bir alanda gelişerek büyümüştür [25].



Şekil 2.6. Reaksiyon enjeksiyon kalıplama (RIM) prosesinin şematik gösterimi [26].

Reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama yöntemi, iki maddenin kimyasal reaksiyonunun gerçekleştirilmesi temeline dayanmaktadır. Kimyasal reaksiyon gösterecek bir karışım (genellikle izosiyanat ve poliöl), reaksiyonunun gerçekleşeceği bir kalıba ayrı ayrı depolardan yaklaşık 1500-3000 psi arasında bir basınçla enjekte edilmekte ya da dökülmektedir. Ekzotermik bir reaksiyon gerçekleştikten sonra bitmiş parça kalıptan alınmaktadır. Bazen bileşenlerden birine güçlendirici dolgu maddesi eklenmektedir. Bu proses güçlendirilmiş reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama olarak adlandırılmaktadır [27]. Kimyasal formülasyona bağlı olarak son ürün köpük ya da katı, yüksek derecede rijit ya da çok esnek bir hal alabilmektedir. Bu yöntem sonucunda çıkan ürünlerin yoğunlukları 0,2 ile 1,6 gr/cm³ arasında değişmektedir [28].

Enerji maliyetlerinin arttığı günümüzde, birçok plastik üreticisi maliyeti ve malzeme sarfiyatını azaltmanın yollarını aramaktadır. Reçinelerini eritmek için yüksek sıcaklık ve basıncın gerek duyulduğu termosetler ile kıyasladığımız zaman, reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama bileşenlerinin bir kalıp içerisinde kimyasal reaksiyon ile birleşmesi bu yöntemi daha avantajlı kılmaktadır. Reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama prosesi daha az enerji tüketir çünkü fark edilir şekilde daha az ısıya, sıkıştırma basıncına ve işleme maliyetine ihtiyaç duymaktadır. Bunlara ek olarak reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama prosesi ekipmanları aşağıdaki avantajlara sahiptir:

1. Daha az karmaşıktır ve daha az ilk yatırım maliyetine ihtiyaç duymaktadır.
2. Termoplastik kalıplamadan daha düşük tonajlı preslere ihtiyaç duyulmaktadır.
3. Enjeksiyon kalıplamadan çok daha az yer kaplamaktadır.
4. Daha ucuz kalıplar veya presler gerekmektedir.

Reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama küçük hacimli iş yerlerinden büyük firmalara kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. 1960'lı yıllarda bu yöntem çoğunlukla tampon gibi yüksek yoğunluklu rijit poliüretan parçaların üretiminde kullanılmaktaydı. Bu tarihten sonra yapı endüstrisi, cihaz yapımı, spor, eğlence, sağlık, elektronik sektörü gibi birçok alanda kullanılmaya başlandı.

Günümüzde ise yapı endüstrisi için kılıf, çatı malzemesi, kapı, pencere, dekoratif eşya; otomotiv endüstrisi için direksiyon, çamurluk yapımında kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak askeriye ve havacılık uygulamalarında, elektronik endüstrisinde bilgisayar bileşenleri yapımında, ev aletleri endüstrisinde buzdolabı izolasyonunda kullanılır [29].

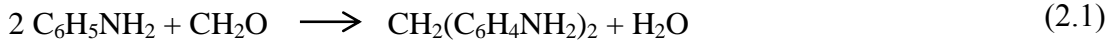
Tablo 2.2. Reaksiyon enjeksiyon kalıplama prosesi ile geleneksel termoplastik kalıplama arasındaki farklar [29].

	Termoplastik kalıplama	Reaksiyon enjeksiyon kalıplama
Malzeme	Partikül formdaki termoplastikler	Düşük viskoziteli akışkanlar
Kalıp Sıcaklığı	176-232°C	32-40°C
Kalıp Basıncı	Birkaç ton basınç	Düşük iç kalıp basıncı (3,4 bar)
Kapladığı Alan	Ekipmanların kapladığı alan fazla	Ekipmanların kapladığı alan az
Enerji	Bir ürün yapmak için fazla enerji	Bir ürün yapmak için az enerji
Yatırım	İlk maliyeti yüksektir	İlk maliyeti düşüktür

2.4.2. Difenil metan diizosiyanat (MDI) üretim prosesi

Difenil metan diizosiyanat çoğunlukla MDI olarak kısaltılan aromatik bir diizosiyanattır. 2,2-MDI, 2,4-MDI ve 4,4-MDI olmak üzere üç farklı izomeri vardır, fakat yaygın olarak 4,4- izomeri kullanılmaktadır. Bu izomer saf MDI olarak bilinmektedir. Poliüretan üretiminde poliöl ile MDI reaksiyona girmektedir [30].

MDI üretimi için ilk aşama anilin ve formaldehitin reaksiyonudur, katalizör olarak hidroklorik asit kullanılarak aşağıdaki kimyasal formüller altında diamin ön maddesi üretilmektedir.



Daha sonra, diamin ön maddesi MDI oluşturmak için fosgen ile muamele edilir. İzomer oranı, diaminin izomerik bileşimi tarafından belirlenir. MDI karışımının damıtılması ile polimerik MDI (oligomerik poliizosiyanatların karışımı) ve düşük 2,4 izomer içeriğine sahip bir MDI izomer karışımı elde edilmektedir [31].

2.4.3. Toluen diizosiyanat (TDI) üretim prosesi

Toluen diizosiyanat üretim prosesinde toluen, karıştırıcılı ve soğutmalı bir reaktörde, sülfürik asitin katalizörlüğünde (%60-70'lik) 65-80°C'de nitrik asitle reaksiyona sokulur; reaksiyon az miktarda 2,3- izomeri içeren 2,4- ve 2,6- dinitro toluenler karışımı ve seyreltik sülfürik asittir. Sülfürik asit ayrılır, konsantre edilir ve tekrar nitrasyon reaktörüne gönderilir.

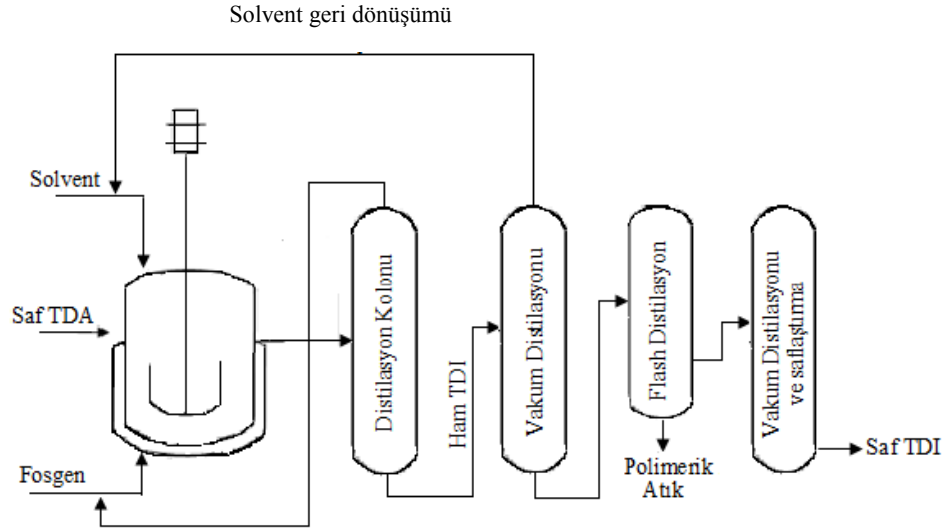
2,4- ve 2,6- dinitro toluenler karışımı yıkanır ve katalitik bir reaktörde hidrojenlendirilir; reaksiyonda nikel gibi hassas bir metal veya karbon katalizör kullanılır. Reaksiyon ekzotermiktir, ısı çıkışının kontrol altında tutulması için reaksiyonlar alkol gibi inert bir solvent içinde yürütülür. Elde edilen ürün, 2,4- ve 2,6- dinitro toluenler (TDA) karışımıdır.

Saf toluen diamin, solventli (orto-diklorobenzen veya monoklorobenzen) bir ortamda fosgenle reaksiyona sokularak ham toluen diizosiyanat (TDI) ile yan ürün hidrojen klorür meydana gelir. Yan ürün HCl ile sürüklenen fosgen yoğunlaştırılarak ayrılır ve reaktöre döndürülür. Ham TDI içerdiği kalıntı fosgenden arındırılmak için bir distilasyon kolonuna verilir; bir dizi distilasyon ve kondenzasyon prosesiyle kazanılan fosgen reaktöre döndürülür. Fosgenden ayrılan ham TDI bir miktar klorobenzen solventi içeren karışım halindedir.

Karışım akım (TDI ve solvent) vakum distilasyon kolonuna beslenir; solvent geri kazanılır ve tekrar kullanılmak üzere solvent tankına gönderilir veya reaktöre döndürülür. Kalan ham TDI vakum flash distilasyonla gazlaştırılarak reaksiyonlar sırasında oluşabilen herhangi polimerik izosiyanatlardan arındırılır. Yoğunlaştırılan TDI diğer bir vakum distilasyon kolonuna verilir; buradan saf TDI elde edilir. Saflaştırılmış TDI akımı son bir kondenzasyon aşamasından geçirildikten sonra ürün tankına alınır.

Toluen diizosiyanatlar poliüretan köpükler, boyalar, vernikler, elastomerler ve kaplama maddeleri üretimlerinde kullanılan ara maddelerdir. Sert poliüretan köpükler soğutma sistemlerinde izolasyon maddesi olarak kullanılır. Esnek poliüretan

köpükler mobilya yastık ve minderleri, yataklar, paketleme malzemeleri, halı altlıkları yapımında kullanılır [32].



Şekil 2.7.Toluen diizosiyanat üretim akış şeması [32].

2.5. Kalıp Ayırıcılar

Kalıp ayırıcı, kalıp ile poliüretan arasında ince bir film tabakası oluşturup, parçanın kalıba yapışmasını önler ve parçanın kalıptan kolayca çıkmasını sağlar. Poliüretan malzemedен üretilen ürünün kalıbın içerisinde kolay ve deformasyona uğramadan çıkmasına yarayan kimyasal bir karışımdır. Genel olarak kalıp ayırıcılar wax (parafin), sabun, silikon veya yağ içerikli olabilirler. Kalıbın içerisine çok farklı uygulama şekilleri ile uygulanabilirler, bunlardan en uygunu sprey uygulamasıdır.

Kalıp ayırıcı uygulamasında, miktardan daha çok homojen bir uygulama yapılmasının büyük önemi vardır. Kalıp üzerine uygulanan kalıp ayırıcının uygun miktarda olması, kalıbın daha geç kirlenmesine, çıkan parça yüzeyinin daha kaliteli olmasına yardımcı olur. Optimum miktardaki kalıp ayırıcı uygulaması, tüketim miktarının az tutularak ekonomik açıdan kazanç sağladığı gibi, kalıpların daha uzun süre temiz kalmasından dolayı, kalıp temizleme sürelerinin uzamasına, takibinde temizleme işlemi için daha az zaman harcanmasına ve böylece işçilik maliyetlerinin de düşmesine yardımcı olmaktadır.

Yeni bir kalıp üretime alınırken kalıp ayırıcı uygulamadan önce kalıp yağı denilen ya ile yağlanıp alıştırılmalıdır. En uygun kalıp ayırıcının seçilebilmesi için, poliüretanın tipi, kalıp malzemesinin alaşımı veya yapısı, kalıbın yüzey kalitesi ve kalıbın şekli, geometrisi bilinmelidir. Kalıp ayırıcılar, ayırıcı malzemenin herhangi bir çözücü içerisinde çözülmesi ile elde edilir. Çözeltinin homojen olması için özel ekipmanlar kullanılması gereklidir [33].

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM

3.1. Alüminyum'un Tarihsel Gelişim Süreci

İsmi Yunanca alum mineraline verilen isim olan “alumen” den almıştır. İlk olarak 1825’de Hans Christian Örsted tarafından saf olmayan bir halde elde edilmiş ardında Wöhler tarafından 1827’de saf element olarak izole edilmiştir. Alüminyum’un endüstriyel çapta üretimi ise, 1886 yılında ABD’de Charles Martin Hall ve Fransa’da Paul T. Heroult’un birbirlerinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. 1886 yılında Werner von Siemens’in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K. J. Bayer’in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmış ve bu en genç metal, demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur [34].

3.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımları yoğunluğunun düşük olması, korozyon direncinin yüksek olması, mukavemetinin artırılabilir olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması, kolay biçimlendirilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı günümüz endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuş metalik malzemelerdir.

Yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı otomotiv, kimya, gemi yapımı, uçak endüstrisi ve makine imalatı alanlarında geniş kullanım alanına sahiptir [35].

Alüminyumu diğer metallere ayıran en önemli özelliği; özgül ağırlığının düşük olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olmasıdır [36]. Tablo 3.1.’de saf

alüminyumun fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 3.1. Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırılması [37].

Özellik	Alüminyum	Bakır	Titanyum
Kristal Kafes Yapısı	YMK	YMK	SPH
Yoğunluk (g/cm ³)	2,7	8,93	4,5
Ergime Sıcaklığı (°C)	660	1083	1670
Özgül Isısı (J/kg.K)	930	335	470
Isı İletkenliği (W/m.K)	235	389,4	15,5
Maksimum Çekme Mukavemeti (MPa)	65	210	245
YMK: Yüzey merkezli kübik, SPH: Sıkı paket hegzagonal			

Alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok yüksektir ve oksijenle karşılaştığında çok kısa sürede reaksiyona girerek Al₂O₃ bileşiği oluşturur. Al₂O₃ bileşiği alüminyum yüzeyinde ince, sert, mukavemetli ve yoğun bir film tabakası oluşturarak alüminyumun korozyon direncini arttırmaktadır. Bu özellik alüminyumun kullanım alanını genişletmektedir. Tablo 3.2.'de Etial 171 Al-Si alaşımının genel özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.2. Etial 171 Al-Si alaşımının genel özellikleri [38].

Kimyasal Bileşim										
	Cu	Si	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
Maksimum	0,1	9-10	0,3-0,45	0,50	0,4-0,6	0,1	0,10	0,05	0,05	0,15
Mekanik Özellikler										
Gerilme mukavemeti (MPa)										282,68
Akma mukavemeti (MPa)										158,57
Darbe mukavemeti (J/m)										6,78
Kopma Mukavemeti (MPa)										193,05
Elektrik İletkenliği (%)										37
Dayanma limiti (MPa)										124,10
Sertliği (BHN)										75
Uzama (%)										5,0
Fiziksel Özellikleri										
Ergime Sıcaklığı (°C)										593,33
Yoğunluk (g/cm ³)										2,68
Termal İletkenlik (cal/cm ² /°C at 25°C)										0,36

TSE standartlarında Etial 171 ve uluslararası standartlarda (Aluminum Association) A360 alaşımına karşılık gelen günümüz endüstrisinde çok kullanılan bir döküm alaşımıdır. Etial 171 Alüminyum alaşımının esas alaşım elementi silisyumdur ve alaşım içerisinde % 9 ile % 10 arasında bulunmaktadır. İkinci olarak bulunan alaşım elementi magnezyumdur ve % 0,4 ile 0,6 arasında olmaktadır. Etial 171 Alüminyum alaşımı ötektik alaşıma çok yakın olduğu için ergime sıcaklığı düşüktür ve dökümle şekillendirilmesi kolaydır [38].

Alüminyum alaşımları saflık derecelerine göre sınıflandırılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri içerisindeki Cu, Zn, Si, Mg, Fe ve Ti gibi alaşım elementlerinin etkisi ile yükselmektedir. Alüminyuma çok az miktarda katılan bu alaşım elementleri alüminyumun yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısında yer alarak katı eriyik oluşturarak mukavemetini artırmaktadır. Alaşım elementinin yapı içerisinde miktarının artması ile mukavemet de artar fakat malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti azalmaktadır [37]. Alüminyumun makine, taşıt ve yapı endüstrisinde geniş oranda yararlanılması, ancak dayanım özelliklerinin alaşımlama yoluyla iyileştirilmesinden sonra gerçekleştirilebilmiştir [39].

Metalik karakteristiklere sahip kimyasal elementlerin çoğu, alüminyumla kolayca alaşım yapabilmektedir. Ancak bunlardan sadece birkaçı ticari alüminyum esaslı alaşımlarda temel alaşım elementi olarak yer almaktadır. Ayrıca çok sayıda başka elementler de alaşımın özelliklerini iyileştirmek için destekleyici alaşım katkıları olarak kullanılmaktadır [40].

3.3. Al-Si Alaşımları

Al-Si alaşımları; dökümhaneler tarafından kullanılan yaklaşık 238 alüminyum alaşımının % 46'sı, şekilli parçaların % 90'nın üretiminde kullanılmaktadır. Bu alaşımların bu derece geniş uygulama alanı bulmasının nedeni üstün fiziksel özelliklerin çok iyi dökülebilirlikle bir arada bulunmasıdır. Mekanik özellikler, korozyon direnci, işlenebilirlik, sıcak yırtılma direnci, akışkanlık ve kaynaklanabilirlik önemli özelliklerindedir [41].

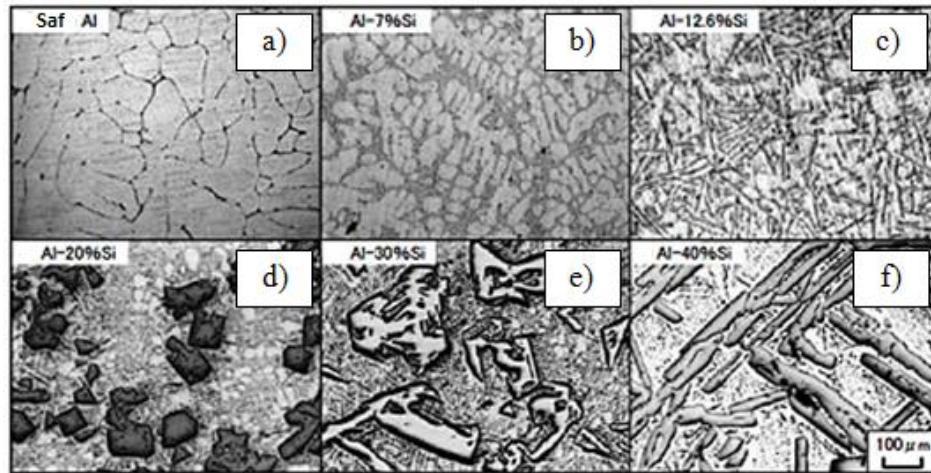
Silisyumun özgül ağırlığı alüminyumdan düşük olduğu için Al-Si alaşımlarının özgül ağırlığı düşüktür. Oda sıcaklığında çok az silisyum alüminyumda erir. 577° C’de % 11,6 silisyumlu alaşım bir ötektik yapı verir. Bu sıcaklıktaki silisyumun alüminyum içindeki erirliği % 1,65’dir. Akıcılığı ve soğukta dayanımı iyi, sıcakta dayanımı düşüktür [42-45]. Silisyum alüminyumun genleşme katsayısını düşürür, sertliğini artırır. Uçak ve otomobil endüstrisinin yanısıra genleşme katsayısının düşük olmasından dolayı pistonların yapımında geniş ölçüde kullanılır [45].

Al-Si alaşımları döküm alaşımlarıdır. Bunlara ısıl işlem uygulanmaz. Döküldükleri gibi kullanılırlar. Aşağıdaki Tablo 3.3.’te silisyumun alüminyum içindeki erirliğinin sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir [46].

Tablo 3.3. Silisyumun alüminyum içindeki erirliğinin sıcaklıkla değişimi [46].

Sıcaklık (°C)	577	550	500	450	400	350	300	250
% Silisyum	1,65	1,30	0,80	0,48	0,29	0,17	0,06	0,008

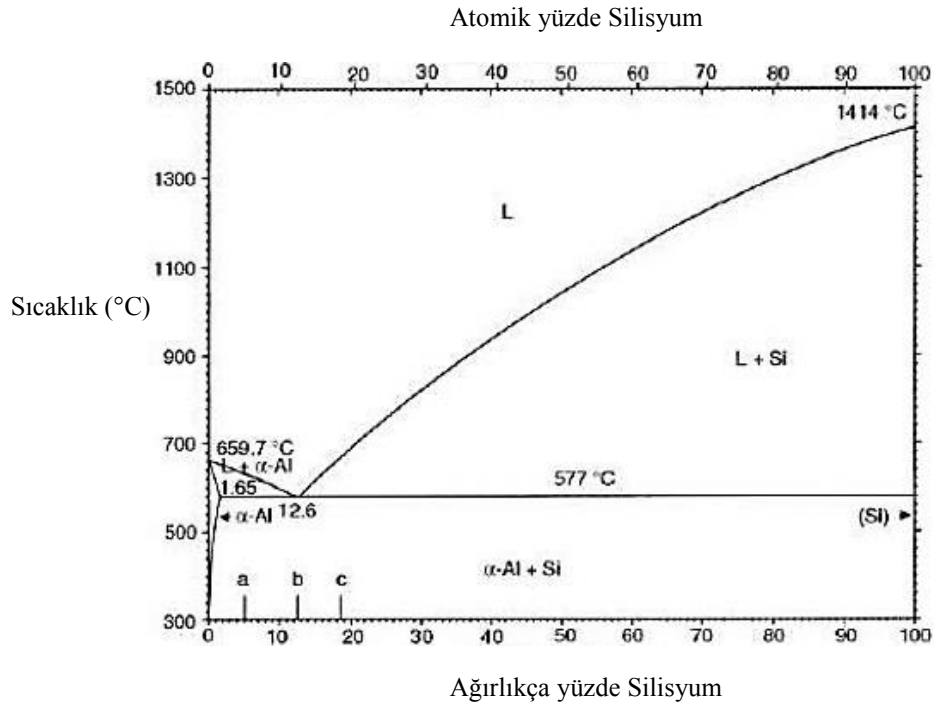
Al-Si alaşımlarında silisyumun etkisi büyüktür. Silisyum, yüksek sıcaklıklarda aşınma direnci, düşük özgül ağırlık, yüksek ısıl iletkenlik, düşük ısıl genleşme katsayısı ve mekanik özellikleri iyi korumaya yardım eder. Silisyumun çözünürlüğü azalan sıcaklık ile alüminyumda azalır ve döküm mikroyapısı, alüminyum-silisyum matriksinde alüminyumca zengin dentritlerden oluşmaktadır [47].



Şekil 3.1. Değişik oranlarda Si içeren Al-Si alaşımlarının mikroyapıları, a) Saf Al, b) Al-%7Si, c) Al-%12,6Si, d) Al-%20Si, e) Al-%30Si ve f) Al-%40Si [48].

Al-Cu alaşımlarından sonra en tanınmış alüminyum alaşımları Al-Si alaşımlarıdır. Silisyum döküm alaşımlarına akışkanlığı arttırmak ve sıcak yırtılmayı düşürmek için ilave edilmektedir. Bu alaşımların mukavemet değerleri yüksek değildir, silisyum miktarı arttıka çekme ve akma mukavemeti artış göstermektedir. Alaşımının bileşiminden çok silisyum ihtiva eden fazın şekli ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz veya ötektik yapı yüksek mukavemet ve süneklik vermektedir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürmektedir. Al-Si alaşımlarında Si plastisiteyi düşürür. 700°K'nın üzerinde alaşım süperplastik özellik göstermektedir [49].

şekil 3.2.'de Al-Si ikili denge diyagramı gösterilmektedir. Silisyumun miktarına bağlı olarak alaşımlar üç gruba ayrılmaktadır. % 5-10 arasındaki Si içerikli olan alaşımlar ötektikaltı, % 11-13 Si içeren alaşımlar ötektik ve % 14-20 arasında Si içeren alaşımlar ötektiküstü olarak adlandırılmaktadır [50].



şekil 3.2. Al-Si ikili denge diyagramı [50].

3.4. Alüminyum'un Endüstriyel Kullanım Alanları

Kullanım alanına göre özelliklerinden kaynaklanan bazı avantajları ve yeni alaşımların getirdiği bazı alanlarda artan oranda çeliğe ikame olanakları nedeniyle, sanayinin tüm alanlarında alüminyum tüketimi diğer metallere göre daha fazla artmaktadır. Teknolojinin gelişme paralelinde alüminyum kendisine yeni kullanım alanları bulmakta, üretim metotları, ürün tasarımı ve kalite kontrol için Ar-Ge çalışmalarına ağırlık verilerek devam edilmektedir [51].

Alüminyum alaşımlarının birçok kullanım alanı vardır. Bunlar; inşaat sanayinde, uçak endüstrisinde, gemi sanayisinde, elektrik sanayisinde, ambalaj ve konserve sanayi, demiryolu sanayisinde, otomotiv sanayisinde, buzdolabı, dondurucu, havalandırma, spor ekipmanları ve mutfak aletlerinde kullanılır. Yeni kullanım alanları olarak da; alüminyum-sülfür pilleri, alüminyum köpükler (taşımacılık sektöründe araçların konstrüksiyonunda, yapısal parçalar, enerji soğurumlu parçalar ve bal peteği yapılı kompozit malzemelere alternatif) ve savunma sanayisinde alüminyumdan yararlanılmaktadır.

Otomotiv sektöründe kullanılan malzemeler çevre üzerinde önemli bir etkiye neden olmaktadır. Hafif malzemelerin kullanılması bize hem ağırlıktan tasarruf hem de yakıt ekonomisi sağlar. Otomotiv sektöründe ağırlıktan tasarruf için oluşan kanı dünyada çelik tüketiminin azalmasına, plastik ve alüminyum gibi alternatif hafif malzemelerin kullanımının artmasına neden olacaktır [52].

3.5. Alüminyum Plastik Kalıpları

Son yıllarda alüminyumun plastik üretim endüstrisindeki kullanımı büyük artış göstermektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri alüminyumun ısı iletim özelliklerinin iyi olmasıdır. Alüminyumun özellikleri onun kum, seramik gibi kalıplara dökümünü mümkün kılmakta ve mekanik şekil verilebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Bu özellikler ayrıca köpük kalıplar içinde uygunluğunu artırmaktadır. Sıkıştırma kalıplar için alüminyum tavsiye edilmez. Sıkıştırma ve

erime gücü prosesleri alüminyum kalıp içinde ekstra stres ve yırtılmalara neden olmakta ve bu da kalıbın ömrünü azaltmaktadır.

Maliyet açısından berilyum, bakır, bronz, pirinç ve soğuk şekillendirilmiş çelikle karşılaştırıldığında daha ucuz olduğu görülmektedir. Enjeksiyon kalıpcıları alüminyumu alternatifi olmayan bir malzeme olarak düşünüp enjeksiyon kalıbı olarak kullanmaktadırlar. Alüminyumun devamlılığı sert çelikler kadar iyi değildir, fakat uygun tasarım ve bakımla iyi bir kalıp malzemesi özellikleri gösterebilmektedir. Plastik endüstrisinde kullanılan kalıplar için birçok malzeme çeşidi mevcuttur. Genellikle kullanılan malzemeler alüminyum alaşımları, tahta ve epoksi olmaktadır. Bu malzemelerin kendilerine has özellikleri vardır ve onların bu özellikleri tasarım koşullarına ve üretim prosesine göre uygun malzemeler yapmaktadır.

Plastik üretiminde malzeme seçimi sırasında beklenen en önemli etken üretimin tamamlanabilmesidir. Bununla beraber dikkat edilmesi gereken özellikler;

1. Aşınma dayanımı
2. Basınç dayanımı
3. Yeterli seviyede tokluk
4. Korozyon direnci
5. Isı iletim katsayısı
6. Boyutsal kararlılık
7. Ekonomiklik ve kalıp malzemesinin kolay elde edilebilirliği
8. Kolay işlenebilirlik
9. Kalıp özellikleri değiştirebilmek için ekstra gereksinimler
10. Yüzey özelliklerinin iyi olması
11. Yüzey dokusunun uygun olması
12. Plastik şekil verilebilirliğinin iyi olması
13. Plastik parçaların üretiminde kullanılabilir olması
14. Beklenen kalıp ömrünü karşılayabilmesidir.

Kullanım dayanımı, basınç dayanımı, korozyon direnci, ısı iletim katsayısı ve boyutsal kararlılık önemli özelliklerinden bazılarıdır. Alüminyum kalıplar döküm sırasında boyutlarını koruyabilmektedirler. Alüminyumun termal özellikleri ve dayanımı ile plastik dökümü için ideal bir malzeme olarak görülmektedir. Fakat üretim miktarı ve tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır. Epoksinin ve tahtanın ekonomikliği ve üretimindeki hız alüminyumdan daha iyi olmaktadır.

Alüminyum çok dayanıklıdır, fakat şekillendirmeden sonra uygun dayanımı elde edebilmek için ısıtılmalı ve işlem gerekmektedir. Birçok metal alüminyumun kimyasal dayanımına sahip değildir. Epoksi ya da tahta gibi kalıp malzemeleri korozif ortamlara maruz kaldıklarında özelliklerini kaybetmektedirler. Özellikle tahta kalıplar kısa sürede çürüme sorunu göstermektedirler. Alüminyum kalıpların sıcaklığı içinde absorblaması ve burada tutmasından dolayı tasarım sırasında soğuma kanalları unutulmamalıdır [53].



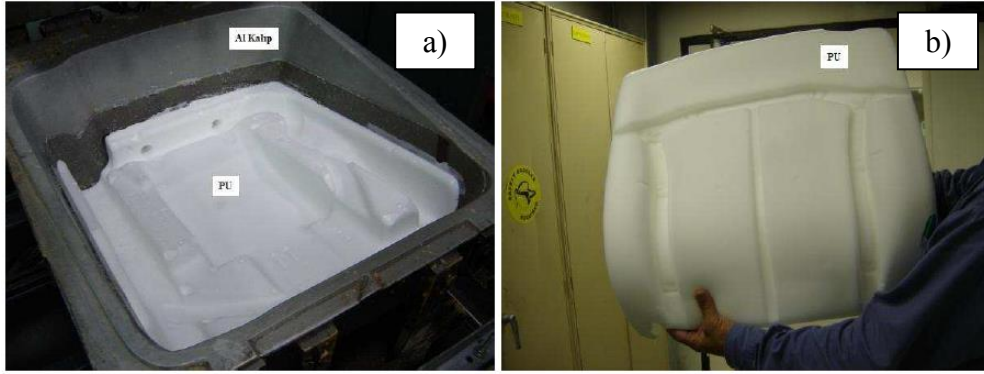
Şekil 3.3. Sünger üretiminde kullanılan alüminyum plastik kalıbı [54].

3.6. Poliüretan Koltuk Süngeri Üretiminde Kullanılan Alüminyum Kalıplar

PU döküm sistemlerinde alüminyum kalıplar sıkça kullanılmaktadır ve bu kullanım sürekli bir artış göstermektedir. Al ve Al alaşımları diğer kalıp malzemeleriyle karşılaştırıldıklarında düşük ağırlıkları nedeniyle üretim aşamasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra kolay üretilebilirliği, düşük maliyeti ve yüksek ısı iletkenliği gibi özellikleri de tercih edilme sebeplerinden bazılarıdır. Polimer üretim endüstrilerinde kullanılan kalıpların yüzeylerinin iyi

yapışmazlık, yüksek sertlik ve aşınma direnci gibi bazı özellikler göstermesi beklenmektedir.

Genellikle kalıplar üretildikten sonra başlıca sertlik ve aşınma dirençleri incelenmektedir. Fakat bazı durumlarda diğer özellikler de büyük önem kazanmaktadır. Örneğin, PU dökümü için Al kalıp kullanıldığı zaman kalıp yüzeylerinin yapışmazlık özelliği çok önemli bir faktör teşkil etmektedir. Reaksiyon tamamlandıktan sonra kalıp açıldığında, PU'nun kalıptan ayrılması için kalıp yüzeyinin buna izin vermesi gerekmektedir [25]. Şekil 3.4.'de Al kalıp ve reaksiyonu yeni tamamlamış PU sünger ile otomobil koltuğu üretiminde kullanılan PU sünger gösterilmektedir.

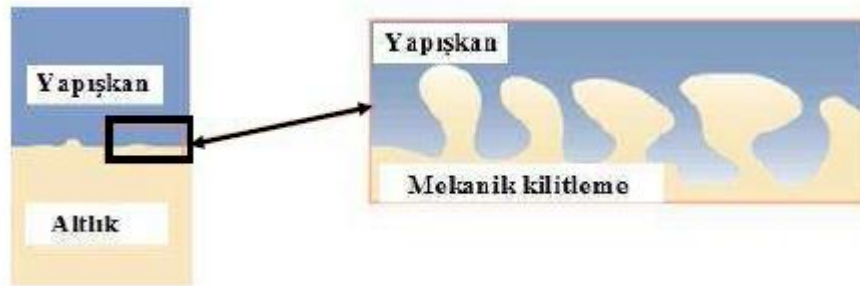


Şekil 3.4. PU koltuk a) Al kalıp ve reaksiyonunu yeni tamamlamış PU sünger b) otomobil koltuğu üretiminde kullanılan PU sünger ürün [25].

Poliüretanın kalıptan çıkarılması sırasında süngerin zarar görmemesi çok önemlidir. Kalıp yüzeyleri genellikle kaplamasızdır. Geleneksel yöntemlerle yapışma sorununu giderebilmek için PU'nun kalıba dökümünden önce kalıp yüzeyine çok ince uniform bir yapıya sahip ve yapışmazlık özellikleri iyi olan bir ayırıcı madde (genellikle parafin) spreyle tatbik edilmektedir. Geleneksel yöntemlerle, yapışma sorununu tam olarak giderememekle birlikte, malzeme ve iş gücü kaybı ortaya çıkmakta bu da ek bir maliyeti beraberinde getirmektedir.

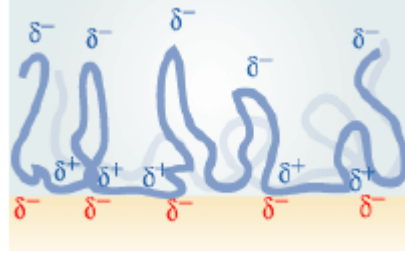
3.7. Al Kalıp Yüzeyinde Bağlanma Mekanizmaları

Fiziksel kimyada, bir katı faz ile ikinci bir faz arasında oluşan çekime adhezyon denilmektedir. Adhezyon elektrostatik kuvvetlerden, Van der Waals kuvvetlerinden veya kemisorpsiyon (katı yüzey üzerine kimyasal bağlanma)'dan dolayı oluşabilmektedir. Adhezyon teknolojisinde, sadece katı bir yüzey ve ikinci sıvı veya katı bir faz arasındaki etkileşim adhezyon olarak adlandırılmaktadır. Eğer altlık düzensiz bir yüzeye sahipse, sertleşmeden önce yapışan malzeme yüzeydeki bu düzensizliklere girebilmektedir. Pürüzlü yüzey, mümkün olan ara yüzey bağı için daha fazla yüzey alanı sağladığı gibi, yük koşulları altında daha fazla enerji aktarma noktası da sağlamaktadır. Bu mekanik bağlanma, birbirine yapışan iki malzeme parçası için bazen ana sebep olarak görülebilmektedir [25]. Şekil 3.5.'te pürüzlü yüzey üzerinde yapışma mekanizması verilmektedir.



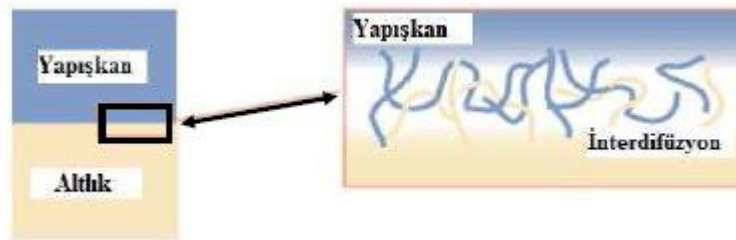
Şekil 3.5. Pürüzlü yüzey üzerinde yapışma mekanizması [25].

Elektrostatik teoriye göre yapışan-yapıştırıcı sistem iki farklı maddenin ıslatmasıyla şarj olan bir kapasitör olarak davranmaktadır. Eğer ölçülebilir nitelikte farklı elektronegativitelere sahip iki malzeme bir araya getirilirse, elektron transferi düşük elektronegativiteye sahipten yüksek elektronegativiteye sahip olana doğru gerçekleşmektedir. Bu transfer, arayüzeyde şarjın geçtiği bir çift tabaka oluşturmaktadır. Şekil 3.6.'da elektrostatik bağlanma teorisi verilmektedir [25].



Şekil 3.6. Elektrostatik bağlanma teorisi [25].

Difüzyon teorisi ise arayüzey bağ mukavemetini belirleyen polimerin difüzyonunu tanımlamaktadır. Yüzey ıslatması kendi başına yeterli değildir. Difüzyonun oluşması için gerekli şartlar, bu teorisin difüzyonun olabildiği sistemlere uygulanabilirliğini sınırlamaya yeterli olmaktadır. Aslında bunun anlamı, polimerik malzeme sistemleri için sınırlı olduğudur. Cam veya metaller gibi bir veya daha fazla katıyı kapsayan sistemler için, difüzyonun sıcaklık ve zamanla gerçekleşmemesi sebebiyle uygulanmamaktadır. Şekil 3.7.'de difüzyon ile bağlanma teorisi gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Difüzyon ile bağlanma teorisi [25].

Günümüz yayınlarında yaygın olarak kullanılan mekanik deformasyon teorisine göre arayüzey adhezyonunun sebebi ne olursa olsun, adhezyon mukavemeti bağın oluşması ve bağdaki bölgesel enerjileri oluşturan malzemelerin mekanik özellikleriyle tanımlanmaktadır [25].

BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM'UN YÜZEY İŞLEMLERİ

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmek, yeni mühendislik özellikleri kazandırmak veya dekoratif açıdan çekici kılmak insanoğlunun eski çağlardan beri süregelen amaçlarından biri olmuştur. Günümüzde, malzeme yüzeylerinin değiştirilmesine yönelik işlemler, yüzey ve altlık malzemesinin tasarımını bir arada ele alan ve her ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen işlemler olarak tanımlanabilir. Yüzey işlem teknolojileri ve yüzey mühendisliği özellikle 90'lı yıllardan sonra önemli hale gelmiştir. Günümüzde hem klasik hem de modern teknolojilere dayanan yüzey işlemlerinin önemi artmaya devam etmektedir. Yüzey iyileştirme işlemleri malzemede istenen özellikleri elde etmek ve mevcut ürünün de işlevliğini geliştirmek için bir malzemenin yüzey özelliklerini, metalürjik, mekanik, kimyasal olarak ya da bir kaplama ilavesi sağlayarak yapılmaktadır.

4.1. Yüzey Hazırlama

Yüzeyin dekoratif görünümünü değiştirmeye yönelik olan işlemler, mekanik veya kimyasal ön işlem şeklinde olabilmektedir.

4.1.1. Mekanik ön işlemler

Mekanik işlemler arasında polisaj (parlatma), satinaj, çapak alma veya kumlama gibi işlemler sayılabilmektedir. Çapak alma ve kumlama gibi işlemler daha ziyade küçük parçalar için uygulanırken polisaj ve satinaj gibi işlemler genellikle profillere uygulanmaktadır. Satinaj işlemi sonucunda özellikle ekstrüzyon çizgilerini gizlemek ve/veya kimyasal matlaştırmayı kolaylaştırmaya yönelik kullanılan fırça tellerinin

kalınlığına bağılı olarak, hafif çizgiler oluşturulmaktadır. Polisaj işlemi sonucunda parlak bir yüzey elde edilmektedir [55].

4.1.2. Kimyasal ön işlemler

Kimyasal ön işlemler, sonuçta istenen yüzey kalitesine göre seçilmektedir. Sonuçta mat yüzey elde etmek için sodyum hidroksit (NaOH) içeren eriyiklerde dağlama (kostikleme) yapılırken, parlak yüzey eldesi için de asit içeren eriyiklerde kimyasal daldırma veya elektrokimyasal parlatma metotları kullanılmaktadır. Parlatma için kullanılan eriyiklerde, fosforik, sülfürik, nitrik, kromik asitlerin tamamı veya birkaçı bulunabilmektedir. Kimyasal ön işlemler, birkaç aşamadan oluşmaktadır. Matlaştırmaya yönelik kostikleme veya parlatma işlemlerinden önce, yüzeye aşındırıcı tesirde bulunmayan bir temizleyici (yağ alma) işlem uygulanmaktadır. Kostikleme veya parlatma işlemini ise, yüzeyde oluşacak reaksiyon kalıntılarını temizlemeye yönelik bir asitle temizleme işlemi takip etmektedir.

Yağ alma; genellikle yağ alma eriyikleri su esaslı eriyikler olup, karbonat, fosfat, ıslatıcı ajan ve bazen de bir kompleks yapıcı içeren bazik eriyiklerdir. Alternatif olarak, sülfürik veya fosforik asit ve bazı ilave kimyasallar içeren asidik bir eriyik de olabilmektedir. Oda sıcaklığında çalışan, bazı hidrokarbon eriticiler içeren organik esaslı yağ alıcılar, özellikle mekanik yöntemle parlatılmış yüzeylerdeki polisaj cilasını temizlemekte yetersiz kalmaktadır.

Matlaştırma; alüminyum yüzeyinin matlaştırılması için genelde sud-kostik içeren eriyikler kullanılır ve bu işleme “kostikleme” denir. Kostik banyosu, 60°C civarında çalışır. Reaksiyon sonucunda, yüzey alanının her metrekaresinden 80-120 gr alüminyum çözünerek eriyiğe geçmektedir. Eriyiğe geçen alüminyum denge konsantrasyonunu aştığında, banyo dibine çökeler. Kostik banyolarında, alüminyum konsantrasyonu önemlidir ve kontrol edilmelidir.

Kostik Rejenerasyonu; Kostik banyosunda eriyen alüminyum eriyikten temizlenir ve böylece eriyik içindeki sud-kostiği geri kazanılmaktadır. Rejenerasyon işleminde

kostik eriyiği; kostik banyosu ile kristalizatör arasında kapalı devre dolaşmaktadır. Kristalizatör, bir çeşit depo olup, eriyik içindeki alüminyumun, alümina-tri-hidrat olarak çöktürüldüğü yerdir. Bu çökelti içindeki su giderilerek, % 90 oranında katı atık elde edilebilmektedir.

Kostiğin bu şekilde geri kazanımı ile elde edilen faydalar şunlardır:

1. Matlaştırma işleminde kullanılan sud-kostik tasarrufu,
2. Atık su arıtım giderlerinden tasarruf,
3. Ticari değeri olan bir katı atık

Parlatma; “Kimyasal parlatma” veya “Elektrokimyasal parlatma” olmak üzere iki metotla yapılabilmektedir. Kimyasal parlatmada en parlak yüzey alüminyumun önce mekanik polisaj işleminden geçirilmesi, sonra da 100°C civarında çalışan ve fosforik, sülfürik, nitrik asit içeren eriyiklere (banyo) daldırılması ile elde edilmektedir. Elektrokimyasal parlatma ise kimyasal parlatma banyosuna elektrik akımı (DC, doğru akım) verilerek yapılmaktadır. Bu banyolar; fosforik, kromik, sülfürik ve nitrik asitlerin karışımlarından hazırlanmaktadır.

Temizleme; kostikle yapılan matlaştırma veya kimyasal parlatma işlemleri sonucunda, alüminyum yüzeyinde bir çamur tabakası (reaksiyon ürünü) oluşmaktadır. Bunun temizlenmesi için, asidik bir banyo kullanılmaktadır. Bu amaçla en yaygın kullanılan banyo, oda sıcaklığında çalışan ve hacimsel olarak % 30-50 konsantrasyonda nitrik asit içeren banyodur [55].

4.2. Kumlama İşlemi

Kumlamanın amacı, malzemelerin üzerinde biriken kir, yağ, pas, boya ve tufal gibi atıkları yüzeyden arındırmak ve malzeme yüzeyini arzu edilen formda pürüzlendirmektir. Malzeme yüzeyinin temizlenmesi ve pürüzlendirilmesi, aşındırıcının malzeme yüzeyine belirli bir basınç ve açı ile püskürtülerek gerçekleştirilir. Bir yüzeye boyama veya kaplama yapmadan önce yüzey hazırlığının

fiziksel ve kimyasal yöntemlerle yapılması gerekmektedir. Bu hazırlık adımları; kumlama, kimyasal temizleme, basınçlı su püskürtme gibi bir takım teknikler ile yapılır. Kumlama yaygın, etkin ve ekonomik olması nedeniyle en çok kullanılan yüzey temizleme yöntemlerindedir [4].

Günümüzde kaplama öncesi pürüzlendirme veya yüzey sonlandırma amacıyla yoğun şekilde uygulanan kumlama işlemi, basınçlı hava ile yüzeye, kum olarak tabir edilen ve mikron boyutlarında olan malzemelerin püskürtülmesi olarak tanımlanmaktadır. Hava sayesinde yüksek bir hıza ve dolayısıyla momentuma sahip olan bu kumlar yüzeye çarptıklarında mikron mertebesinde izler bırakmaktadır. Oluşan bu izlerin derinliği ve şekilleri yüzeyin parlaklığına birebir etki etmektedir.

Yüzeyin kumlanarak işlenmesinde rol oynayan başlıca elemanlar basınçlı hava, çeşitli özellikteki kumlar, hava ve kum tankları, kum püskürtme memeleridir. Ancak yüzey morfolojisini en çok etkileyen elemanlar, havanın basıncı ve kullanılan sarf malzemenin cinsidir. Basınçlı hava bu işlemde itici güç olarak kullanılmakta ve yüzeye gönderilen sarf malzemelerinin etkisini belirlemektedir. Yüzeyin şeklini belirleyen eleman ise kullanılan sarf malzemesidir. Sarf malzemelerini şekil itibarıyla küresel ve köşeli olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Köşeli taneciklerin oluşturduğu sarf malzemelerine grit adı verilmektedir. Örneğin çelik grit, cam griti, dere kumu, alüminyum oksitler vb. gibi malzemelerdir. Bu malzemeler daha çok kaplama işlemleri öncesinde yüzeyin pürüzlendirilmesi amacıyla püskürtülürler. Köşeli malzemelerin çarpması ile pürüzlenen yüzey sonradan uygulanacak kaplayıcı elemanın yüzeye daha iyi tutunmasına olanak sağlar. Köşeli malzemeler kullanılırken dikkat edilmesi gereken birkaç önemli nokta çok iyi bilinmelidir. Öncelikle bu tip yıpratıcı malzemeler aynı bölgeye uzun süre uygulandıkları takdirde malzemenin toleranslarında değişikliğe neden olurlar. Bunun nedeni, yüzeye çarpan taneciklerin köşeli yapısından dolayı kesme etkisi yapmalarıdır. Yüzeyden çok küçük parçalar koparak pürüzlendirme yaptığından dolayı bu işlem sırasında aynı bölge üzerinde gereğinden fazla uygulama yapılmasından kaçınılmalıdır. Diğer bir önemli konu ise seçilen sarf malzemesinin

boyutlarıdır. Daha sonradan uygulanacak olan kaplayıcı elemanlar genelde çok pahalı kaplama elemanları olduğundan, yüzeyin gereğinden fazla derinlikte pürüzlendirilmesi kaplayıcı elemanın tüketimini arttırmaktadır. Bu da maliyetleri olumsuz yönde etkilemektedir.

Küresel malzemelerle kumlanan yüzey ise, köşeli malzemelerle kumlanan yüzeyden oldukça farklıdır. Küresel sarf malzemeleri daha çok sonlandırma amacıyla kullanılmaktadır ve kumlama işleminden sonra ürün başka bir işleme sokulmadan satışa sunulmaktadır. Küresel malzemelerle yapılan kumlamanın amacı ise, üretim sırasında ürün yüzeyinde oluşan izleri ve lekeleri ortadan kaldırmak ve ürün yüzeyinde oluşan izleri ve lekeleri ortadan kaldırmak ve ürün yüzeyine homojen bir görünüm vermektedir. Daha sonradan bir boyama veya kaplama işlemi uygulanmayacaksa, yüzeylerin parlak olabilmesi ve kir tutmaması için mutlaka kumlama işleminin küresel şekilli sarf malzemeleri ile yapılması gerekmektedir. Sarf malzemesinin taneciklerinin şekilleri eğer köşeli olursa yüzeye çarptıklarında derin yarıklar oluşturacaktır. Bu derin yarıkları ışığın yoğun miktarda kırılmasına ve doğal olarak yüzeyin mat görünmesine neden olacaktır. Ayrıca oluşan bu derin yarıklara çeşitli kirlilikler yerleşecek ve kimyasal malzeme kullanmaksızın temizlenmesi mümkün olmayacaktır.

Kumlama işleminde önemli rol oynayan diğer bir eleman ise kum püskürtme memesi nozuldur. Kumun çıkış yerinde yani kumlama hortumunun en uç noktasında bulunan ve yoğun sürtünmeye maruz kalan bu ekipmanın mutlaka aşınmaya dayanıklı bir malzemeden üretilmiş olması gerekmektedir. Nozulların çaplarındaki değişim içerisinden geçen havanın debisini belirler [56].

4.2.1. Kumlama makinaları

Kumlama makineleri, kumlama işleminin yapılmasını sağlayan ekipmanlar topluluğudur. Kumlama işlemi için çeşitli kumlama makineleri kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Kuşlama kabinleri
2. Kuşlama kazanları
3. Kuşlama odaları
4. Türbinli kuşlama makineleri vb. dir [57].

Kuşlama kabinleri; küçük numunelerin manuel veya otomatik olarak kuşlanmasını sağlamaktadır. Manuel makinelerde, operatör kuşlanacak numuneyi makine içine koyduktan sonra kuşlama tabancası yardımıyla kuşlamaktadır. Otomatik makinelerde ise kuşlama tabancaları makine içine uygun açılarda ve yüksekliklerde sabitlenmektedir. Operatör kuşlanacak numuneyi kabin içerisine koyduktan sonra makineyi çalıştırmakta ve numuneyi kuşlamaktadır. Şekil 4.1.'de manuel kuşlama makinesi gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Manuel kuşlama kabini görüntüsü [57].

Kuşlama kazanları; Şekil 4.2.'de görüntüsü verilen basınçlı kuşlama kazanı; açık saha çalışmalarında, taşınamayan yüzeylerin kuşlanmasında (bina, büyük çelik yapılar vb.) kullanılan, istenilen her yere götürülebilen kuşlama makinesi çeşididir. Bunun yanında kuşlama odalarında taşınabilir büyük numunelerin kuşlanmasında kullanılmaktadır. Hava basıncı ile çalıştığı için beraberinde bir kompresöre de ihtiyaç duyulmaktadır. Başlıca kullanım yerleri; Gemi sanayi, döküm sanayi, otomotiv, mermer, tekstil, cam, boru, imalat-montaj sektörleridir.



Şekil 4.2. Kumlama kazanı görüntüsü [57].

Kumlama odaları; çok geniş ebatlardaki numuneleri kumlamak gerektiğinde türbinli-otomatik kumlama makinelerinin kapasiteleri yetersiz kalmaktadır. Geniş ebatlardaki numuneleri kumlanması amacı ile kumlama odaları kullanılmaktadır.

Kumlama odalarında taşınması zor olan numuneler yerde bulunan raylı bir sistem üzerinde hareket ettirilerek ya da odanın tavanındaki monoray vinç vasıtasıyla taşınmaktadır. Kumlama kabinin içinde kumlamadan dolayı oluşacak toz bulutunun oluşmasını engellemek ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlamak için emiş fanı bulunan bir havalandırma sistemi kurulmaktadır.

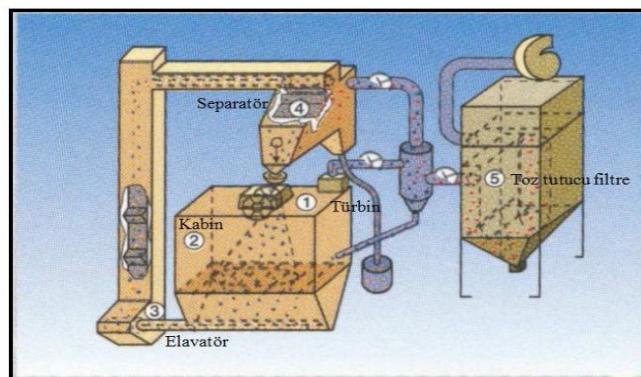
Kumlama işlemini yapacak kumlama kazanı oda içinde bulundurulur. İçinde aşındırıcı bulunan kum kazanının hareketi zor olduğundan oda içerisinde operatörün her yere rahatça ulaşmasını sağlamak için odanın ölçülerine göre hortum ile desteklenir. Uygun kompresör, hava tankı ve hava kurutucusu odanın dışından kumlama kazanına yeterli havayı sağlamak amacı ile kurulur. Zemin çelik ızgaralardan oluşur ve kullanılan aşındırıcının zeminin altında bulunan aşındırıcı deposuna dökülmesi sağlanır. Depoya dökülen aşındırıcı helezonlar vasıtası ile hareket ettirilerek toplama ünitesi tarafından vakumlanır. Aşındırıcı toplama ünitesi içerisinde bulunan manyetik seperatör ve filtre vasıtası ile aşındırıcı toz, kir, boya gibi yabancı maddelerden arındırılarak oda içerisindeki kumlama kazanına geri dönüşümü sağlanır. Bu sayede basınçlı kumlama sistemlerinde kullanılan sarf malzemenin geri dönüşüm problemi en aza indirilerek çözülmüş olur. Tekrar kullanılabilen aşındırıcının toplanma işleminin manuel olarak yapılması halinde %

20'ye varan aşındırıcı kaybının önüne geçilmiş olur. Şekil 4.3.'te kumlama odası görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.3. Kumlama odası görüntüsü [57].

Türbinli kumlama makinesi; Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi beş ana bölümden oluşmaktadır. Sistemdeki bilyalar türbin vasıtası ile kabin içerisindeki numune üzerine yüksek basınçla püskürtülerek temizlenmesi sağlanmaktadır. Aşındırıcıların numune üzerine yüksek basınçla püskürtülmesi sonrasında bilyalar, toz, çapak vb. ile karışık bulunurlar. Bunlar elavator yardımıyla ayrıştırılmak üzere seperatöre taşınmaktadır. Seperatör sisteminde bilyalar toz tutucu filtre emişi sayesinde temizlenerek tekrar kullanılmak üzere türbinlere iletilmektedir. Dolayısıyla kabin içerisinde kapalı bir çevrim ve hava emişinden dolayı sürekli bir hava basıncı bulunmaktadır [58].



Şekil 4.4. Türbinli kumlama makinesini oluşturan ünitelerin görüntüsü [58].

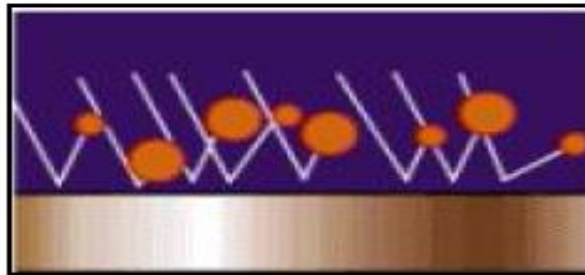
4.2.2. Aşındırıcılar

Kuulanacak malzemeye, kuulama amacına, istenen yüzey geometrisine, yüzey pürüzlülüğüne ve temizlenmek istenen kirliliğe bağılı olarak aşındırıcıların cinsi ve şekli de değışmektedir [59]. Kuulama işleminde kullanılan aşındırıcılar; çelik bilya, çelik grit, alüminyum oksit minerali, cam kürecik, paslanmaz çelik bilya, silisyum karbür, garnet, cam kumu, seramik küre, plastik aşındırıcı ve kuulama sodası vb. gibi malzemelerdir. Bu aşındırıcılardan özellikle alüminyum oksit minerali, cam kürecik, paslanmaz çelik bilya, silisyum karbür, garnet ve seramik küre alüminyum alaşımlarının kuulanmasında tercih edilmektedir. Seramik yapıda olan silis kumu da sahip olduğı yüksek sertlik sebebiyle alüminyumun kuulanmasında aşındırıcı olarak kullanılmaktadır [57].

4.2.3. Aşındırıcıların kuulamaya etkisi

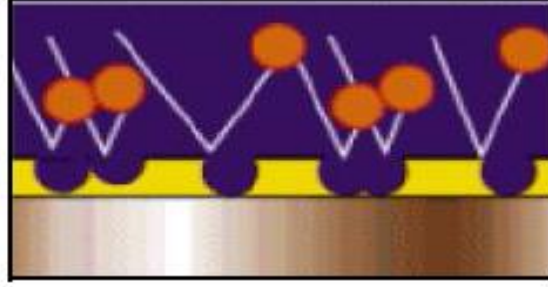
1. Aşındırıcı büyüklüğü
2. Sertlik
3. Aşındırıcı şekli
4. Fırlatma hızı
5. Püskürtme açısı
6. Kuulama süresi vb. gibi faktörlerdir.

Aşındırıcı büyüklüğü; iyi bir yüzey kalitesi elde edebilmek için Şekil 4.5.'te görüldüğü gibi, çalışma esnasında büyük ve küçük taneler uygun bir karışım şeklinde malzeme yüzeyine püskürtülmektedir.

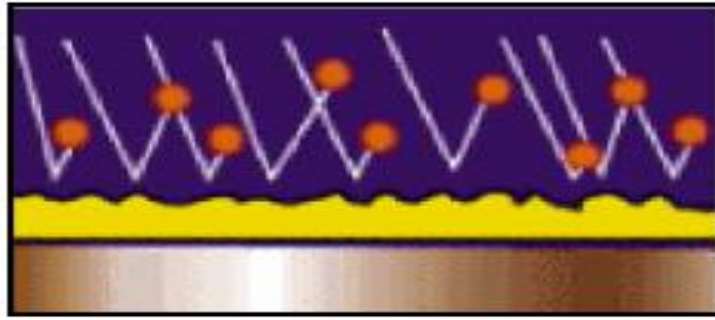


Şekil 4.5. Aşındırıcıların numune üzerine püskürtülme görüntüsü [60].

Karışımında çok büyük taneler mevcut ise kısmen parça üzerinde lokal temizlikler yapar aynı zamanda numune üzerinde Şekil 4.6.'daki gibi dövme izleri bırakır. Eğer karışımında çok ince taneler mevcut ise kumlama sonrası Şekil 4.7.'de görüldüğü üzere istenilen temizliğin sağlanması mümkün olmamaktadır [60].

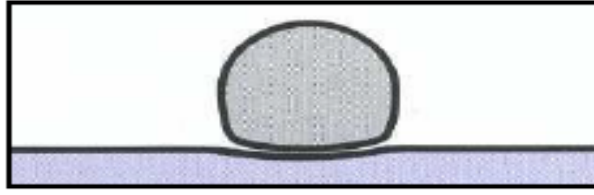


Şekil 4.6. Numune üzerinde aşırı dövme izi görüntüsü [60].

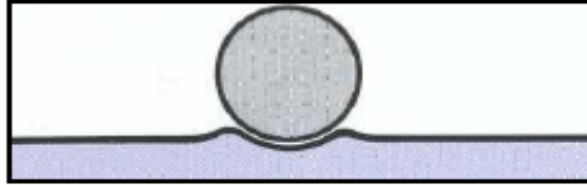


Şekil 4.7. Numune üzerinde istenilen temizliğin sağlanmamış görüntüsü [60].

Sertlik; kumlama genel prensip, temizleme bilyasının temizlenecek numunelerden daha sert olmasıdır. Aşındırıcıların yumuşak olması durumunda Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi yüzey üzerinde herhangi bir temizlik etkisi göstermez. Temizleme yapabilmek için aşırı zaman ve maliyet etkisi gerekmektedir. Şekil 4.9.'daki gibi uygun sertlikte bilya kullanılması durumunda hem kumlama için harcanan zaman ve maliyet azalmakta hem de bilyalar çok çabuk kırılmadığından bilya ömürleri artmaktadır. Çok sert aşındırıcı kullanılması durumunda aşındırıcı çok çabuk kırılır ve aşındırıcı maliyeti artar. Bu nedenle en az kırılma özelliği gösteren, tokluğu iyi olan sert aşındırıcılar tercih edilmelidir [61].

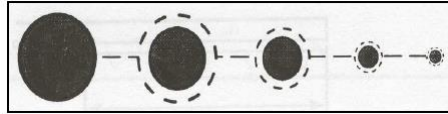


Şekil 4.8. Düşük sertlik değerine sahip aşındırıcı görüntüsü [61].



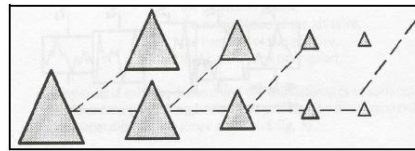
Şekil 4.9. Uygun sertlik değerine sahip aşındırıcı görüntüsü [61].

Aşındırıcı şekli; yuvarlak aşındırıcıların kullanıldığı kumlama sistemlerinde aşınma durumu Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi, aşınmaya bağlı olarak kabuk kabuk küçülme şeklindedir. Elde edilen yüzey profili pürüzsüz bir yüzeydir [60].



Şekil 4.10. Yuvarlak aşındırıcı görüntüsü [60].

Şekil 4.11.'de gösterilen köşeli aşındırıcılar şekillerinden dolayı daha hızlı kırılmalar göstermektedir. Köşeli aşındırıcılar ile yapılan kumlamada yüzey profili keskin köşe ve pürüzlü olmakla birlikte aşındırıcı sarfiyatı fazladır.



Şekil 4.11. Köşeli aşındırıcı görüntüsü [60].

Fırlatma hızı; aşındırıcıların malzeme yüzeyine püskürtülürken hızları çok önemlidir. Püskürtme hızları çok yüksek olursa aşındırıcılar çabuk hasar görür ve aşındırıcı maliyeti artar. Bununla birlikte kumlanan malzeme yüzeyine çarpan ve geri seken

aşındırıcılardan dolayı aşındırıcıların malzeme yüzeyine ulaşmaları engellenir. Bu yüzden ideal kumlama yapılamaz. Püskürtme hızlarının yavaş olduğu durumlarda ise temizleme için gerekli darbe enerjisi elde edilemediği için istenilen seviyede temizlik gerçekleşmez.

Püskürtme açısı; aşındırıcı karışımın doğru yönlendirilmesi dikkat edilmesi gereken önemli bir faktördür. Diğer bir deyişle püskürtülen aşındırıcıların hedefi bulması gerekir. Bu ayarlar makine üreticisinin eğitimli personeli tarafından yapılmaktadır. Bu amaçla makine içine konulan kumlanacak malzeme üzerine püskürtülen aşındırıcı jetinin bıraktığı ize göre gerekli aşındırıcı ön ayarı yapılır [61].

Püskürtme düzlemi istikameti yanlış ayarlanması durumunda; türbin tarafından atılan aşındırıcı hızının ve miktarının iyi bir makine kullanmanın ve uygun bilya kullanmanın hiçbir önemi yoktur.

Kumlama süresi; yüzey temizleme işlemlerinde temizlenecek parçanın uygun sürelerde kumlama işlemine tabi tutulması gerekir. Kumlama süresinin az olması durumunda kumlanacak malzemeye aşındırıcı isabet oranı düşeceğinden yeterli kumlama yapılmış olmaz. Kumlama süresinin çok fazla olması durumunda ise yeterli yüzey kalitesine gelmiş malzemeye boş yere aşındırıcı fırlatılmış olunur. Bu nedenle, zaman kaybına, enerji kaybına ve aşındırıcının daha çabuk yıpranmasına neden olunur [61].

Kumlama ile çok ince ve homojen bir pürüzlülüğe sahip, göreceli olarak düzgün yüzeyler elde edilebilir. Özellikle küçük çaplı, yumuşak aşındırıcıların su ile beraber basınçlı hava yardımıyla fırlatılması sonucu suyun yastıklama etkisiyle de yüzeyde daha yumuşak bir etkinin elde edilmesi mümkündür. Otomotiv endüstrisinde parlamayan düzgün yüzeylerin elde edilmesi amacıyla kumlama kimyasal metotların yerini almaktadır [62].

Kumlama işlemi ile parçaların yüzey alanı arttırılabilmektedir. Bu alan artışı aslında yüzeyin pürüzlendirilmesi ile sağlanmaktadır. Pürüzlülüğün derecesini en fazla

etkileyen parametre kullanılan aşındırıcının cinsidir. Yüzey alanının arttırılması, boyama ve kaplama işlemlerinde vazgeçilmez bir öneme sahiptir [63].

Hansel, boyama ve kaplama uygulamalarından önce yüzeyde bulunan pas, yağ, tufal ve boya gibi istenilmeyen maddelerin giderilmesini ayrıca boya ve kaplamanın uzun ömürlü olması için yüzeyde pürüzlülük sağlanması gerektiğini belirtmiştir. Hansel tarafından kumlama uygulanmış iş parçalarının kumlama uygulanmamış iş parçalarına göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir [64].

Clemco Industries, yapmış olduğu araştırmalarında çelik yüzeylerin kumlanması ile boya ve kaplama öncesi en uygun yüzey temizliği ve yüzey görünümünün elde edileceğini belirtmiştir. Doğru kumlama işleminin yapılabilmesi için ekipman, aşındırıcı ve operatörün doğru seçilmesi gerektiğini belirtmiştir [65].

Gedeon, yapmış olduğu çalışmasında boya yapılacak yüzeylerin temiz olması gerektiğini belirtmiştir. Malzeme yüzeylerindeki artan pürüzlülük sayesinde boyanın girinti, çıkıntı vb. yerlere girerek daha iyi nüfuziyet sağladığını ve bu sayede boya ömrünün arttığını belirtmiştir [66].

Surface Preparation Specification (SSPC) isimli kuruluş yapmış olduğu araştırmasında yüksek yüzey pürüzlülüğü elde etmek için;

1. Aşındırıcı boyutunun büyük seçilmesi,
2. Yüksek sertliğe sahip aşındırıcılar seçilmesi,
3. Yuvarlak yerine köşeli aşındırıcılar kullanılması gerektiğini,
4. Kumlama süresi azaldıkça yüzey pürüzlülüğünün düştüğünü söylemişlerdir [67].

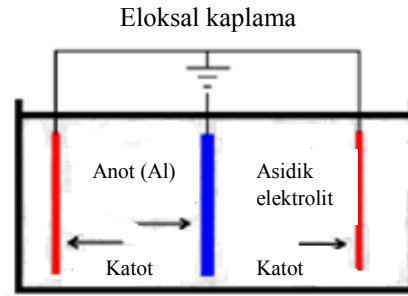
4.3. Alüminyum'un Anodik Oksidasyonu (Eloksal)

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarını anodize etmenin nedenleri arasında korozyon direncini arttırmak ve yapışma özelliğini arttırmak dışında, yüzey sertliğini arttırmak, dielektriksel ve optik özelliklerini modifiye etmek, renklendirmeyi kolaylaştırmak, kayganlığı arttırmak gibi pek çok madde sayılabilmektedir. Tüm bu nedenler sıralandığında, anodize edilmiş alüminyum malzemesinin sanayideki kullanım alanlarının çokluğu ve ticari önemini anlamak da kolaylaşmaktadır [68].

Alüminyumun elektrokimyasal oksidasyonu son yüzyılın ilk zamanlarına kadar dayanmaktadır. Alüminyumun anodik işlemleri çoğunlukla yüzeyinde koruyucu veya dekoratif film oluşturma amacıyla gerçekleştirilmektedir. Yakın zamanlarda, anodizasyon sonucu oluşan, geniş yüzey alanı üzerine, kısa mesafelerde dağılmış küçük çaplı por yapıları fazlasıyla dikkat çekmiştir. Alüminyumun anodizasyonun 50-60 yıldan beri gelişmekte olan bir yöntem olduğunu söylemek mümkündür. Gelişen teknolojiyle birlikte, malzeme yüzeyinde oluşturulan anodik oksit yapısının incelenmesi çok daha kolay hale gelmiştir ve bu sayede oluşturulmak istenen poröz yapının kontrolü de günümüzde çok daha kolay sağlanabilmektedir [69].

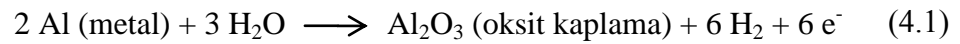
4.3.1. Anodizasyon tanımı

Alüminyum oksijen afinitesi yüksek bir metal olmasından dolayı yüzeyinde dışarıdan hiçbir işlem uygulanmaksızın bir alüminyum oksit filmi oluşur. Bu film yüzeyi bir miktar sertleştirmekle birlikte çok ince olmasından dolayı hiçbir endüstriyel katkı sağlamamaktadır. Bu nedenle alüminyum ve alaşımlarının endüstriyel uygulamalar için çeşitli yüzey işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bu yüzey işlemlerinden biri de eloksal yüzey işlemidir. Eloksal, alüminyum yüzey işlem diline Almanca'dan girmiş bir terimdir. Uluslararası terminolojide "Anodik Oksidasyon" veya "Anodizasyon" olarak tanımlanır. Eloksal, alüminyum için çok özel bir yüzey kaplamadır. Eloksal işlemi yüzeyde yapay bir oksit tabakası oluşturma işlemidir ve bu işlem elektrokimyasal bir procestir. Eloksal işleminde iki temel reaksiyon vardır. Bunlar anot ve katot reaksiyonlarıdır [70].



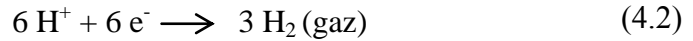
Şekil 4.12. Eloksal işlem banyosu [70].

Anot Reaksiyonu: Anot (Alüminyum) yüzeyinde meydana gelen oksidasyon reaksiyonudur.



Bu proste alüminyum su ile reaksiyona girerek anodik oksit kaplama oluşturur.

Katot Reaksiyonu: Katot yüzeyinde meydana gelen indirgenme reaksiyonudur.



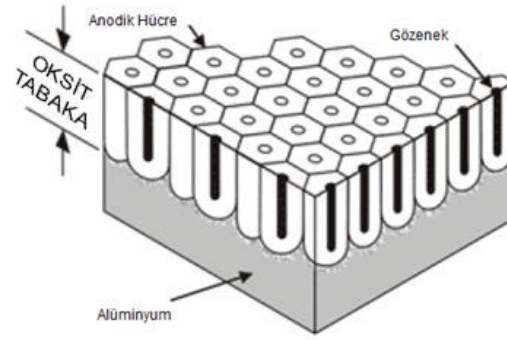
Hidrojen gazı katotta toplanmakta ve anodizasyon prosesi boyunca baloncuk şeklinde çıkmaktadır. Sonuç olarak alüminyum okside olmakta ve buna anodize denmektedir.

Eloksal işlemi anodizasyon tankında gerçekleşmektedir. Eloksal tankında, anot ve katot reaksiyonlarının gerçekleşmesini sağlayan elektrolit adı verilen kimyasal bir çözelti bulunmaktadır. Bu çözeltinin görevi akımın (DA) daha kolay akmasını sağlamaktır. Akım uygulandığı zaman elektrolit içindeki su parçalanmakta ve oksijen anotta toplanmaktadır. Daha sonra bu oksijen alüminyumla birleşerek yüzeyde alüminyum oksit filmi oluşmaktadır. Elektrolit genelde sülfürik asit ve az miktarda okzalik asit içermektedir. Elektrolit içindeki asit yüzeyde oluşan oksit filmi

parçalamaya çalışmakta ve bunun sonucunda alüminyum yüzeyinde porlu bir oksit filmi oluşmaktadır [70].

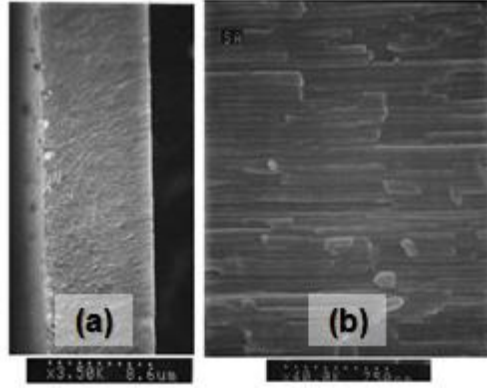
4.3.2. Anodik oksit yapısı ve oluşum mekanizması

Alüminyum yüksek derecede aktif bir metal olduğundan, yüzeyi havayla temas ettiği anda ince bir oksit filmiyle kaplanır ve bu film zarar gördüğü takdirde hızla kendini yenilemektedir. Alüminyumun kullanım alanlarının bu denli kapsamlı olmasının nedeni, aktif bir metal olmasına karşın yüzeyinde kolaylıkla oluşan bu koruyucu oksit filmidir. Bu oksit filmin önemli özelliklerinden biri metalik alüminyuma göre hacminin daha fazla olması ve koruyucu bir nitelikte olmasıdır [68].



Şekil 4.13. Anodik oksit yapısı [71].

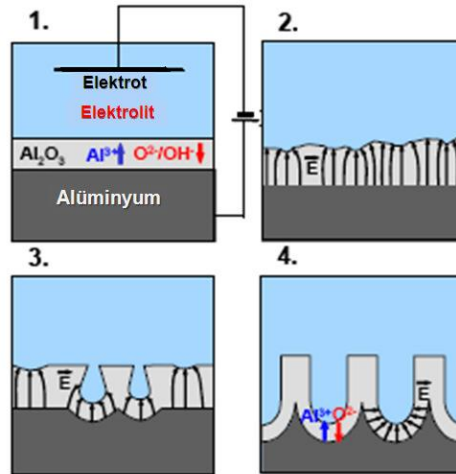
Alüminyum anot olarak kullanıldığında ve elektrotlar arasına gerilim uygulandığında, anotta oksijen salınımı meydana gelir. Salınan oksijen anodu kaplar çünkü bu koşullar altında en kolay enerji salınma iz yolu, oksijenin serbest bırakılmasıdır. Böylece alüminyum oksit (Al_2O_3) yapısı meydana gelir ve bu işleme anodizasyon denir. Anodizasyon, alüminyumun metalik görünüşünün korunduğu tek yüzey işlemidir. Bu reaksiyon sonunda oluşan poröz oksit karakteri, elektrolit tipine, uygulanan gerilimin şiddetine, anodizasyon banyosunun sıcaklığına, işlem süresine ve reaksiyona giren ürünlerin tipine göre farklılıklar göstermektedir [72]. Şekil 4.17.'de bir alüminyum numunesinden alınmış SEM görüntülerinde anodik oksit yapısını görmek mümkündür.



Şekil 4.14. Anodik oksit yapısının SEM görüntüsü; (a) 3500X büyütme (b) 40000X büyütme [68].

Bir elektrolitte film oluşumu; yüksek anodizasyon akım yoğunluklarıyla, düşük elektrolit sıcaklıklarıyla ve düşük asit konsantrasyonlarıyla artarken filmin çözünmesi de düşük akım yoğunluklarında, yüksek asit konsantrasyonlarında ve yüksek anodizasyon sıcaklıklarında artmaktadır.

Anodizasyon reaksiyonu ile ilgili çok önemli bir unsur vardır. Bu da anodizasyonun dış yüzeyde değil, alüminyum ile alüminyum oksit arayüzeyinde, dolayısıyla içeriden büyüyerek gerçekleştiğidir [68]. Şekil 4.18.'de gözeneklerin oluşması dört basamak halinde gösterilmektedir.



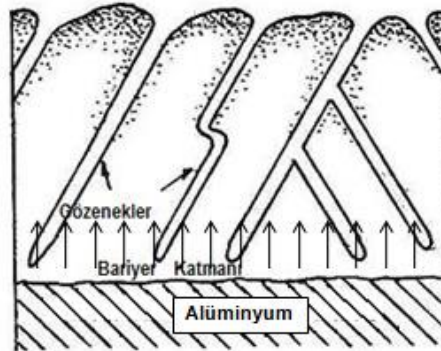
Şekil 4.15. Gözeneklerin oluşumu [68].

1 numaralı bölgede alüminyum elektrolitle karşılaşıncaya elektrolit/alüminyum arayüzeyinde koruyucu katman meydana gelmektedir. 2 numaralı bölge yüzey

dalgalanmaları nedeniyle ortaya çıkan sınırlı alan dağılımlarını göstermektedir. 3 numaralı bölgede sıcaklık veya alan etkisiyle çözünmeler sonucunda gözenek oluşumu olmaktadır. 4 numaralı bölgede ise kararlı gözenek büyümesi olmaktadır.

Bu durumlar göz önünde tutulduğunda, filmin en dış katmanının tüm anodizasyon süresi boyunca elektrolit ile temas halinde olduğundan, filmin çözünmesini yüksek oranda arttırmanın, anodizasyon işlemi sonunda filme zarar vereceğini de unutmamak gerekir. Şekil 4.19.'da gözeneklerin idealize edilmiş görünüşleri şematik olarak gösterilmektedir. Okların yönü, anodizasyonun ilerleme yönünü göstermektedir.

Gözenek boyutu genelde anodizasyon voltajına bağlıdır ve tipik olarak 1 nm/volt mertebesindedir. Değişik elektrolitlerin kullanımı 10-250 nm çapında gözenek elde etmeyi mümkün kılmaktadır. 10^2 - $10^5/m^2$ düzeyinde gözenek yoğunluğu elde edilebilir ve 100 μm 'a erişen kalınlıkta anodik kaplamalar üretilebilmektedir [68].



Şekil 4.16. Gözeneklerin gelişmesi [68].

Ayrıca alüminyum, anodik filmin şekillenmesi için çözünmekte ve bu nedenle alüminyum parçacığın kalınlığı azalmaktadır. Ancak bu azalma daha hacimli yapıda olan oksit tarafından karşılanmakta ve anodizasyon sonunda parçanın boyutları çok az miktarda artmaktadır.

4.3.3. Alüminyum oksit oluşumunu etkileyen parametreler

Potansiyel, eloksal işleminde potansiyelin artışı oksit gözenek sayısının azalmasına neden olur. Bu aynı zamanda kaplamanın sertliğini artırır. Bu durumda meydana gelen ısı enerjisi artar ve fazladan soğutmaya ihtiyaç olur. Ayrıca yüksek voltajda daha donuk bir oksit film elde edilir. Eğer parlak görünüm elde edilmek isteniyorsa, düşük voltajlarda çalışmak gerekmektedir.

Elektrolit tipi ve konsantrasyonu, Mimari ve dekoratif eloksal işleminde sülfürik asit kullanılmaktadır. Tipik bir eloksal banyosunda, 160-170 g/l H₂SO₄ bulunmakta ve 18-20°C arasında 1,5 A/dm² doğru akım uygulanmaktadır. Banyonun konsantrasyonuna, sıcaklığına ve alüminyum bileşimine bağlı olarak voltaj 17-19 V arasında değişmektedir. Tabaka oluşma hızı, dakikada 0,5 mikrondur. Mimari uygulamalarda, istenen eloksal tabakası kalınlığı bina dışında 20-25 mikron, bina içinde 10-15 mikrondur. Elokmal kalınlığı arttıkça, parlak görünüm azalır. Tabaka kalınlığı, kullanım yerine göre seçilmelidir.

Sıcaklık, yüksek sıcaklık oluşan oksit tabakasının yanmasına neden olmaktadır. Bunu dengelemek için elektrolitin konsantrasyonu ve akım yoğunluğunun değiştirilmesi gereklidir. Ayrıca sıcaklık artışını anodik oksidasyona tabi tutulan malzemenin yüzey alanı azaltılarak engellenebilmektedir [73].

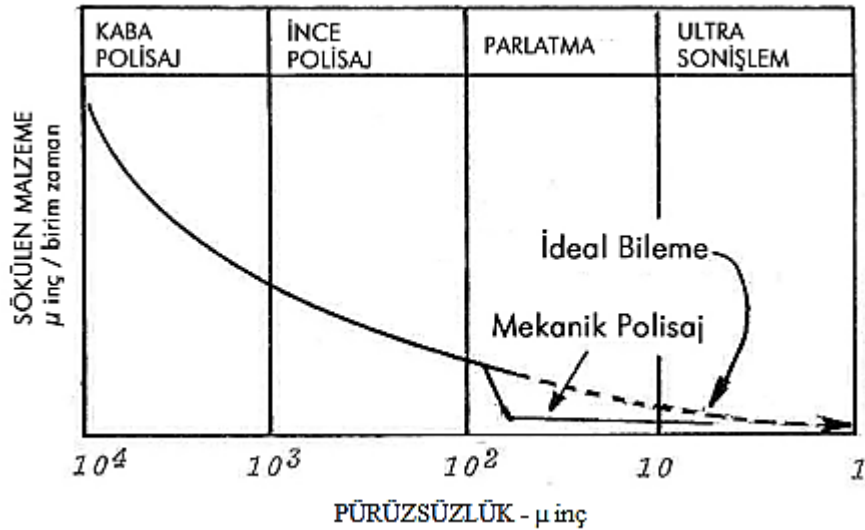
Bunların yanısıra bir de yabancı madde etkisi alüminyum oksit oluşumunu etkilemektedir [74]. L.C. Luo ve arkadaşları uzay araçlarını kaplama amacıyla anodik alüminyum oksit oluşumunu gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla alüminyum sülfürik asit çözeltisinde anodizing işlemine tabi tutmuşlardır. Kaplamanın optik özelliklerinin, film kalınlığına ve çeşitli anodizing işlem basamaklarına (parlatma zamanı, oksidasyon potansiyeli, elektrolit sıcaklığı) bağlı olduğunu belirlemişlerdir. En uygun oksidasyon potansiyelini 10 V; en uygun kaplama sıcaklığını 20°C olarak belirlemişlerdir [75].

W. Bensalah ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada alüminyumun anodizing işleminde, okzalik ve sülfürik asitli ortamda oksit özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Anodizing sıcaklığı, anodik akım yoğunluğu ve elektrolit derişimini değiştirerek oksit oluşumuna etkileri incelenmiştir. En uygun anodizing koşullarının; 10°C sıcaklık ve 2,6 A/dm² anodik akım yoğunluğu, 12,6 g/L okzalik asit + 183,6 g/L sülfürik asit olarak belirlemişlerdir [76].

İntermetalik içeren Al alaşımlarında yüzeyde anodik ve katodik hücreler meydana gelmektedir. Bu yüzden asit banyosunun içine daldırılan alüminyumun yüzeyinde yüzey reaksiyonları beklenmektedir. Bu durum ise alüminyum üzerine daha sonradan yapılacak olan boyama işlemi gibi bir kaplamanın yüzey görüntüsünün bozulmasına veya yapışma özelliğinin azalmasına neden olabilmektedir [77].

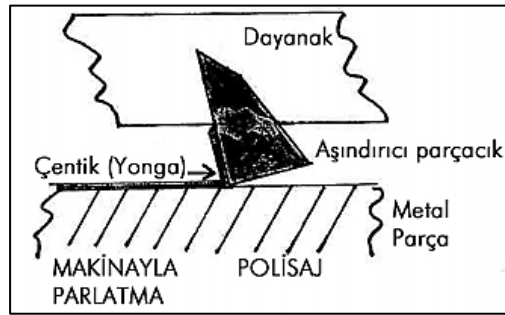
4.4. Polisaj ve Parlatma İşlemi

Çıplak gözle görünemeyen küçük çizgiler kalıncaya kadar malzeme yüzeyinin aşındırıcı tozlarla çizilmesi polisaj olarak adlandırılmaktadır. Çizilme işlemi tekerleklere yapıştırılmış aşındırıcı parçalarla sağlanmaktadır. Günümüzde polisaj işlemi için şeritler kullanılmaktadır. Şeritler yüzeyden bir miktar malzemeyi aşındırarak almaktadır.



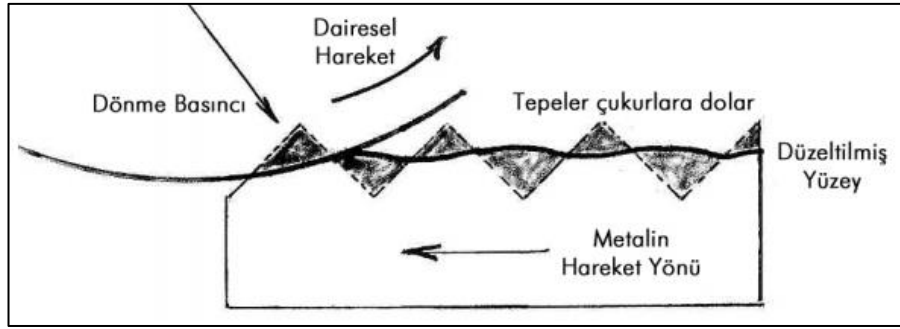
Şekil 4.17. Polisaj eğrisi.

Parlatma ise polisajlanmış yüzeyi ayna parlaklığı seviyesinde görünüme ve düzgünlüğe getirme işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Çok iyi aşındırıcıyla kaplanmış esnek tekerlerin uyguladığı ısı ve basınçla parlatma yapılmaktadır. Parlatma işleminde aşındırıcı toz bulunmamaktadır. Tekere sadece cila sürülmektedir. Yağlı keçeden gelen malzeme ilk önce cila ile işlenmektedir ve burada parça yüzey çiziklerinden arındırılmaktadır. Daha sonra parlatma cilası ile yüzey ayna parlaklığına getirilmektedir.



Şekil 4.18. Parlatma makinası ve polisaj

Bazı metaller mat bir yüzeye sahipse sürtünme ve/veya basınç köşeleri yeniden yapılandırarak etkiye sahip olmaktadır. Sürtünme ısı ve basıncı yüzeyi yavaşça almaktadır. Böylelikle köşelerin konturları değişmektedir. Metalin yüzeyine yapılan dış etkiyle yeni yüzey pürüzlülüğü oluşmaktadır. Kullanılan ince kum köreldiğinde basınç yüksek uygulanmaktadır. Bir çizgi veya köşe teması yerine yüzey ya da alan teması olmaktadır. Yüzey ve altındaki tabakalar hasar görmektedir. Sıcaklığın 1000°C'ye kadar yükseldiği polisaj işlemi sırasında yüzeyde kısmen oksitlenme oluşabilmektedir. Burada çizgisel temas veya kenar teması yerine yüzeysel temas söz konusu olmaktadır. Zarar gören bu yüzey tabakasında yağlayıcı maddelerin varlığına, kristal yapı değişimine (örneğin bazı çeliklerde ısınmayla oluşan yumuşama) ve mikroskobik çatlamalara rastlanmaktadır. Toplam pürüzlülük ve kusurluluğu öğrenebilmek için toplam ortalama pürüzlülük miktarını (mikron mertebesinde) ölçmek gerekmektedir.



Şekil 4.19. Metal yüzeyinin polisajla düzeltilmesi.

Şekil 4.22.'de görüldüğü gibi, polisaj tekerinin baskısı ve oluşan yüksek ısı sayesinde (yer yer 1000°C'ye ulaşır) metaldeki tepeler plastiki bir akışla çukurları doldurmaktadır. Buna göre bir metalin polisajı yapılarak çukurları doldurmak suretiyle mümkün olan en pürüzsüz yüzeyi elde etmek imkânı olsa bile, tepe ve çukurlar arasında fazla fark olmaması istenen bir durumdur. Vadi ve tepeler muntazam değilse oluşan yüzey güzel bir yansıtma verecek şekilde düzelmemektedir.

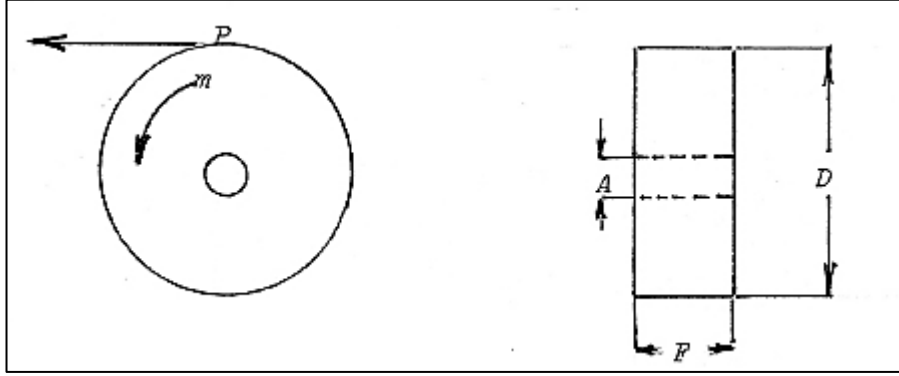
Kristal yapısı dalgalı ve kırıntılı olan yüzey tabakasında yağ ve atık birikmekte, mikroçatlaklar ve yüzey altı oksitlenmesi meydana gelmektedir. Bunlar kaplamada pul pul dökülmeye, kabarmaya ve çatlamalara sebebiyet vermektedir.

Verilen enerjinin, % 3-12'si metal yüzeyinde gerilme enerjisi olarak depolanmaktadır. Bu imalatta, parçalanmada ve polisajda da geçerli olmaktadır. Metal yüzeyinde depolanmış gerilme enerjisinin miktarı ne kadar artarsa kaplamanın zorlukla karşılaşma ihtimali de o derece artmaktadır. Kaplama zorluklarını minimuma indirmek için, tüm polisaj işlemlerinde yüksek basınç, çok sert tekerlek, yüksek sıcaklık ve çok yüksek hızda kesmelerden kaçınılmalıdır [78].

4.4.1. Polisaja etki eden faktörler

Bu faktörler; yüzey hızı, kullanılan aşındırıcı tipleri, tekerleğin malzeme yapısı, bağlayıcı malzemenin yapısı ve yağlama olmak üzere beş madde şeklinde incelenmektedir.

Yüzey hızı: Şekil 4.23.'te gösterildiği gibi polisajda, polisaj keçesinin üzeri aşındırıcılarla kaplanmaktadır. Bu keseler disk şeklinde olmaktadır. Daha hızlı dönen bir keçede temas daha çok olacağından dolayı metal yüzeyin çizilmesi de artacaktır.



Şekil 4.20. Tekerin terminolojisi

Yukarıdaki şekilde;

m: Dakikada devir sayısı

P noktası: Tekerin üzerinde yer almaktadır. ($\pi \cdot D \cdot m$ ft/dak.) çizgisel yüzey hızıyla hareket etmektedir.

F: Yüz veya genişlik

D: Teker çapı

A: Keçe deliğinin çapını ifade etmektedir.

Keçenin çevresi çapının 3,14 katıdır ($\pi \times D$). Eğer teker dakikada "m" kez dönüyorsa, $(3,14) \cdot (D) \cdot (m)$ eşitliğine göre dakikada taranan yüzey hesaplanabilmektedir. Bu tekerin doğrusal yüzey hızı olarak da adlandırılabilir.

Polisaj ve parlatmada kullanılan teker hızları 915 ile 3050 m/dakika (300 ile 10.000 ft/dakika) arasında değişmektedir. En çok kullanılan polisaj ise 1830 ile 2450 m/dak. (6000 ile 8000 ft/dak.) arası, parlatma yani fırça işlemi için ise 2750 ile 3050 mt/dak. (9000 ile 10.000 ft/dak.) arası değişmektedir. Daha düşük hızlardaki kullanımlar ise çizmek ve tel fırça işlemleridir.

Yüzey hızı düşerse, aşındırma işlemi zayıflar ve teker üzerinde aşındırıcı tozların ayrılma ihtimali artar. Diğer bir yandan teker hızı artınca çıkan ısı da artar. Isının da metal yüzeyine yan etkisi ve aşındırıcı tozları tutan yapıştırıcıya, hele bu yapıştırıcı zank veya tutkal türünden ise yan etkisi olmaktadır.

Kullanılan aşındırıcı tipleri: Sürekli kesme yeteneğini kontrol edebilecek şekil ve formda, sertlikteki aşındırıcıların çeşitleri teker üzerindeki aşındırıcı miktarını etkilemektedir. Çoğu metal polisajında alüminyum oksit tanecikleri kullanılmaktadır. Bu alüminyum oksit kumları zımpara olarak adlandırılmaktadır. Doğal zımparalarda alüminyum oksit, silikon dioksit ve demir oksit bulunmaktadır. Bu aşındırıcının MOHS sertlik değeri 9'dur. Bu değer alüminyum oksidin bir formu olan safirin sertliği ile aynı olmaktadır.

Tekerleğin malzeme yapısı: Tekerin üzerinde aşındırıcı tutma ve verme özelliği ile teker malzemesinin ve yapısının ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Teker ne kadar sert ise o kadar hızlı kesecektir. Sisal fırça veya mopla 220 numara kullanılarak elde edilen polisajla 320 numara şeritle elde edilen polisajın görünümü aynı olmaktadır. Genellikle teker malzemesi pirinç olarak seçilmektedir. Metal yüzeyinde daha fazla hız oluşturma sisal görünümünden kaynaklanmaktadır.

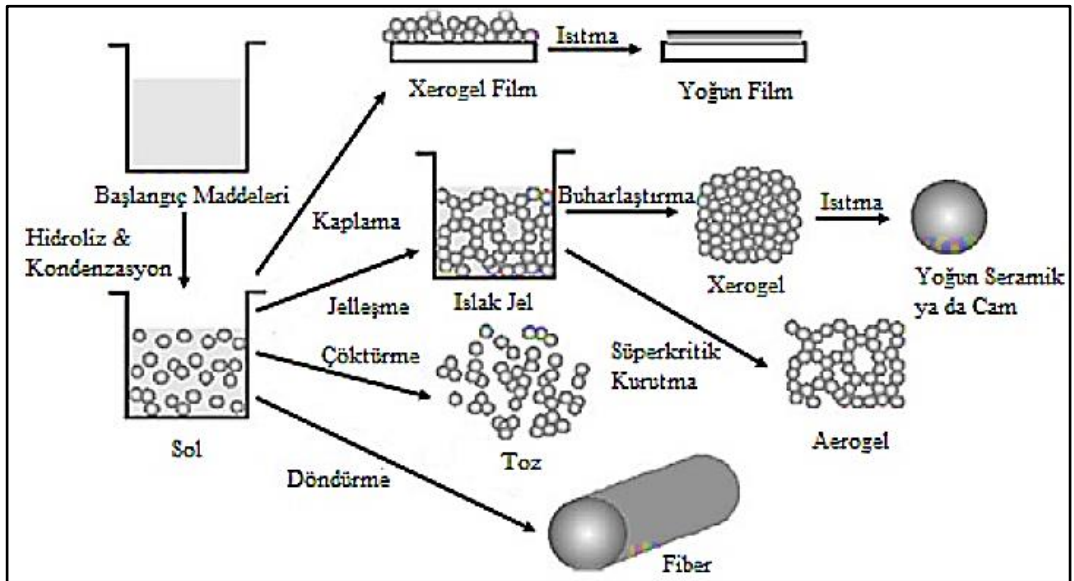
Bağlayıcı malzemenin yapısı: Polisaj keçe hazırlanmasında iki bağlayıcı etmen olarak kullanılmaktadır. Biri doğal zamktır. Diğeri ise silikat yapıştırıcıdır. Silikat yapıştırıcılar daha serttirler. Dolayısıyla aşındırıcılar keçe üzerine daha iyi tutundukları için kesici özellikleri daha fazladır. Bunun yanında zank kullanılarak yapılan keçelerden aşındırıcıların kurtulması çok daha kolay olduğu için kesme hızları da düşük olmaktadır.

Yağlama: Polisajda yağlama çok önemli olmaktadır. Yağlama ile aşındırıcıların sıcaklığı düşürülmekte ve keçe soğutulmuş olmaktadır. Yağlama oluşabilecek zararlar için bir çeşit güvenlik kalkanı görevi yapmakta ve daha yavaş kesme sağlamaktadır [78].

BÖLÜM 5. SOL-JEL YÖNTEMİ İLE KAPLAMA İŞLEMİ

5.1. Sol-jel Teknolojisi

Sol-jel yöntemi; cam, seramik, metal ve plastik malzemelerin kaplanarak yüzey özelliklerini iyileştirmek; optik, elektronik, kimyasal ve mekanik gibi yeni özellikler kazandırmak amacıyla uygulanan bir kaplama tekniği olmaktadır [79]. Bu teknik, bir sıvı faz içinde bulunan katı taneciklerden oluşan kolloidal süspansiyonların (sol) ve sonrasında sürekli bir sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşmasını içermektedir. Homojen bir sol oluşturmak için başlangıç malzemelerinin hidrolizi, jel ağı oluşturmak için sol'un yoğunlaşması ve sistemdeki çözücülerin uzaklaştırılması tekniğin temel aşamalarıdır. Genellikle sol-jel işleminde sistem sıvı fazdan katı faza geçiş yapmaktadır [80].



Şekil 5.1. Çeşitli sol-jel türevli ürünlerin şematik gösterimi [79].

Sol-jel prosesini diğer yöntemlerden üstün kılan birçok avantajı bulunmaktadır. Saf maddelerin sıvı çözeltileri kullanılmaktadır. Böylelikle homojenleşmenin moleküler seviyede sağlanması başarılmaktadır. Başlangıç maddelerinin basitçe saflaştırılmasından sonra, ürün büyük bir saflıkta elde edilebilmektedir. Düşük sıcaklığın kullanılması, yüksek sıcaklıkta buharlaşmadan doğacak kayıpları önlemektedir. Böylece meydana gelebilecek faz değişimlerini ortadan kaldırarak normalde hazırlanamayan seramiklerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Çalışma prosesi için basit kaplar ve ortam için atmosferik şartlar yeterli olabilmektedir. Düşük sıcaklık uygulaması dolayısı ile organik moleküller ya da boyar maddeler kolaylıkla oksit jel ağına sokulabilmektedirler. Kullanılan organik grup jelleşmeden sonra değişmeden kaldığı için, metal organik biriminin modifikasyonu sonucu eşsiz, çok yeni polimerleri verebilmektedir. Sollerin viskozitelerinin düşük olması ince kaplama filmlerinin hazırlanmasını oldukça kolaylaştırmaktadır. Sol-jel prosesinde, jelleşme derecesinin polimerleşme derecesine oranı kontrol edilerek malzemelerde yoğunluk, kırılma indisi, sertlik, esneklik, sıkıştırılabilirlik derecesi, aşınmaya karşı direnç ve kopma eğilimi tasarlanan şekilde değişikliğe uğratabilmektedir [79].

Sol-jel yönteminin pek çok avantajının yanında dezavantajları da vardır. Özellikle büyük taşıyıcılar için çok miktarda çözelti gerekmektedir. Çözelti pahalı ise veya sabit çözelti değilse bu yöntem elverişli değildir. Malzeme maliyeti fazla olmaktadır. Filmlerde karbon çökeltisi kalmaktadır. Kullanılan malzeme sağlığa zararlı olabilmektedir. İşlem sırasında malzeme kaybı fazla olmaktadır [80].

5.2. Sol-jel kaplama işlem aşamaları

Sol-jel işlem süreci; Aktivasyon → Filtreleme → Yüzey Hazırlama → Uygulama gibi adımları içermektedir.

Dolgu malzemelerinin çökme eğilimi nedeniyle aktivasyon öncesinde bileşenler iyice karıştırılmaktadır. Düzgün bir şekilde karıştırıldıktan sonra bileşen bir karıştırma tankında önceden belirlenen bir süre boyunca belirli oranlarda kombine edilmektedir. Karıştırma sırasında kimyasal reaksiyon karışımının sıcaklığının

artmasına neden olmaktadır. Bütün kaplamalarda olduğu gibi uygulama öncesinde karışım ürününün filtrelenmesi gerekmektedir.

Sol-jel kaplamalarda kullanılan en uygun yüzeyler alüminyum ve paslanmaz çelik olmaktadır. Bu teknolojinin karbon çelik ve dökme demir üzerinde kullanımı için özel astarlar geliştirilmektedir. Yüzey hazırlığı bütün kaplamalar için çok önemli olmaktadır ve yapışmayı sağlamak için doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. İlk olarak, kumlama ve diğer yöntemler her zaman yağın tamamını yok etmediği için yüzeyde yağ kalmayacak şekilde altlık malzemeler temizlenmelidir. Malzemelerde yağ artığının kalması yapışmayı engelleyebilmektedir.

Sol-jel ile kaplanan altlıkların çoğunun yüzeyine basınçlı hava ile kum püskürtme uygulanmaktadır ve bu da yüzeyi pürüzlendirerek kaplamanın tutunması için daha fazla “diş” oluşmasını sağlamaktadır. Yüzey hazırlığının doğru yapılmamış olması performans sorunlarının yaşanmasına neden olabilmektedir. Yüzeyin fazla pürüzsüz olması hem yapışmayı hem de mekanik performansı olumsuz etkileyebilmektedir. Yüzeyin fazla pürüzlü olması ise kaplamanın yüzey profilinin içine girerek kuru, pürüzlü bir nihai yüzey oluşumuna yol açabilmektedir.

Sol-jel kaplamalarda azami etkinliği sağlamak için aktive edilen ve filtrelenen kaplamanın belirli bir zamanda uygulanması gerekmektedir. Kaplamalar konvansiyonel püskürtme ekipmanı ile uygulanmakta ve doğru performansı elde etmek için uygulanması gereken bir kuru film kalınlığı mevcut olmaktadır [81].

5.3. Püskürtme yöntemiyle sol-jel kaplamanın uygulanması

Püskürtme yöntemiyle sol-jel kaplama çözeltisinin basınçlı şekilde nozülünden püskürtülmesiyle atomizasyona benzer şekilde ince damlacıklar üretilmektedir. Üretilen damlacıklar bir altlık yüzeyine püskürtülmek suretiyle kaplama yapılmaktadır. Altlık yüzeyi sıcak ya da soğuk olabilmektedir. Altlık yüzeyine ulaşan sıvı damlacıklarının yüksek reaktiviteleri nedeniyle sürekli bir film oluşmaktadır. Oluşan film çözücünün buharlaşması ile kurumaya başlar ve son olarak ısı

parçalanma ile kaplama elde edilmektedir [79]. Bu tür kaplama işleminde altlık yüzeyine kaplanan film sıvı damlacıklar olarak değil de nanometre boyutlarındaki kuru tanecikler şeklinde kaplama gerçekleşmektedir. Kaplama işleminin hızı yaklaşık 1 m/dak'dır. Kalınlığın her zaman homojen olamaması, yani kaplanan film boyunca kalınlığın filmin her yerinde farklı olması ve tekrarlanabilir kalınlık problemleri gibi dezavantajları da vardır. Bu nedenle kullanımı kısıtlanabilmektedir [80].

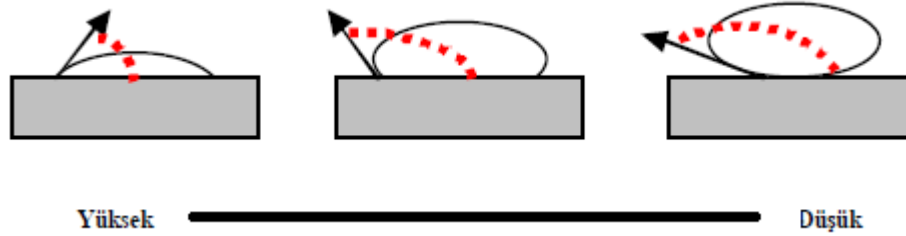
5.4. Granit Kaplama

Püskürtme granit kaplama malzemesi doğal granit parçacıkları içeren, akrilik reçine esaslı bağlayıcı, su bazlı bir kaplama malzemesidir. Rengini tamamen doğal granit parçacıklardan almaktadır. Uygulama yapılacak yüzeye göre seçilen özel astar malzemesi ile beton yüzeylerde, sıvanmış yüzeylerde, plaka üzerinde, ahşap ve metal yüzeylerde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Püskürtme granit kaplama sağlam ve zarif bir görüntüye sahip olmaktadır. Aşınmaya karşı dayanıklı çok sert bir yüzey oluşturmaktadır. İçerisinde doğal granit parçacıkları olduğundan renk solmasına karşı mükemmel direnç göstermektedir. Son kat olarak uygulanan şeffaf koruyucu tabaka ile hava şartlarına karşı mükemmel direnç göstermektedir. Belli bir oranda elastik bir malzeme olduğu için alt uygulama yüzeylerinde oluşabilecek çatlaklar kaplama yüzeyini etkilememektedir. Akrilik reçine esaslı bağlayıcı sebebiyle sıcaklık farklılıklarından dolayı oluşacak büzülme-genleşmeye karşı dayanıklılık göstermektedir. Granit kaplamanın yapışmaz yüzey sağlaması, hızlı ısı transferi, uniform ısı dağılımı, % 40'a kadar enerji tasarrufu sağlaması ve çevre dostu gibi önemli avantajları da bulunmaktadır [82].

5.5. Yüzeylerin Yapışmazlık Özellikleri

Yapışmazlık, ıslatma halinde olan iki yüzeyin birbirleriyle bağlanmama özelliği olarak tanımlanmaktadır. Yapışmazlık kavramını incelerken yüzey enerjisinin ne olduğunu iyi bilmemiz gerekmektedir. Yüzey enerjisi, yüzeye herhangi bir maddenin yapışmasına karşı gösterilen dirençtir. Yapışmazlık, yüzeyin sahip olduğu enerji ile sağlanmaktadır. Yapışmazlığın aksine adhezyon ise iki farklı malzemenin ara

yüzeylerinin oluşturduğu bağlar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 5.2.'de yüksek enerjili yüzeylerden, düşük enerjili yüzeylere doğru geçişteki bir sıvı damlasının yüzeydeki davranışı gösterilmektedir.



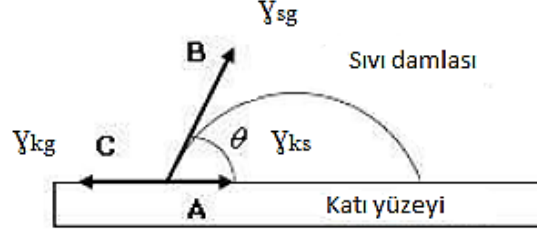
Şekil 5.2. Yüksek enerjili ve düşük enerjili yüzeylerin karşılaştırılması [25].

Poliüretan sünger üretiminde kalıp yüzeylerinin yapışmaz özelliğe sahip olması çok önemlidir. Eğer PU parça kalıptan çıkarıldıktan sonra kalıpta, PU kalıntıları kalırsa üretimde diğer dezavantajların yanı sıra kalıp temizleme işlemi de zorlaşmakta ve bu problem işletmeye ayrı ek bir maliyet getirmektedir [25].

Son yıllarda malzemelerde kaplamaların kullanımı yaygınlaşmaktadır ve bu malzemeleri kullanıldığı yere göre yüzey kaplaması ile şekillendirmek veya özelliklerini belirlemek mümkün olmaktadır. Malzemelerin yüzey özelliklerinden birisi de suya karşı dirençlerinin kullanımınıdır. Malzemelerin veya kaplamaların suya karşı nasıl davrandıkları, yüzey karakterleri, malzemelerin yüzey enerjisine bağlıdır. Yüzey enerjisi, yüzey üzerine damlatılan bir damlanın yüzey ile yaptığı temas açısının bulunması ile hesaplanabilmektedir [83].

Kontak açısı (CA), bir sıvı katı bir yüzeye damlatıldığında, Şekil 5.3.'te gösterildiği gibi, üç faz üzerindeki iki ara yüzey arasında oluşan (Θ) olarak tanımlanır. Bu 3 faz, katı, gaz (genellikle hava) ve sıvıdır. Eğer CA ölçümlerinde sıvı olarak su damlası kullanılırsa, CA değerleri, katı yüzeyin hidrofilik veya hidrofobikliği hakkında bilgi verir. Bir sıvının CA'sı Şekil 5.3.'te gösterilen A ve B vektörleri arasındaki açıdır veya basit olarak sıvı damlasının katı yüzeyine dokunduğu noktadan, sıvı damlasının çizdiği dairenin tanjantıdır. Aşağıdaki şekilde, A vektörü γ_{ks} katı ve sıvı arasındaki

arayüzey gerilimini, B vektörü γ_{sg} sıvı ile gaz (hava) arasındaki arayüzey gerilimi ve C vektörü γ_{kg} ise katı ve gaz (hava) arasındaki arayüz gerilimini göstermektedir [84].

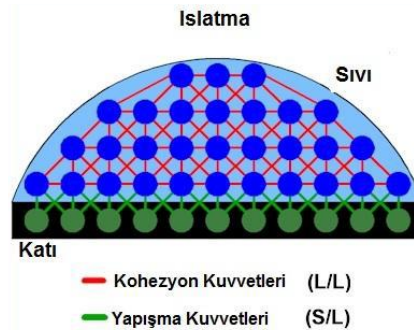


Şekil 5.3. Yüzey serbest enerjisi vektörleri ve temas açısı [82].

Katının bir sıvı tarafından ıslatılmasının niceleyici ölçüsü kontak açısıdır. Uçucu olmayan, düşük viskoziteli (civa gibi sıvı metaller de dâhil olmak üzere) herhangi bir sıvı, kontak açısı ölçümünde kullanılabilir. Θ 'nın küçük bir değere sahip olması sıvı ile katı arasında çok kuvvetli bir etkileşimin varlığını ve hatta sıvının katı üzerinde yayılma eğiliminde olduğunu veya katının yüzeyi iyi ıslattığını göstermektedir. Tam tersi durumda yani Θ büyük bir değere sahip iken ise sıvı ile katı arasındaki etkileşimler ve sıvının katı yüzeyi ıslatabilme özelliği zayıftır. Eğer $\Theta < 90^\circ$ ise sıvı katı yüzeyi ıslatmaktadır (bazen kısmi ıslatma da denir), eğer kontak açısı sıfır ise sıvı katı yüzeyini tamamen ıslatmaktadır. $\Theta > 90^\circ$ olduğu durumlarda ise sıvının katı yüzeyini ıslatmama durumu söz konusudur. Eğer katı düşük enerjili bir yüzeye sahip ise, sıvı-sıvı molekülleri arasındaki etkileşimden daha zayıf bir kuvvetle sıvı moleküllerine saldırır. Böylece, katı yüzeye komşu sıvı molekülleri sıvı yüzeyindeki göre daha zayıf bir kuvvet alanı içerisinde yer alır. Katı sınırında bir gerilim meydana gelmektedir ve sıvı molekülleri tek taraflı kuvvet varlığından dolayı bir dereceye kadar birbirlerinden ayrılmış durumdadır [85].

Bir katı yüzeyi ile temastaki bir sıvı yüzeyi arasında oluşan bu açının büyüklüğü, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) ile sıvı katı arası çekim kuvvetlerinin (adhezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğü, adhezyon kuvvetlerinin büyüklüğünden ne kadar fazla ise, sıvı katı arasındaki kontak açısı da o denli büyük olur. Ayrıca, kontak açısının büyüklüğü, katı yüzeyin düzlüğü ve temizliğinden başka sıvının saflık

derecesine de bağlıdır. Şekil 5.4.'de kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin durumu görülmektedir [86].



Şekil 5.4. Kohezyon ve adezyon kuvvetleri [86].

Sıvı ile katı arasındaki adezyon sadece katının yüzey enerjisine bağlı olmamakta aynı zamanda sıvının yüzey enerjisi büyük bir etken olmaktadır. Örneğin, suyun Al ve teflon kaplanmış yüzeylere damlatılması farklılık arz etmektedir. Su damlası, teflon yüzeyden kayıp giderken, Al yüzeyde dağılıp tüm yüzeyi ıslatmaktadır. Bunun nedeni teflonun daha düşük yüzey enerjisine sahip olması olarak açıklanmaktadır. Tablo 5.1.'de bazı malzemelerin yüzey enerjileri verilmektedir [25].

Tablo 5.1. Bazı malzemelerin yüzey enerjileri [25].

Malzeme	Yüzey Enerjisi (mJ/m ²)
PTFE	18,5
PE	31
PS	34
PP	29
Poliamid	46
Alüminyum	840
Paslanmaz çelik	700

Su damlası kontak açısı 150°'den büyük olan yüzeyler "süperhidrofobik yüzeyler" olarak adlandırılmaktadır. Süperhidrofobik yüzeyler damlanın yüzeyde kendiliğinden yuvarlanabilmesi için küçük kontak açısı karmaşası ve kayma açısına sahip olmalıdır. Bu yüzeyler yapışmama, kirlenmeme ve kendi kendini temizleme gibi

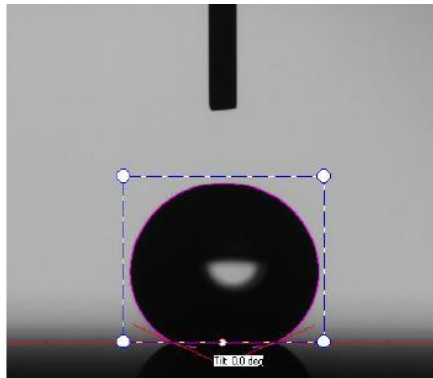
özelliklerinden dolayı son yıllarda önemli ilgi görmektedir ve birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılması beklenmektedir.

Bir yüzeyin süperhidrofobik özellik göstermesi için 2 temel gereksinim vardır; yüzeyin pürüzlü ve yüzey enerjisinin düşük olması. Bu 2 temel gereksinim süperhidrofobik yüzey sentezlenmesi için iki metoda öncülük eder. Birincisi hidrofobik bir materyalden pürüzlü yüzey sentezlenmesi mümkündür. İkincisi ise pürüzlü hidrofilik bir yüzeyin kimyasal olarak modifiye edilmesi veya üzerine hidrofobik bir materyal uygulanmasıdır [87].

5.6. Kontak Açısının Ölçülmesi

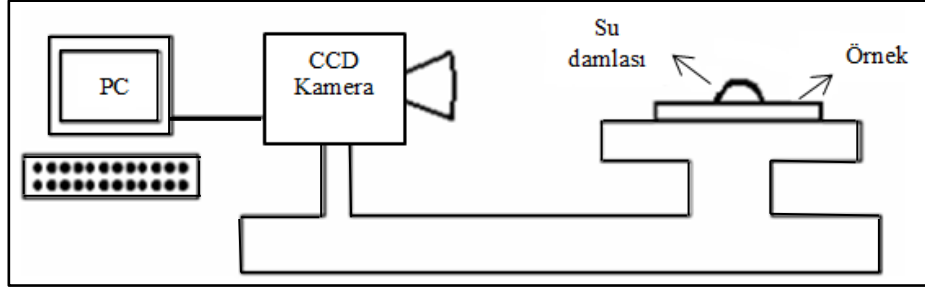
Pürüzsüz düz bir katı yüzey üzerine yerleştirilen damlanın statik kontak açısının bir video kamera veya optik teleskop (gonyometre) kullanarak ölçülmesi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gonyometrik metodun temeli damlanın profilinin saptanmasıdır. Şekil 5.5.'te gösterildiği gibi düz bir katı yüzey üzerindeki durgun bir damlanın temas açısı gonyometre-açıölçer göz merceği bulunan mikroskop kullanarak veya son zamanlarda daha geliştirilmiş uygun büyütme lensi olan, çektiği resimde tanjant değerini belirleyen resim-analiz yazılımı ile bilgisayar kontrollü bir video kamera kullanılarak ölçülebilmektedir.



Şekil 5.5. Gonyometrik metotla katı bir yüzey üzerinde oluşturulan su damlasının profili.

Kontak açılarını ölçmek için kullanılan test düzeneği Şekil 5.6.'da verilmiştir. Deiyonize su damlatılan polimer yüzeyin fotoğrafı CCD kamera kullanılarak çekilmektedir. Kamera çıkışı kontak açısının ölçüm sonucunun alınması için bilgisayara bağlanmaktadır [88].



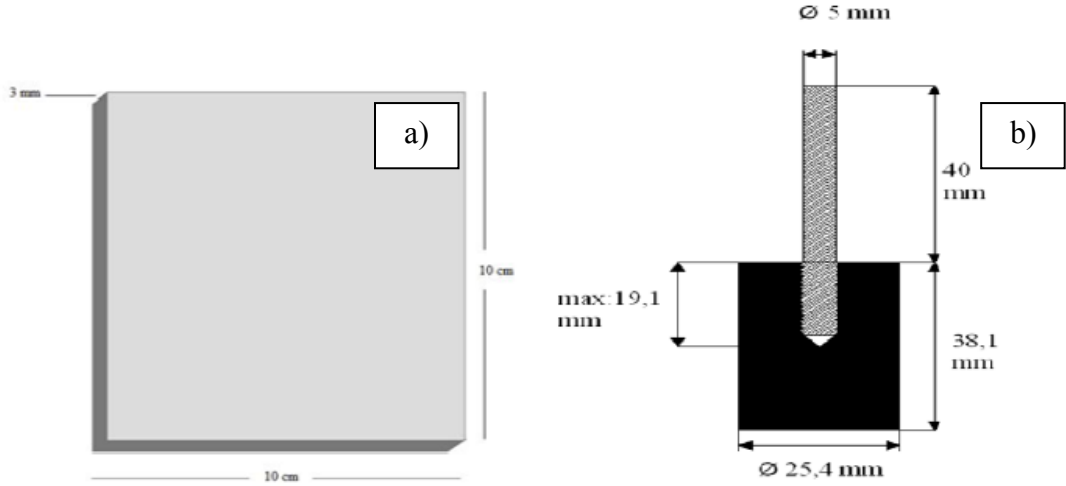
Şekil 5.6. Kontak açısının ölçülmesi için deney düzeneği.

Statik kontak açısı ölçümünün birçok avantajı vardır. Denemeler az miktarda sıvı kullanılarak yapılabilmektedir. Statik kontak açısı ölçüm yöntemleri basit ve kullanışlıdır. Ölçüm almaya yeterli derecede düz olan ve cihaza yerleştirilebilecek şekilde herhangi bir katı ile ölçüm alınabilir. Ancak yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Ölçümlerde tanjant çizgisinin belirlenmesi araştırmacının subjektifliğine ve tutarlılığına bağlı olmaktadır. Bu hatalı ölçüm alınmasına sebep olabilmektedir. Bu problem damla şeklinin bilgisayar kullanılarak analiz edilmesiyle ortadan kaldırılabilir [89].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Altlık Malzemelerinin Üretimi

Altlık malzemesi olarak PU koltuk süngerini üretiminde kullanılan kalıp malzemesi ile aynı özelliklere sahip Etial 171 Alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan Etial 171 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 6.1.'de görülmektedir. Yapılması planlanan deneysel çalışmalar doğrultusunda iki farklı boyut ve şekilde altlık malzemesi hazırlanmıştır. Mikroyapı incelemeleri, kontak açısı ve cross-cut testi için 10x10 cm levhasal, adhezyon testi için 25,4 mm çapındaki silindirik numuneler üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin teknik çizimleri Şekil 6.1.'de verilmektedir.



Şekil 6.1. Hazırlanan numunelerin teknik çizimleri a) levhasal b) silindirik

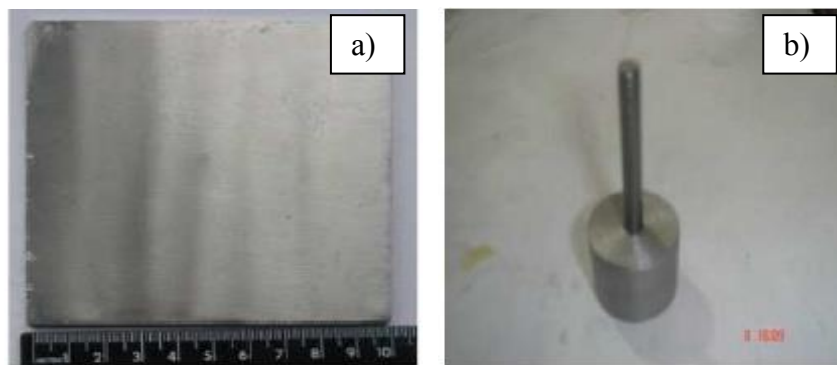
Tablo 6.1. Kullanılan Etial 171 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni
Bileşim (%)	8,192	0,433	0,048	0,3326	0,1425	0,0216	0,0126	0,0263	0,0043
Element	Pb	Sn	Na	Ca	B	Bi	Zr	V	Sr
Bileşim (%)	0,0007	0,0003	0,0017	0,0016	0,0006	0,0007	0,0006	0,0096	0,0002
Element	Sb	Ga	P	Al					
Bileşim (%)	0,0059	0,0103	0,0005	90,77					

PU sünger üretiminde kullanılan Al kalıplar döküm yolu ile üretilmektedir. Altlık malzemelerin, kullanılan kalıplar ile yakın özelliklere sahip olması için aynı yöntem ve üretim şartları seçilmiştir. Öncelikle dökümü yapılacak kalıp ve levha parçaların modelleri hazırlanmıştır.

Çekme ile kaplama adezyonu testi için ASTM C 633 standardına uygun olarak 38,1 mm uzunluğunda ve 25,4 mm çapında silindirik numunelere ihtiyaç duyulmaktadır. Dökme işlemi ile daha geniş çaplı ve uzun tek bir parça üretilmiş ve daha sonra talaş kaldırma yöntemleri kullanılarak gerekli deneysel boyutta numuneler elde edilmiştir.

Altlık malzemelerinin dökümleri tamamlandıktan sonra en son olarak çapak alma işlemi yapılarak altlıkların üretimi tamamlanmıştır. Şekil 6.2.'de altlık malzemelerinin son halleri verilmektedir.



Şekil 6.2. Altlık malzemelerin son halleri a) levhasal, b) silindirik

6.2. Kuşlama İşlemi

Kuşlamada aşındırıcı malzeme olarak silis kumu kullanılmıştır. Bu kum genellikle ince profillerde hafif şiddette kuşlama yapılacağı zaman kullanılmaktadır. Kuşlama işleminde kırık yüzeyle kum kullanılmıştır. Kumun, 8 bar hava basıncı ile metal yüzeylere çarptırılması sırasında kum metal yüzeydeki istenmeyen maddeleri kazıyarak temizlemiştir. Tablo 6.2.'de kuşlama parametreleri verilmiştir.

Tablo 6.2. Kuşlama parametreleri

Aşındırıcı	Aşındırıcı Şekli	Püskürtme Basıncı (bar)	Fırlatma Hızı (m/s)	Mohs Sertliği	Özgöl ağırlık (gr/cm ³)
% 100 Silis kumu	Kırık yüzey	8	80	7	2,65

6.3. Anodizasyon İşlemi

Eloksallama işleminde ASAŞ Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. firmasında yapılmıştır. Tablo 6.3.'te anodizasyon parametreleri verilmiştir.

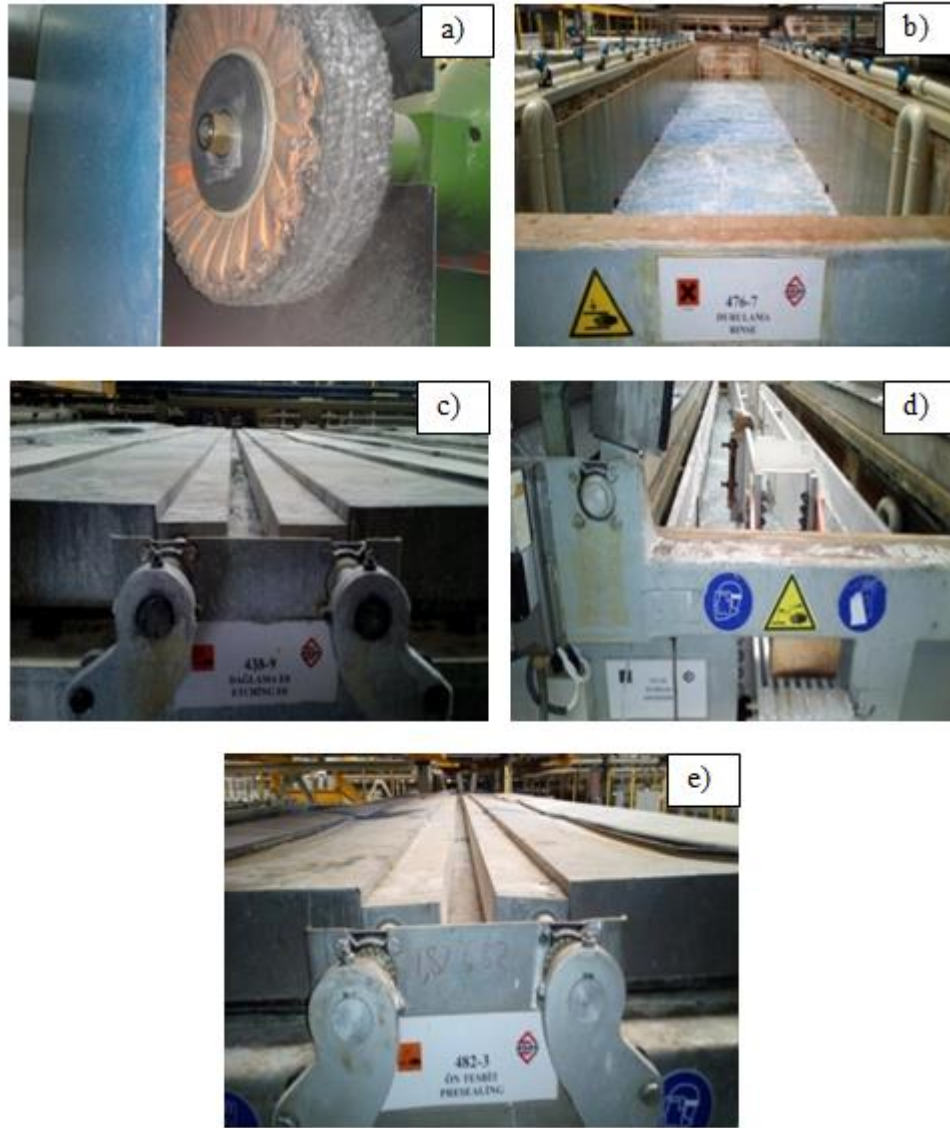
Tablo 6.3. Anodizasyon parametreleri

Akım Türü	Akım Yoğunluğu (A/dm ²)	Gerilim (Volt)	Süre (dakika)	Sıcaklık (°C)	H ₂ SO ₄ oranı (g/lt)	Anot-Katot arası mesafe (cm)
DA	1,5	12-25	20-30	18-22	180-200	25-30

Eloksal çalışmalarında Etial-171 alüminyum alaşımı kullanıldı. Alüminyum profil, eloksallama işlemine tabi tutulmadan önce parlak eloksal elde edilmek istendiğinde polisaj denilen parlatma işleminden geçirilmiştir. Daha sonra alkali bazlı yağ alma olarak adlandırılan temizleme banyosunda üzerinde bulunabilecek kirletenlerin uzaklaştırılması için temizlenmiştir. 55°C NaOH içeren kostik matlaştırma banyosunda 10 dk. tutularak yüzey pürüzsüzleştirme işlemi yapılmıştır. Sıcak durulama banyosundan geçen alüminyum profil eloksal banyosuna alınmadan önce üzerinde kalabilecek alkali etkilerine karşın düşük derişimli sülfürik asit banyosunda

3-4 dk. bekletilmiştir. Eloksal işlemi sırasında profile 180 g/L sülfürik asit içeren banyoda 19°C de 30 dk. boyunca 18 V potansiyel uygulanmıştır. Ön tespit ünitesinde eloksal kalınlığı mikron cinsinden ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda eloksallama kalınlığı istenilen seviyeye geldiğinde sıcak su banyosuna ve kurutma fırınına alınarak eloksal işlemi tamamlanmıştır.

Şekil 6.3.'te ASAŞ Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. firmasında eloksallama işleminde kullanılan ünitelerin işlem sırasına göre görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.3. Eloksallama ünitelerinin işlem sırasına göre görüntüleri, a) polisaj, b) durulama, c) dağlama, d) anodizasyon ve e) ön tespit

Şekil 6.3. (a)'da polisaj işleminde kullanılan motora bağlı olarak çalışan fırça görülmektedir. Polisaj işleminden sonra profiller yağ alma ünitesine gitmektedir ve burada 60-65°C'de deterjanlı su ile yıkanıp temizlenmektedir. Daha sonra profiller durulamaya gitmektedir. Şekil 6.3. (b)'de durulama ünitesi görülmektedir. Burada deterjandan arındırılmaktadır. Şekil 6.3. (c)'de dağlama ünitesi görülmekte ve burada kostik banyosuna daldırılmaktadır. Yüzey dağlandıktan sonra profiller Şekil 6.3. (d)'de görülen eloksal havuzuna daldırılmaktadır ve Tablo 6.3.'te belirtilmiş olan anodizasyon parametrelerine göre eloksallama işlemi gerçekleştirilmektedir. Burada bekleme süresine göre de eloksallama kalınlığı artmaktadır. Şekil 6.3. (e)'de ön tespit ünitesi görülmektedir ve burada eloksal kalınlığı ölçen cihazla mikron cinsinden eloksal kalınlığı ölçülmektedir.

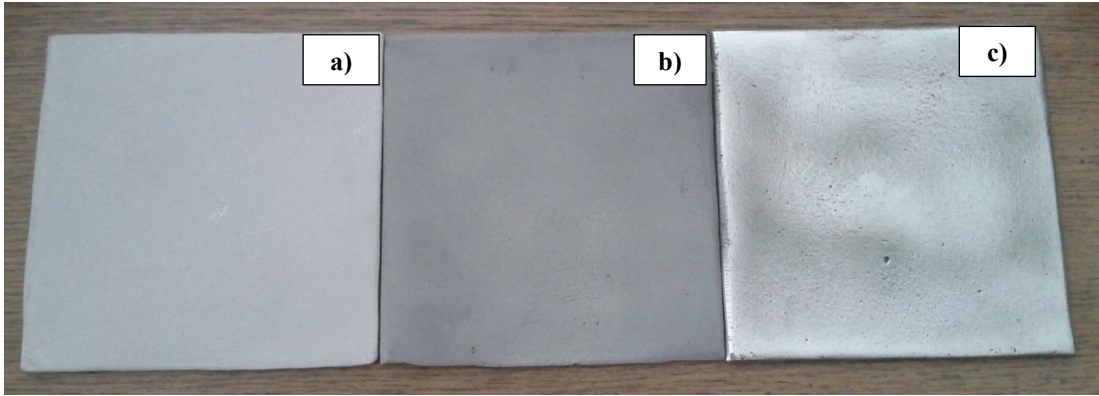
6.4. Parlatma İşlemi

Parlatma işlemi yüzeyi pürüzsüzleştirmek amacıyla yapılmaktadır. Daha önce Şekil 6.3. (a)'da görüldüğü üzere polisaj işleminde motora bağlı olarak çalışan tekerlek şeklinde bir fırça bulunmaktadır. Parlatma işlemine başlanılmadan önce fırçanın yağlanması gerekmektedir. Bu şekilde parlaticı cilasında kullanılan aşındırıcı malzemenin sıcaklığı düşürülerek daha yavaş bir şekilde kesme yapılmaktadır. Polisaj fırçasına cila gibi parlaticı bir malzeme sürülerek yüzey hızı 3000 RPM'ye ayarlanılarak profillerin parlatılması sağlanmaktadır. Parlatma işleminde kullanılan sıvı cilanın bileşimine ait bilgiler Tablo 6.4.'te verilmektedir.

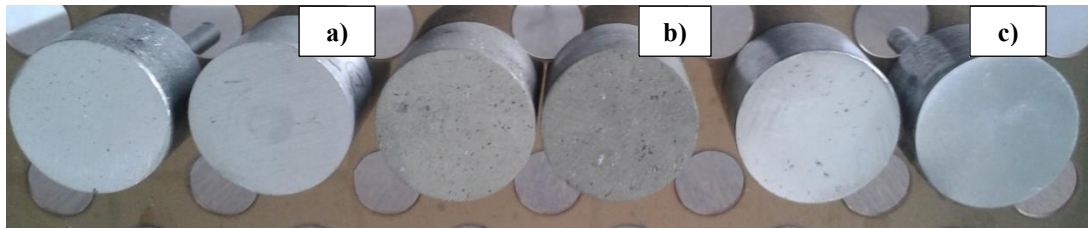
Tablo 6.4. Parlaticı sıvı cilanın bileşimine ait bilgiler

Su	% 40
Alüminyum oksit	% 43
Parafin	% 11
Stearik asit	% 4
Emülgatör	% 2

Aşağıda Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'te sırasıyla kumlama, eloksallama, parlatma yüzey işlemi görmüş levhasal ve silindirik şeklindeki alüminyum altlıklara ait yüzey görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.4. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış levhasal şekilli alüminyum altlık malzemelerine ait yüzey görüntüleri.



Şekil 6.5. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış silindirik şekilli alüminyum altlık malzemelerine ait yüzey görüntüleri.

Şekil 6.4.'de ve Şekil 6.5.'te görüldüğü üzere kumlama işlemi sonrasında alüminyum altlık numunesinin renginde herhangi bir değişiklik söz konusu olmamaktadır. Fakat eloksallama yüzey işlemi sonrasında alüminyum altlık numunesinde oksit tabakasının oluşumundan kaynaklı bir kararma görülmektedir.

6.5. Kaplama İşlemi

6.5.1. Altlık malzemelerin kaplama işlemine hazırlanması

Kaplama tabakasının özelliklerine etki eden parametrelerden biri de yüzey hazırlama işlemidir. Kaplamalarda, altlık-kaplama arasındaki bağlanma türü mekanik olduğu için, yapışma mukavemetini arttırmak amacıyla kaplama öncesi altlık yüzeyinin pürüzlendirilmesi çok önemli bir işlemdir. Altlık-kaplama arasında güçlü bir bağlanma, yüzey üzerindeki nem, yağ ve oksit filmlerinin kaldırılması ve uygun bir yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesiyle sağlanabilir.

Altlık-kaplama arasındaki yüzey pürüzlülüğünün etkisini incelemek amacıyla alüminyum altlık malzemelerine kumlama, eloksallama ve parlatma gibi yüzey işlemleri yapılarak farklı arayüzeyler oluşturulmuştur.

Kaplama işleminden önce alüminyum altlıkların yüzeyinde herhangi bir boya, yağ, pas gibi kirliliklerin uzaklaştırılması için ultrasonik temizleme işlemi yapılmaktadır. Temizleme işlemi etil alkol katkılı su içerisinde 50°C'de 2 dk. boyunca alüminyum altlık numunelerin bekletilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 6.6.'da ultrasonik temizleme için kullanılan cihaz görülmektedir.



Şekil 6.6. Alüminyum altlık malzemelerin temizlenmesinde kullanılan ultrasonik temizleme cihazı.

Ultrasonik temizleme sistemi paslanmaz çelikten oluşan metal bir tank ve bu tankın tabanına veya yanına yapışık piezo seramik dönüştürücüler, ultrasonik üreteç (jeneratör) ve temizleme suyundan oluşmaktadır. Ultrasonik temizleme; sıvı içerisinde oluşan yüksek frekansta milyonlarca vakum enerjisi içeren mikroskobik hava kabarcığının kirli yüzeylere çarparak patlaması sayesinde kireç, pas ve istenmeyen dokuların yüzeyden hızlıca uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır [90].

6.5.2. Kaplama işlemi ve parametreler

Kaplama işlemi ve parametreler başlığı altında ve sonrasında verilmekte olan başlıklarda tüm numuneler için gerçekleştirilen kaplama işlemleri ve deneylerde kullanılan malzemelerden bahsedilmektedir.

6.5.3. Deneylerde kullanılan malzemeler

Bütün kimyasallar alındığı şekilde kullanılmıştır. 37,04 g/mol molekül ağırlığına sahip Amonyum Florür (NH_4F) tuzu Merck firmasından temin edilmiştir. % 28 NH_3 içeren Amonyum Hidroksit (NH_4OH) Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir. 208,33 gr/mol molekül ağırlığına sahip % 98 saflıkta TEOS Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. 46,07 gr/mol molekül ağırlığına sahip Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) Merck firmasından temin edilmiştir. 136,22 gr/mol molekül ağırlığına sahip % 98 saflıkta MTMS Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. 90,12 gr/mol molekül ağırlığına sahip % 99,5 saflıkta 1-metoksi-2-propanol Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Ağırlıkça % 60'lık PTFE sulu çözeltisi Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir. % 100 saflıkta asetik asit Merck firmasından temin edilmiştir. % 65 saflıkta nitrik asit Merck firmasından temin edilmiştir. Merck firmasından temin edilmiş % 38-40 saflıkta Hidroflorik asit (HF) kullanılmıştır. 1 μm partikül boyutuna sahip PTFE tozu Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. 40-50 nm partikül boyutuna sahip % 99,5 saflıkta Al_2O_3 tozu Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir. 10-20 nm partikül boyutuna sahip % 99,5 saflıkta SiO_2 Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir. Saf su çözeltilerin hazırlanması için kullanılmıştır.

Tablo 6.5. Tüm kaplama bileşimleri için deneylerde kullanılan malzemeler

Birinci Bileşim	İkinci Bileşim	Üçüncü Bileşim	Dördüncü Bileşim
Amonyum Florür	TEOS	TEOS	TEOS
Amonyum Hidroksit	MTMS	Ethanol	Ethanol
TEOS	1-metoksi-2-propanol	Nitrik asit	Hidroflorik asit
Ethanol	PTFE sulu çözeltisi	Saf su	PTFE tozu
Saf su	Asetik asit	$Al_2O_{3(n)}/SiO_{2(n)}$	Saf su
$Al_2O_{3(n)}/SiO_{2(n)}$	Saf su		$Al_2O_{3(n)}/SiO_{2(n)}$
	$Al_2O_{3(n)}/SiO_{2(n)}$		

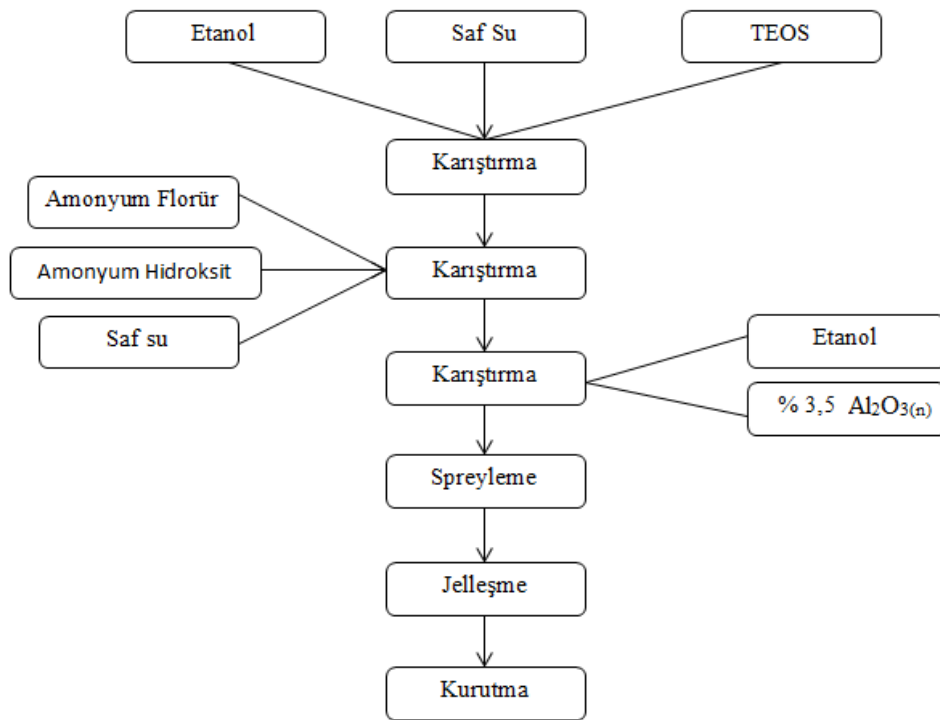
Granit görümlü polimer esaslı kaplamanın üretiminde kaplama malzemesi olarak püskürtülebilen granit kullanılmıştır. Granit kaplamada Pfluoon firmasının aşağıda Tablo 6.6.'da belirtilen ticari ürün kodlu numuneleri temin edilmiştir.

Tablo 6.6. Granit görümlü kaplama malzemesi için temin edilen Pfluoon firmasının ticari ürün kodları

Malzeme	Ürün kodu
Astar	W8636F-7887881P
Son kat	W8636F-7881F
Siyah noktalar	W8903S-9016

6.5.4. Nano Al_2O_3 ve SiO_2 katkılı birinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların üretimi

Şekil 6.7.'de birinci bileşime sahip nano $Al_2O_{3(n)}$ toz katkılı polimer esaslı sol-jel kaplamaya ait üretim aşaması şematik olarak gösterilmektedir.

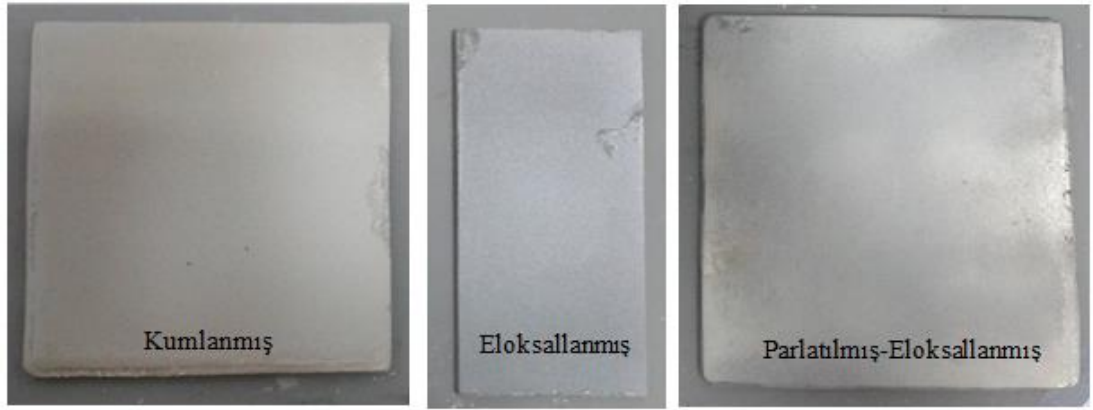


Şekil 6.7. Birinci bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer esaslı sol-jel kaplamaya ait üretimin şematik gösterimi.

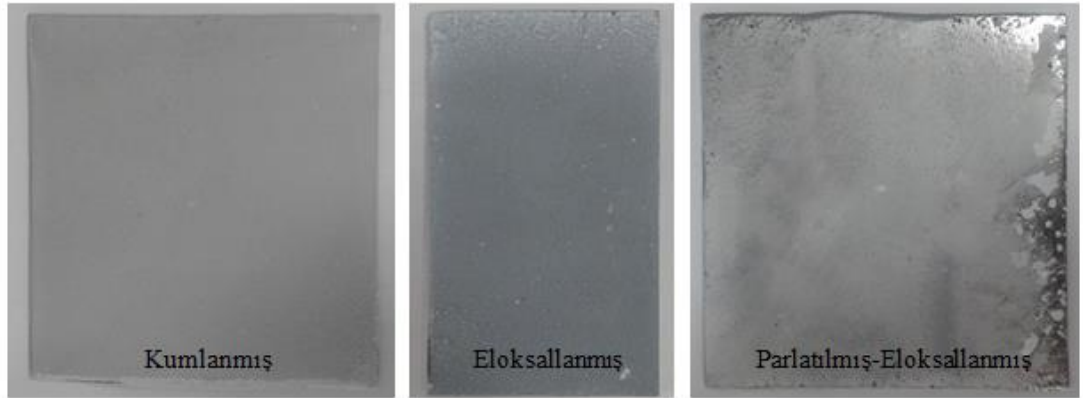
Şekil 6.7.'den da görüldüğü üzere ilk olarak; TEOS, etanol ve saf suyun hacim oranları sırasıyla 1:3:1 olacak şekilde hazırlanmıştır. Homojen bir karışımı sağlamak için manyetik karıştırıcıda 30 dk. boyunca karıştırılmıştır. Bu karışım Çözelti 1 olarak adlandırılmaktadır. Daha sonra stok çözeltisi olarak kullanılan Çözelti 2 hazırlanmıştır. Amonyum hidroksit ve saf suyun hacim oranları 1:4 olacak şekilde ayarlanmış ve içerisine bir miktar amonyum florür ilave edilerek manyetik karıştırıcıda 15 dk. boyunca karıştırılmıştır. Çözelti 1 içerisine ilave edilecek olan nano toz (Al_2O_3 ve SiO_2) katkıların etanol içerisinde karıştırılması sağlanmıştır. Homojen dağılımın gerçekleşebilmesi ve nano tozların çözelti içerisinde askıda kalabilmesi için 1 saat boyunca ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Etanol ve nano toz karışımı daha sonra Çözelti 1 içerisine ilave edilmektedir. Yeni oluşan bu çözelti içerisine 10 damla kadar hazırlanmış olan stok çözeltisi (Çözelti 2) damlatılmıştır. Hazırlanmış son kaplama çözeltisi sprej kaplama yöntemiyle yüzeyi temizlenmiş olan altlık malzemeye uygulanmış ve jelleşme görülmüştür. Kaplanmış olan altlık malzemeler 100°C 'ye ısıtılmış etüv fırına konularak bu sıcaklıkta 30 dk. bekletilmiş

ve daha sonra sıcaklık 350°C'ye ayarlanarak bu sıcaklıkta 15 dk. boyunca kürleştirilmesi sağlanmıştır.

Aşağıda Şekil 6.8. ve Şekil 6.9.'da sırasıyla farklı yüzey işlemi g rmuş alüminyum altlıklardaki % 3,5 nano Al₂O₃ ve SiO₂ toz katkılı birinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.8. %3,5 nano Al₂O₃ toz katkılı birinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.



Şekil 6.9. % 3,5 nano SiO₂ toz katkılı birinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.

6.5.5. Nano Al₂O₃ ve SiO₂ katkılı ikinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların  retimi

Kaplama c zeltisinin hazırlanması sırasında ilk olarak MTMS, TEOS, asetik asit ve saf suyun mol oranları sırasıyla 1:0,04:0,34:1,59 Şeklinde ayarlanmıştır. Mol oranları ve c zelti hesaplamaları yapılırken; kullanılan malzemelerin saflığı da dikkate

alınmıştır. Bir beherde MTMS ve TEOS çözeltisinin miktarsal olarak hesaplaması yapıldıktan sonra manyetik karıştırıcıda 6 saat boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanmış çözeltinin görünüşü berraktır. Diğer başka bir beherde ise, kullanılan nano toz (Al_2O_3 veya SiO_2), 1-metoksi-2-propanol, asetik asit ve saf su homojen olarak karışımının sağlanması ve nano tozların askıda kalabilmesi için ultrasonik karıştırıcıda 6 saat boyunca karıştırılmıştır. En son olarak ise çözeltiye % 60'lık PTFE sulu çözeltisi ile birlikte diğer beherde hazırlanmış olan MTMS-TEOS karışımı eklenmiş ve homojen görünüm elde edilene kadar ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır.

Hazırlanmış olan kaplama çözeltisi yüzeyi temizlenmiş alüminyum altlıklara sprey kaplama yöntemiyle püskürtülmüştür. Daha sonra kaplanmış olan bu altlıklar; ilk olarak etüv fırında $100^{\circ}C$ sıcaklıkta 30 dk. bekletilerek daha sonra sıcaklık $350^{\circ}C$ 'ye çıkartılmış ve bu sıcaklıkta 15 dk. bekletilmiştir.

Şekil 6.10.'da ve Şekil 6.11.'de ikinci bileşime sahip SiO_2 nano toz katkılı polimer esaslı kaplamanın ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması ve püskürtülmesine ait görüntüler verilmektedir. Tüm kaplama bileşimleri içinde aynı karıştırma ve püskürtme olayları geçerlidir.

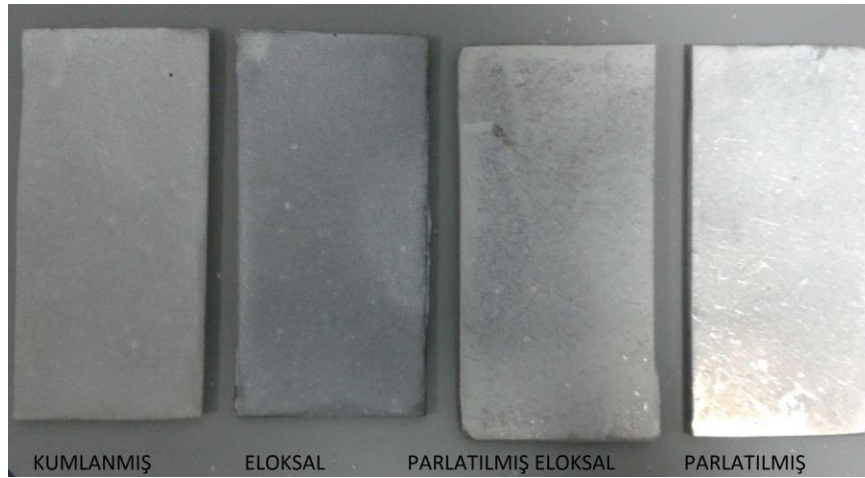


Şekil 6.10. Nano SiO_2 toz katkılı ikinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamanın ultrasonik karıştırıcıdaki görüntüsü.

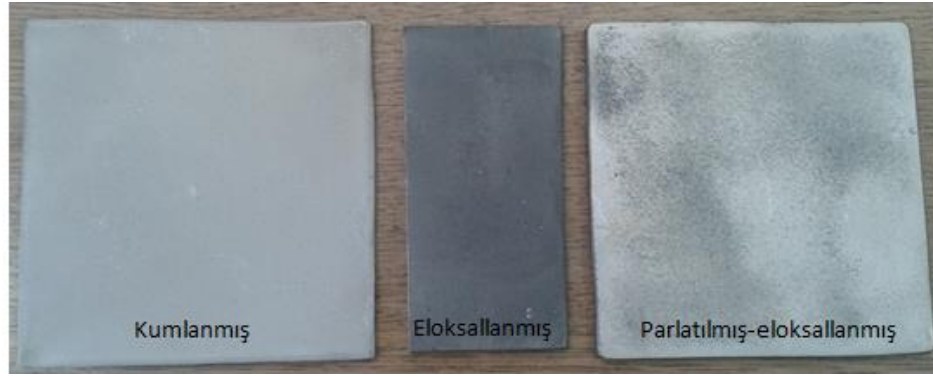


Şekil 6.11. Nano SiO₂ toz katkıli ikinci bileşime sahip polimer esaslı kaplamanın püskürtülmesine ait görüntü.

Şekil 6.12. ve Şekil 6.13.'te sırasıyla farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklardaki % 3,5 nano Al₂O₃ ve SiO₂ toz katkıli ikinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.12. % 3,5 nano Al₂O₃ toz katkıli ikinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.

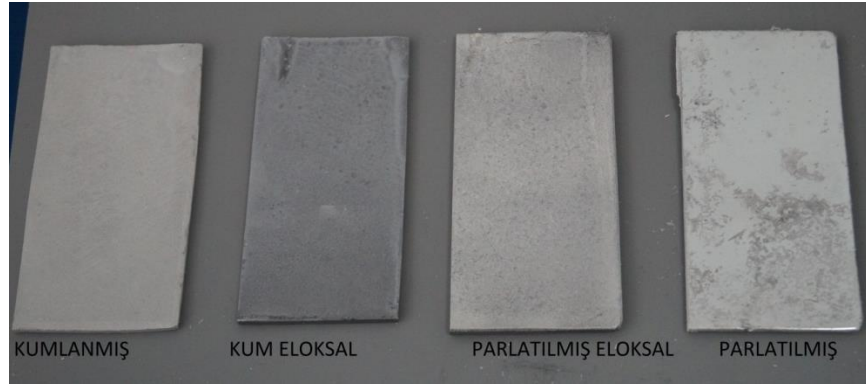


Şekil 6.13. % 3,5 nano SiO₂ toz katkıli ikinci bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.

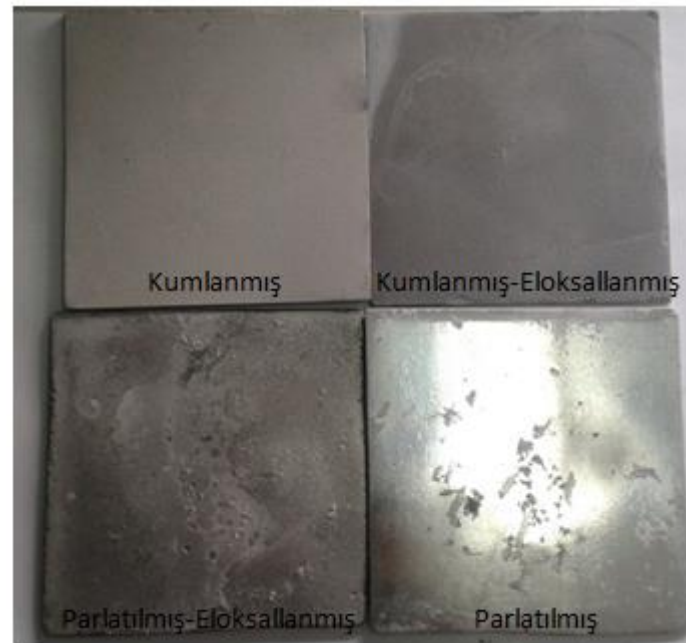
6.5.6. Nano Al₂O₃ ve SiO₂ katkıli üçüncü bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların üretimi

Bu bileşime sahip polimer esaslı kaplama çözeltisinin hazırlanması sırasında ilk olarak TEOS, etanol, nitrik asit ve saf suyun çözeltide kullanılması gereken miktarları ağırlıkça hesaplanmıştır. Daha sonra % 3,5 oranında Al₂O₃ veya SiO₂ nano toz ile birlikte TEOS, etanol ve saf su bir beher içerisinde ultrasonik karıştırıcıda 6 saat boyunca karıştırılmıştır. Karışımın homojen bir şekilde karışması sağlandıktan sonra karışıma nitrik asit ilave edilerek kaplama çözeltisi hazırlanmıştır. Kaplama çözeltisi yüzeyi temizlenmiş alüminyum altlıklara sprey kaplama yöntemiyle uygulanmıştır. Kaplanmış olan altlık malzemeler 100°C'ye ısıtılmış etüv fırına konularak bu sıcaklıkta 30 dk. bekletilmiş ve daha sonra sıcaklık 300°C'ye ayarlanarak bu sıcaklıkta 15 dk. boyunca kürleştirilmesi sağlanmıştır.

Şekil 6.14. ve Şekil 6.15.'te sırasıyla farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklardaki % 3,5 nano Al₂O₃ ve SiO₂ toz katkıli üçüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.14. % 3,5 nano Al_2O_3 toz katkılı üçüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.



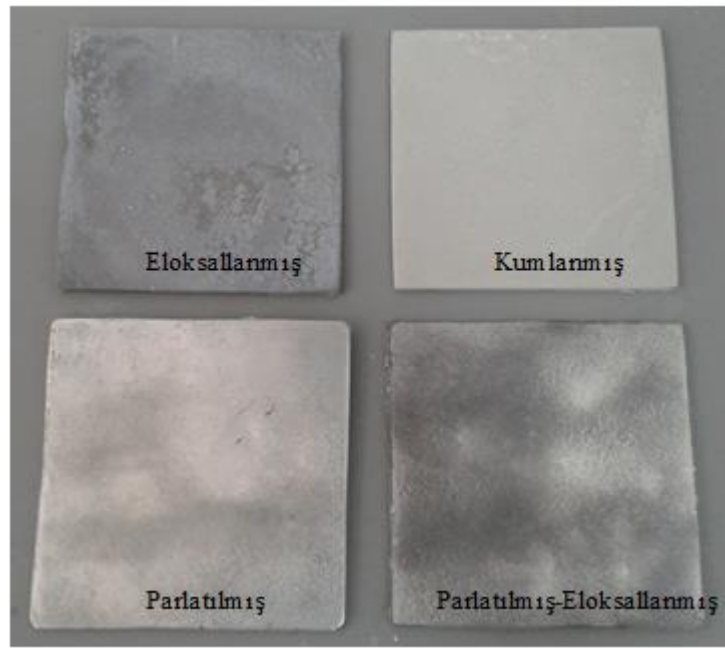
Şekil 6.15. % 3,5 nano SiO_2 toz katkılı üçüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.

6.5.7. Nano Al_2O_3 ve SiO_2 katkılı dördüncü bileşime sahip polimer esaslı kaplamaların üretimi

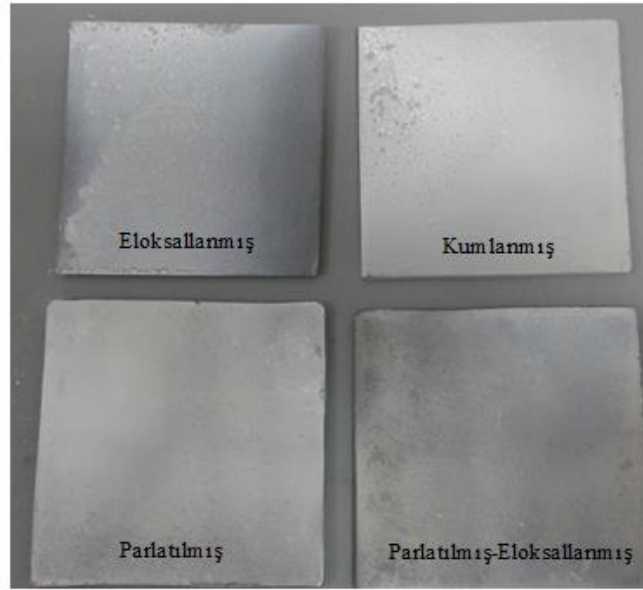
Kaplama çözeltisinin hazırlanması sırasında ilk olarak TEOS, saf su, PTFE tozunun kaplama çözeltisinde kullanılacak miktarları ağırlıkça hesaplanmıştır. Daha sonra % 3,5 oranında Al_2O_3 ve SiO_2 nano tozu ile birlikte TEOS, PTFE ve Saf su bir beher içerisinde ultrasonik karıştırıcıda 2 saat boyunca karıştırılmıştır. Karışımın homojen bir şekilde karışması sağlandıktan sonra karışıma etanol ilave edilmiştir ve yeni karışım ultrasonik karıştırıcıda 30 dk. boyunca karıştırılmıştır. Son olarak kaplama

çözeltisine HF ilave edilerek çözelti 2 dk. süresince ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Kaplama çözeltisi püskürtülmeden önce altlıklar, ultrasonik banyoda kostik çözeltisi içerisinde 5 dakika boyunca yüzey temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Kaplama çözeltisi alüminyum altlıklara spreycaplama yöntemiyle püskürtülmüştür. Kaplanmış olan altlık malzemeler 100°C'ye ısıtılmış etüv fırına konularak bu sıcaklıkta 30 dk. bekletilmiş ve daha sonra sıcaklık 350°C'ye ayarlanarak bu sıcaklıkta 15 dk. boyunca kürleştirilmesi sağlanmıştır.

Şekil 6.16. ve Şekil 6.17.'de sırasıyla farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklardaki % 3,5 nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkıli dördüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.16. % 3,5 nano Al_2O_3 toz katkıli dördüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.



Şekil 6.17. % 3,5 nano SiO₂ toz katkılı dördüncü bileşime sahip kaplamanın yüzey görüntüleri.

6.5.8. Granit görünümlü polimer esaslı kaplamaların üretimi

Kaplama malzemesi astarlı, solvent olarak çok katlı şekilde farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlık malzemelerine uygulanmıştır. Kaplama malzemeleri püskürtülmeden önce altlıkların yüzey pürüzlülük değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer yüzey pürüzlülüğü değeri kaplamanın uygulanabilmesi için yeterli olmadığında; tane boyutları 40-60-80 mesh arasında değişen Al₂O₃ kum ile kumlama yapılmaktadır. Kumlama işleminden sonraki pürüzlülük değerlerinin 5-20 mikron arasında olması gerekmektedir.

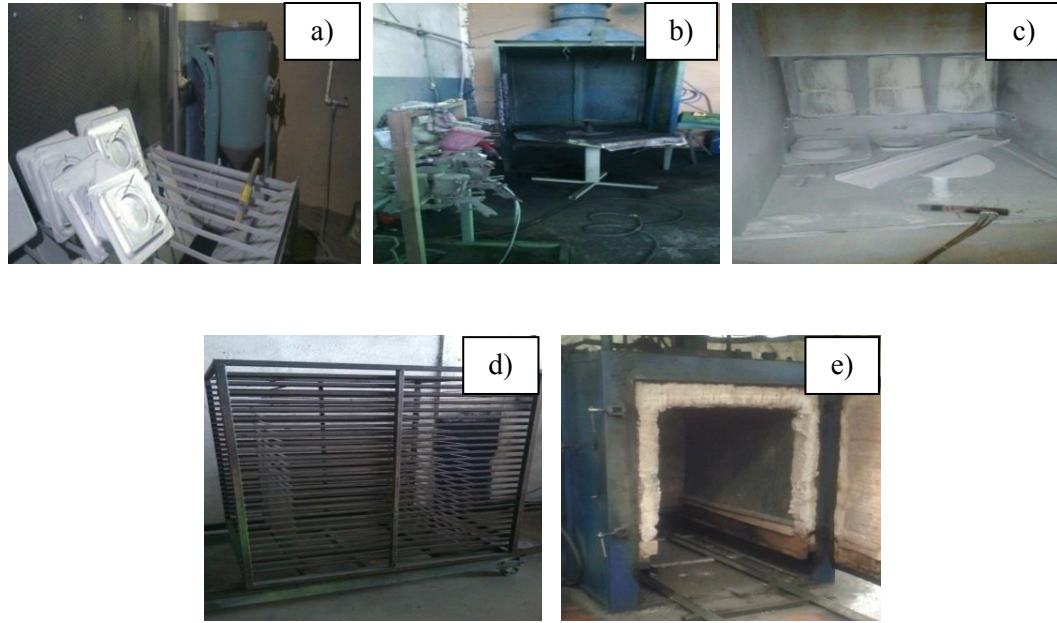
Granit kaplama; farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlık malzemelerine astar + son kat şeklinde uygulanmıştır. Kullanılan astar malzemesi solvent halindedir ve sprey yöntemi ile uygulanmıştır. Tablo 6.7.'de granit görünümlü polimer esaslı kaplamanın püskürtülmesinde kullanılan işlem parametreleri verilmektedir.

Tablo 6.7. Granit kaplamanın püskürtülmesinde kullanılan işlem parametreleri

Basınç	1,5 bar
Tabanca mesafesi	30 cm
Nozzle çapı	1,6 mm

Astarlama işleminden sonra 120°C'de 20 dk. elektrikli fırında kurutularak kaplamanın son katı püskürtülmüştür. Kaplamaya son kat atıldıktan sonra siyah noktalar püskürtülmüştür. Daha sonra granit kaplama 400-430°C arasında 10 dk. boyunca bekletilerek kürleştirilmesi sağlanmıştır. Fırının bu sıcaklığa gelebilmesi için 4 saat ısıtılması gerekmiştir.

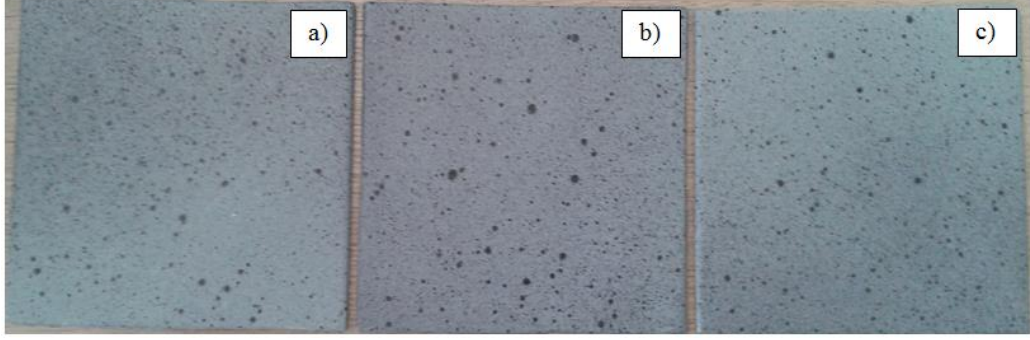
Kaplama ünitelerine ait bölümler işlem sırasına göre Şekil 6.18.'de verilmektedir.



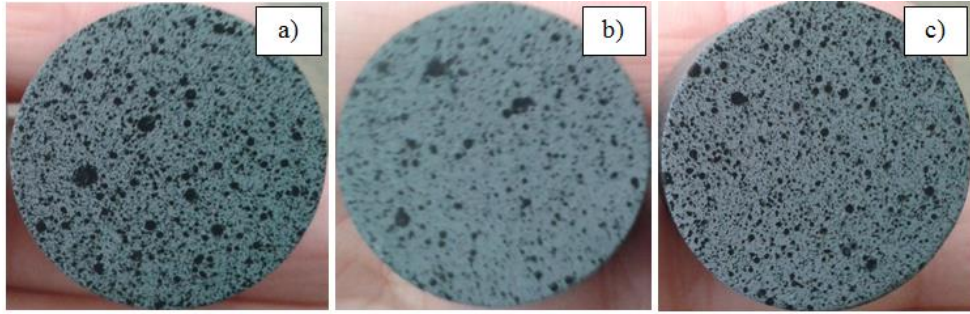
Şekil 6.18. Kaplama ünitelerinin işlem sırasına göre görüntüleri, a) kumlama, b) astarlama, c) ara katların atılması, d) fırınlama için askılama ve e) küreleme fırını.

Şekil 6.18.'de a, b, c, d ve e'deki görüntüler incelendiğinde sırasıyla kumlama ünitesi, astarlamının yapıldığı kısım, ara katların püskürtüldüğü bölüm, fırınlama için askılama tezgâhı ve küreleme fırını görülmektedir. Altlığın yüzey pürüzlülüğü değeri kaplamanın uygulanabilmesi için yeterli ise kumlamaya gerek duyulmamaktadır. Küreleme fırınında ilk olarak elektrik enerjisi ile rezistanslar ısınmaktadır daha sonra malzemenin üzerine sıcaklık gitmektedir. Bu olay devir daimle devam etmektedir. Küreleme sıcaklığı malzemeye göre 2 saatten 5 saate kadar değişebilmektedir.

Şekil 6.19. ve Şekil 6.20.'de sırasıyla farklı yüzey işlemi görmüş levhasal ve silindirik şekilli alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış olan granit kaplamanın görüntüsü verilmektedir.



Şekil 6.19. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış levhasal şekilli alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış olan granit kaplamanın görüntüsü.



Şekil 6.20. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış silindirik şekilli alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış olan granit kaplamanın görüntüsü.

6.6. Yapılan Karakterizasyon İncelemeleri

Altlık malzemelerine uygulanan yüzey işlemlerinin ve üretilen kaplamanın karakterizasyon çalışmaları çerçevesinde;

1. Eloksal tabakasının ve kaplama kalınlığının ölçülmesi,
2. Kaplama yüzeylerinin görsel olarak incelenmesi
3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü,
4. Optik mikroskop incelemeleri,
5. Kontak açısı tespiti (altlık malzemeler ve orijinal kaplamalar)
6. Cross-cut incelemeleri
7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)
8. AFM incelemeleri
9. Kaplama adezyonu ve ölçümü
10. XRD analizi

6.6.1. Kalınlık ölçümü

Kalınlık ölçmek için EBAN 4000N model cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz demir dışı metallerin kalınlığının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Üretilen numunelerin 5 farklı bölgesinden kaplama kalınlığı ölçümü yapılmıştır ve daha sonra bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 6.21.'de kullanılan kalınlık ölçüm cihazı verilmektedir.



Şekil 6.21. Kullanılan kalınlık ölçüm cihazı.

6.6.2. Yüzey pürüzlülüğü

Kaplama öncesi kumlanmış, eloksallanmış ve parlatılmış yüzeylerin ve kaplama sonrası granit kaplı yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra), TR 200 TIME marka cihaz kullanılarak μm cinsinden ölçülmüştür. Şekil 6.22.'de kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı verilmektedir.



Şekil 6.22. Kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı.

Malzeme yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hataları kaplama görünümüne etki etmektedir. Oluşan pürüzlülük, kaplama kalınlığı, kaplama yapısı ve görünümünü etkilemekte, malzeme yüzeyindeki girinti ve çıkıntılar kaplama sonrası belirgin hale gelmektedir. Pürüzlülük arttıkça kaplama kalınlığı artmaktadır [91]. Tüm kaplama işlemleri için işlemin yapılacağı yüzeyin belirli bir pürüzlülüğe sahip olması gerekmektedir. Bunun temel amacı kaplamanın tutunacağı yüzey alanını artırarak sağlam bir kaplama tabakasına sahip olmaktır. Fakat gereğinden fazla pürüzlülük de istenmeyen bir durumdur. Çünkü yüzeyi kapatmak için gereken boya miktarı artmaktadır [59].

Yüzey pürüzlülüğü yüzeye uygulanan işlemin türü ve niteliğine göre işlem sonrası elde edilen pürüzlülük değerleri, geniş bir aralıkta değişmektedir. Özellikle kumlama işleminde kullanılan kumun tane boyutu, tane şekli ve püskürtme basıncı, asitle dağlamada asit bileşim ve sıcaklığı gibi temel parametreler, ortalama yüzey pürüzlülüğünü geniş bir aralıkta değiştirmektedir [92].

6.6.3. Optik mikroskop incelemeleri

Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlık numunelerin ve hazırlanan kaplamaların metalografik incelemeleri Huvitz HDS-5800 marka bir üç boyutlu optik

mikroskop yardımıyla gerçekleştirilmiş ve metalografik inceleme ile kaplamanın yapısı, pürüzlülüğü ve porozitesi hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Şekil 6.23'te kullanılan üç boyutlu optik mikroskop verilmektedir.



Şekil 6.23. Kullanılan üç boyutlu optik mikroskop cihazı.

6.6.4. SEM incelemeleri

Üretilen kaplamaların yüzey ve arayüzey görüntüleri JEOL JSM-6060LV marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Üretilen kaplamanın iç yapısına, kaplama kalınlığına ve elementel analizine bu cihaz ile ulaşılmıştır. Şekil 6.24.'de kullanılan SEM cihazı verilmektedir.



Şekil 6.24. Kullanılan SEM cihazı.

6.6.5. AFM ölçümleri

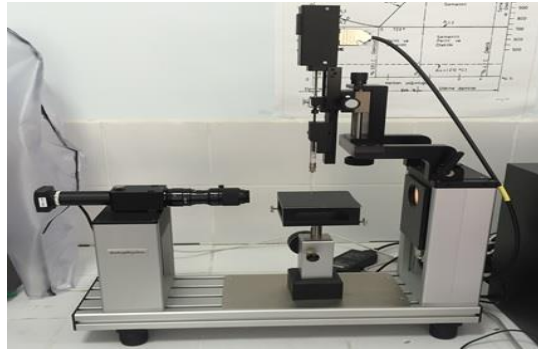
Atomik kuvvet mikroskobu, hassas nano boyutlu bir C-C iğnenin yüzeyi taramasıyla, yüzeyin yüksek çözünürlüklü üç boyutlu görüntüsünü vermektedir. Analiz ile üç boyutlu yüzey görüntüsü elde edilmiş ve kaplamanın yüzey topografyası görüntülenmiştir. Ölçümlerde non-contact cantilever kullanılmıştır. Şekil 6.25.'te ölçümlerde kullanılan Quesant marka AFM cihazı verilmektedir.



Şekil 6.25. Kullanılan AFM cihazı.

6.6.6. Kontak açısı tespiti

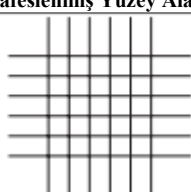
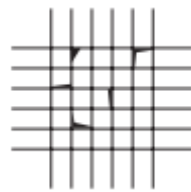

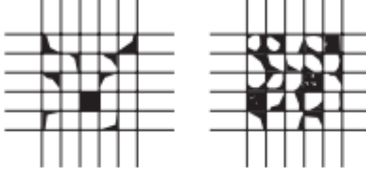
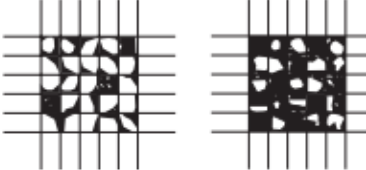
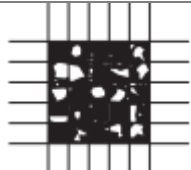
Kontak açısı ölçümleri DataPhysics marka cihazda 5 μ l saf su kullanılarak kaplamaların 5 farklı bölgesinden ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Numune olarak 100x100 mm boyutunda olan kaplanmış ve kaplanmamış levhasal alüminyum altlık numuneleri kullanılmıştır. Şekil 6.26.'da kontak açısı ölçümü yapılan cihaz gösterilmektedir.



Şekil 6.26. Kontak açısı ölçümü yapılan cihaz.

Kesici yüzü aşağıya bakacak şekilde cihaz sıkıca tutulmaktadır. Alet test edilecek boyalı yüzey üzerinde kaplamayı kesecek şekilde çekilmektedir. 45 veya 90°'lik açılı ikinci çapraz kesik ile (+) veya çarpı (x) şekli oluşmaktadır. Test edilen bölgeye yapışkan bant yapıştırılıp kaldırılmaktadır. Test bölgesinin görünüşü, test sonuçlarını sınıflandırmak amacıyla incelenmektedir. Test sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan Cross-cut sınıflandırma rehberi Tablo 6.8.'de verilmektedir.

Tablo 6.8. Cross-cut sınıflandırma rehberi.

Sınıf (ASTM)	Boya Dökülmüş Alan	Kopmanın Gerçekleştiği Kafeslenmiş Yüzey Alanı	Açıklama
5B	% 0		Bıçağın kestiği yerler tümüyle düzgündür. Kafesin karelerinden hiçbiri çıkmamıştır.
4B	% 5'den az		Karelerin kesişme yerlerinde küçük film parçacıkları çıkmıştır. Alanın yaklaşık % 5'lik bir kısmı etkilenmiştir.
3B	% 5-15		Boya parçacıkları, kesim kenarları ve kesişme yerleri boyunca zeminden ayrılmıştır. Kafes alanının yaklaşık % 15'lik bölümü etkilenmiştir.
2B	% 15-35		Boya parçacıkları, kare kenarları boyunca ve bazı karelerin tamamından dökülmüştür. Kafes alanının yaklaşık % 15-35'lik bölümü etkilenmiştir.
1B	% 35-65		Boya parçacıkları, kare kenarları boyunca şerit halinde çıkmıştır. Bütün kareler çıkmış ya da çıkmaya eğilimindedir. Kafes alanının yaklaşık % 35-65'i etkilenmiştir.
0B	% 65'den fazla		Boya dökülmesi ve filmin etkilenmesi bir öncekinden çok daha kötüdür. % 65'den daha büyük bir bölümü etkilenmiş ve yüzeyden çıkmıştır.

Diğer taraftan, kaplama filmiyle uygulama yüzeyi arasındaki yapışma kuvvetinin nicel (kantitatif) olarak belirlendiği “Çekme Testleri” de uygulanmaktadır.

6.6.8. Kaplama adezyonu ve ölçülmesi

Teknoloji alanında birçok yeni ve farklı uygulamalarda yüzey kaplama teknolojilerinin kullanılması ile komponentlerdeki yüzey özelliklerinin değişmesi kabiliyetini sağlamıştır. Birçok uygulamada kabul edilebilir performans, kaplanmış olan bir parçanın çevresel çalışma şartlarında kaplama adezyonunun ölçülmesi çok önemlidir ve birçok uygulamayla bu ölçümleri yapılmaktadır.

Kaplama yapışma mukavemeti ölçümü testlerinden biri çekme testidir. Bu test normal çekme testinde yapılmaktadır. Bu nicel test, kaplamanın ayrılması için gerekli gücü ölçmektedir. Yapıştırılmadan önce numunelere Henkel marka LOCTITE SF-7063 ile yüzey temizleme işlemi yapılmıştır. Kaplanmış numune üzerine yapıştırıcı sürülerek sıkıştırılmıştır. Çekme deneyinde kullanılan silindirik numunelerin alın yüzeyleri kaplanmış. Diğer silindirik numunelerin alın yüzeylerine kaplama yapılmamıştır. İki numune birbirine Henkel marka LOCTITE 407 yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı malzemelerin kurumması için numuneler 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra numuneler çekme cihazına konularak yük uygulanmıştır. Deney sonucunda yapıştırıcı koparsa adezyon kuvveti yüksek demektir ve koptuğu yük değeri kritik değer alınarak servis şartlarına sokulmaktadır. Kopan taraf kaplamada ise kaplama yapışma mukavemetinin düşük olduğunu ve kopmanın meydana geldiği yük altında kullanılması gerektiğini göstermektedir.

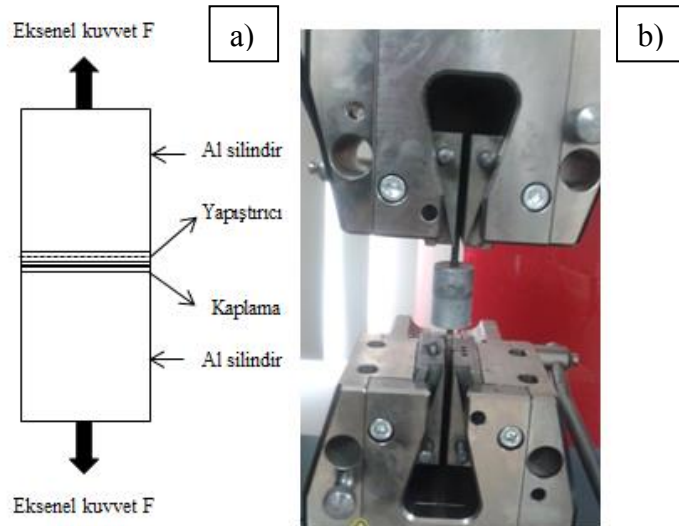
Kaplama/altlık yapışma mukavemeti ölçümü ASTM C633 çekme testlerine göre yapılmıştır. Yapışma mukavemet deneyi 25,4 mm çapında hazırlanan ve yüzeyleri kaplanmış Şekil 6.28.'de görüntüsü verilen silindirik numunelere uygulanmıştır.



Şekil 6.28. Yapışma mukavemeti deneyinde kullanılan granit görünümlü polimer kaplanmış 25,4 mm çapındaki silindirik numuneler.

Şekil 6.28.'de verilen yapışma mukavemeti deneyinde kullanılan 1, 2 ve 3 olarak adlandırılmış silindirik numuneler alüminyum altlık yüzeylerine uygulanmış olan granit görünümlü polimer esaslı kaplamaları göstermektedir.

Yapışma mukavemeti deneyinde kullanılan çekme cihazı Şekil 6.29.'da görülmektedir.



Şekil 6.29. ASTM C633 yapışma mukavemeti a) şematik çizimi b) test sırasındaki görünümü.

6.6.9. XRD Analizi

Kumlama, eloksallama ve parlatma gibi farklı yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlık malzemelerin içerdiği fazları belirleyebilmek ve ağırlıkça % 3,5 oranında nano toz (Al_2O_3 ve SiO_2) katkılı polimer esaslı kaplama ile granit görünümlü polimer kaplamanın alüminyum yüzeyinde oluşturduğu tabakalardaki fazları tespit edebilmek için x-ışınları difraksiyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Şekil 6.30.'da Rigaku Dimaks 2200 marka x-ışınları difraktometresi kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 6.30. Analiz yönteminde kullanılan Rigaku Dimaks 2200 marka X-ışınları difraktometresi.

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR

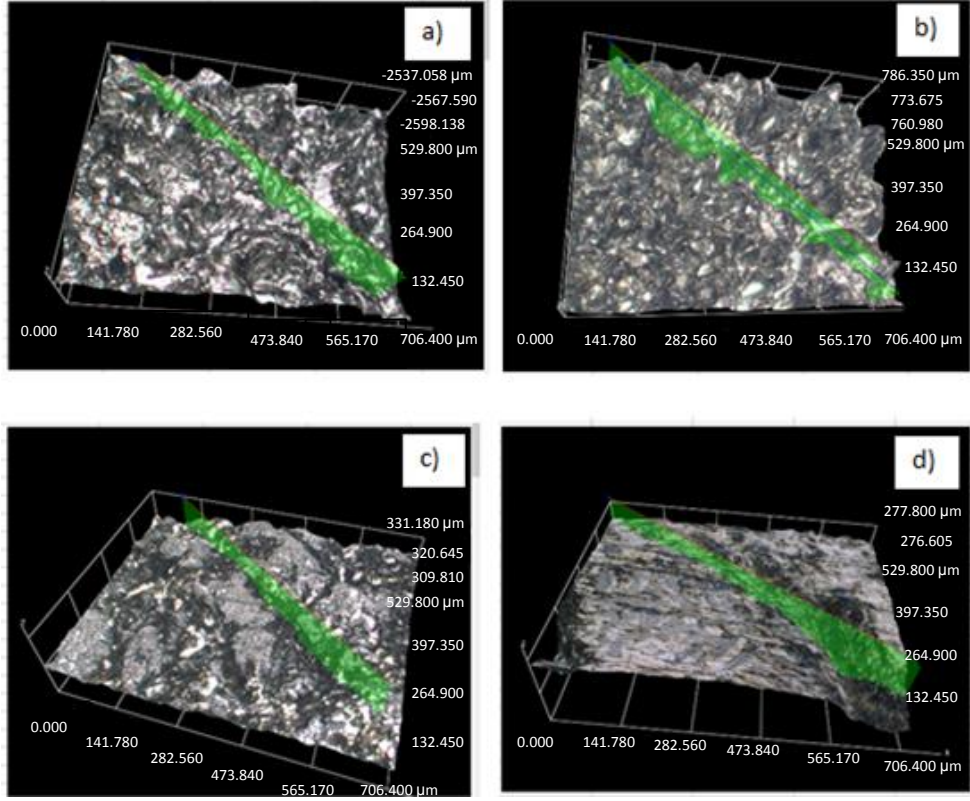
7.1. Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu

Altlık malzemesi olarak kullanılan Etial 171 Al alaşımına kumlama, eloksallama ve parlatma gibi farklı yüzey işlemleri uygulanmıştır. Kaplamanın hangi yüzeyde daha iyi performans göstereceğini tespit edebilmek amacıyla işlem görmüş altlık malzemelerin yüzey pürüzlülüğü, mikroyapı incelemeleri, temas açısı, AFM ve XRD analizleri yapılmıştır. Eloksallama yüzey işlemi görmüş alüminyum altlık malzemesindeki eloksallama tabakasının kalınlığı ölçülerek SEM ve EDS analizi sonuçları da değerlendirilmiştir.

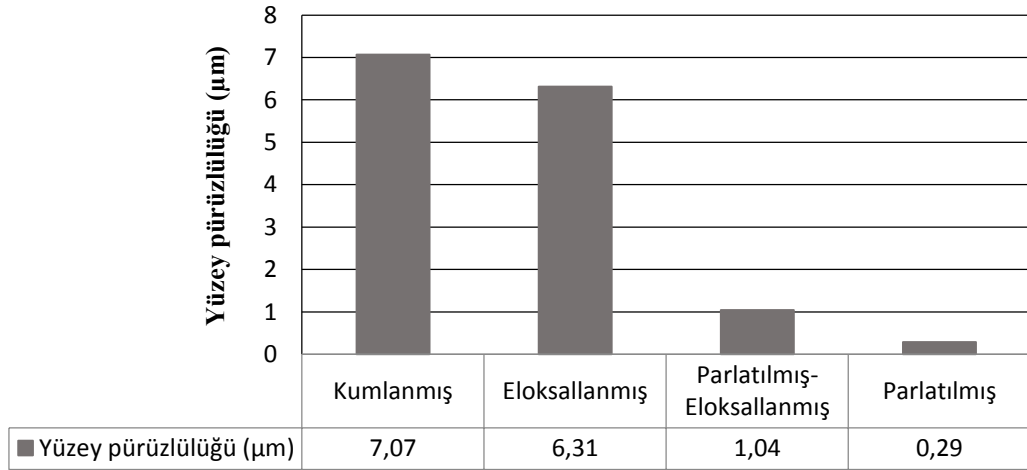
7.1.1. Yüzey pürüzlülüğü

Altlık-kaplama arasında güçlü bir bağlanma, yüzey üzerindeki nem, yağ ve oksit filmlerinin kaldırılması ve uygun bir yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesiyle sağlanmaktadır.

Aşağıda Şekil 7.1.'de ve Şekil 7.2.'de farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum numunelerin sırasıyla üç boyutlu optik mikroskop kullanılarak elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü görüntüleri ve pürüzlülük değerleri verilmektedir.



Şekil 7.1. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış, c) parlatılmış-eloksallanmış ve d) parlatılmış alüminyum altlıkların yüzey pürüzlülüğü görüntüleri.



Yüzey işlemi görmüş Al altıklar

Şekil 7.2. Farklı yüzey işlemi görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri.

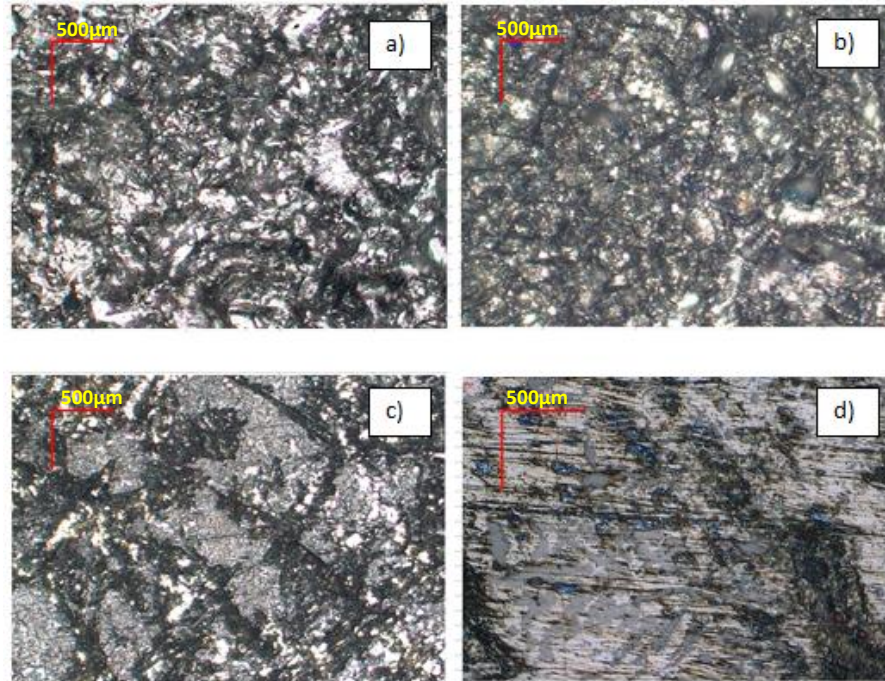
Şekil 7.1. ve Şekil 7.2.'den de görüldüğü üzere en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri kumlanmış alüminyum altlık numunesinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise parlatılmış alüminyum altlık numunesinde görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü

değerlerine bakılarak bir kıyaslama yapıldığında kumlama işlemi görmüş alüminyum altlık numunesinde kaplamanın yüzeye tutunmasının daha iyi olacağı düşünülmektedir. Çünkü kaplamanın uygulanacağı yüzey alanı daha fazladır. Kaplama uygulanacak altlık malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün optimum değerde olması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değeri çok yüksek olduğunda ise yüzeye uygulanacak olan kaplama kalınlığı ve miktarı artacaktır.

7.1.2. Mikroyapı incelemeleri

Altlık malzemelere yüzey işlemi uygulandıktan sonra optik mikroskopta incelemek için herhangi bir metalografik işlem yapılmamıştır. Çünkü bu süreç üretime uygun kalıplar için ekstra bir malzeme hazırlığı gerektirecektir ve büyük kalıplara bu işlemlerin homojen bir şekilde uygulama zorluğu bulunmaktadır.

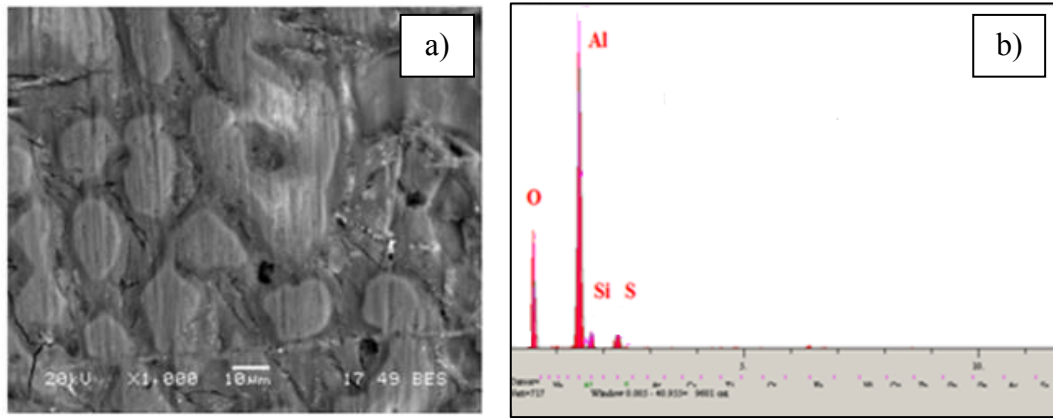
Aşağıda Şekil 7.3.'te kumlanmış, eloksallanmış, parlatılmış-eloksallanmış ve parlatılmış alüminyum altlıkların optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.3. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış, c) parlatılmış-eloksallanmış ve d) parlatılmış alüminyum altlıkların optik mikroyapıları.

Şekil 7.3.'ten de görüldüğü üzere parlatma işlemi görmüş olan yüzeyler kumlama ve eloksallama işlemi görmüş olanlara göre daha mat bir yüzey görüntüsü sergilemektedir. Şekil 7.3. (a) ve (b)'de yüzeyde oluşan kontrast farklılığından dolayı alüminyum yüzeyinde parlak kısımlar görülmektedir. Bu parlak kısımlar Şekil 7.3. (c) ve (d)'deki görüntülerde daha az olarak görülmektedir. Kumlama işlemi sonucu alüminyum yüzeyinde oluşan yükselti farkları diğer yüzey işlemlerine kıyasla daha fazladır. Bu durum, yüzey pürüzlülüğü değerinin de yüksek olmasını desteklemektedir.

Şekil 7.4.'de 2M'lık sülfürik asit çözeltisi ile eloksallanmış alüminyum altlık numunesine ait SEM görüntüsü ve EDS analizi verilmektedir.

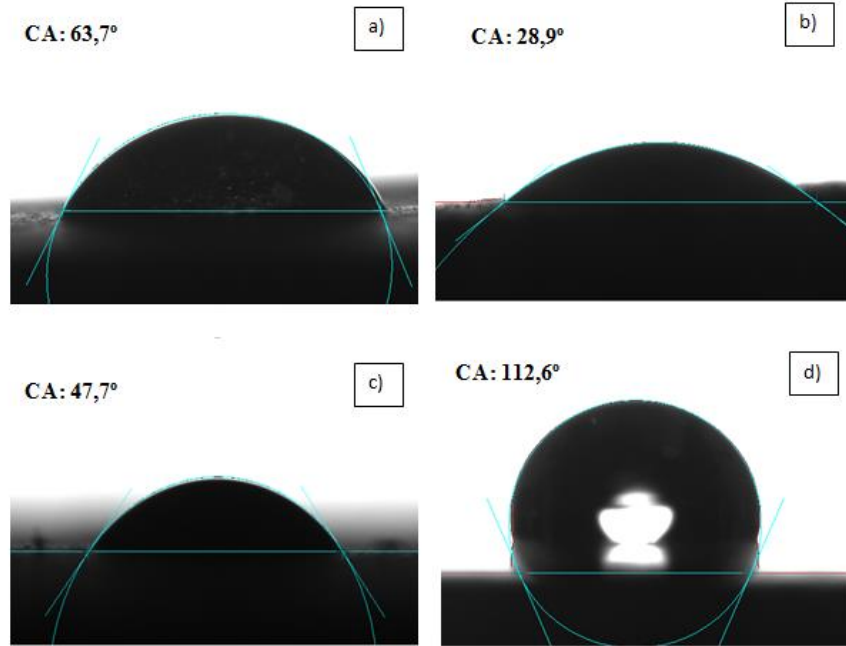


Şekil 7.4. 2M'lık H_2SO_4 çözeltisinde $19^\circ C$ sıcaklıkta 30 dakika ve 18 V gerilim değerindeki numunelerin a) SEM görüntüsü ve b) EDS analizi.

Şekil 7.4. (a)'daki SEM görüntülerine bakıldığında oksit tabakalarının düzenli bir yapı gösterdiği görülmektedir. Şekil 7.4. (b)'deki EDS analizinin sonuçlarına bakıldığında oksijen elementine ait piklerin varlığı alüminyum altlık numunesinin eloksallama işlemi sonucunda yüzeyinde oksit tabakasının oluştuğunu göstermektedir. Yapılan eloksallama işlemi sonucunda ölçülen eloksallama kalınlığı $15 \mu m$ olarak tespit edilmiştir.

7.1.3. Kontak açısı değerleri

Kumlanmış, eloksallanmış, parlatılmış-eloksallanmış ve parlatılmış alüminyum altlıkların kontak açıları Şekil 7.5.'te verilmiştir.



Şekil 7.5. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış, c) parlatılmış-eloksallanmış ve d) parlatılmış alüminyum altlıkların kontak açıları.

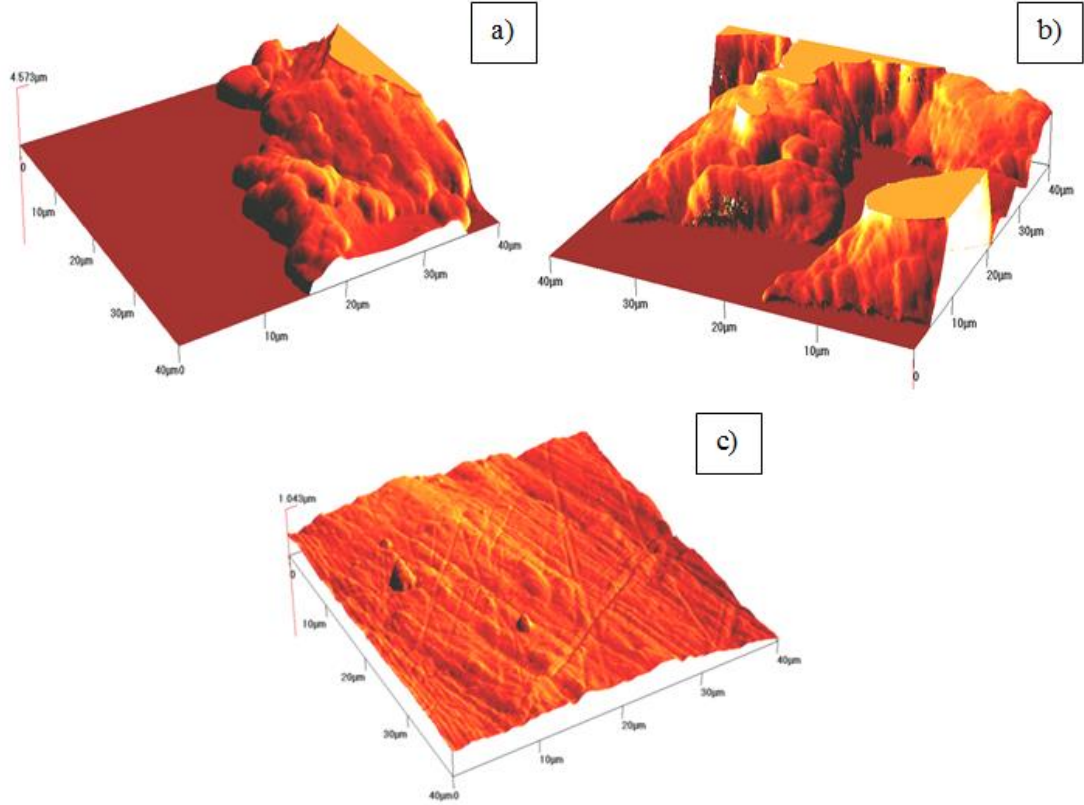
Şekil 7.5.'ten de görüldüğü üzere kumlanmış alüminyum altlık numunesinin kontak açısı değeri $63,7^\circ$ olarak bulunmuştur. Bu değer otomobil sektöründe kullanılan alüminyum kalıpların kontak açısı ile uyum göstermektedir. Eloksallanmış ve parlatılmış-eloksallanmış alüminyum altlıkların kontak açısı sırasıyla $28,9^\circ$ ve $47,7^\circ$ olarak ölçülmüştür. Alüminyum altlıklara uygulanmış olan eloksallama işlemi alüminyumun kontak açısı değerini azaltmıştır. Bunun sebebi eloksallama işlemi sonucunda yüzeyde poroziteli bir alüminyum oksit tabakasının oluşumu ile ilgili olabilir. Çünkü bu yapı boşluklu bir tabakadır. Boşluklu bir yapıya sahip olması kontak açısının ölçümü esnasında damlatılan sıvının boşluklarda emilimi sonuçlanmış olabilir. Parlatılmış alüminyum altlık numunesinin kontak açısı değeri $112,6^\circ$ olarak bulunmuştur. Kontak açısı değerinin yüksek çıkması altlığın üzerine yapılan kaplamanın yüzeyde tutunmasını zorlaştırır.

C. Roero, yapmış olduğu bir çalışmada kumlama işlemi görmüş alüminyum malzemesinin kontak açısı değerini 61° olarak bulmuştur. Bu değer, yapılan çalışma ile uyum göstermektedir [93].

Bernardin ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada alüminyum yüzeyle su damlacıkları için kontak açısının sıcaklık ile ilişkisini incelemiştir. Oda sıcaklığında parlatılmış alüminyumun kontak açısı değerinin 126° olarak bulmuşlardır. Malzemelerde sıcaklığın artışına bağlı olarak kontak açısı değerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir [94]. Düşük ıslatabilirlik özelliği gösterdiğinden dolayı kaplamanın yüzeyde tutunmasının zor olacağı düşünölmektedir.

7.1.4. AFM incelemeleri

Şekil 7.6.'da kumlama, eloksallama ve parlatma gibi farklı yüzey işleme görmüş Etial 171 alüminyum alaşımına ait altlıkların AFM görüntüleri ile birlikte 40x40 μm 'lik tarama alanına ait yüzey pürüzlülüğü değerleri görülmektedir.

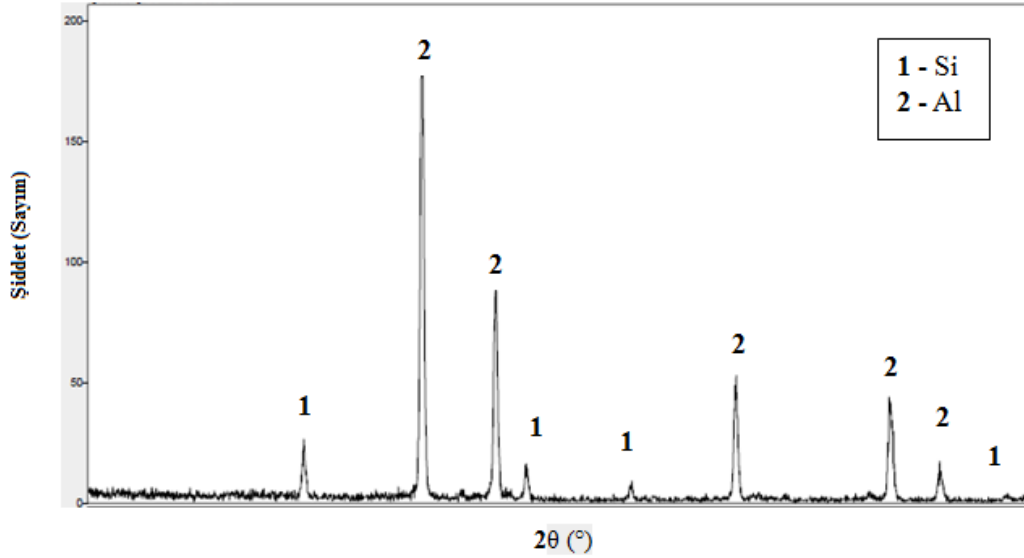


Şekil 7.6. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlık malzemelere ait AFM görüntüleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Tablo 7.6.'dan da görüldüğü üzere kumlanmış Al altlık malzemeye ait yüzey pürüzlülüğü değeri 4,573 μm , eloksallanmış Al altlık malzemeye ait yüzey pürüzlülüğü değeri 3,812 μm ve parlatılmış Al altlık malzemeye ait yüzey pürüzlülüğü değeri de 1,043 μm olarak ölçülmüştür. Bu değerler; üç boyutlu optik mikroskopta elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinden farklılık göstermektedir. Bunun nedeni olarak; AFM cihazında altlık malzeme yüzeyinin tamamının değil belli bir kısmının temsil edilmesi söylenebilmektedir.

7.1.5. XRD Sonuçları

Yüzey işlemlerinde kullanılan Etial 171 alüminyum alaşımına ait altlık malzemenin XRD sonucu Şekil 7.7.'de görülmektedir.



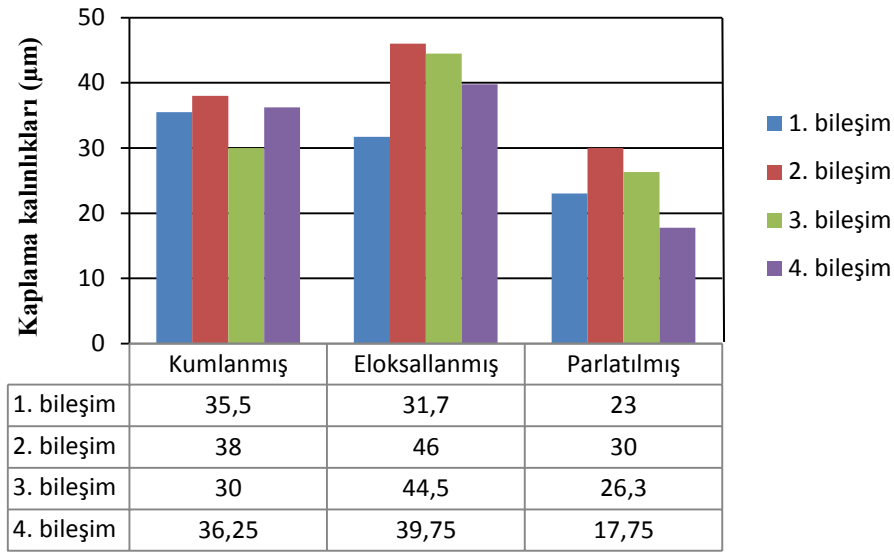
Şekil 7.7. Etial 171 alüminyum alaşımına ait altlık malzemelerin XRD sonucu.

Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıkların da XRD sonuçlarına bakıldığında Alüminyum (Al) ve Silisyum (Si) kristallerine ait pikler görülmüştür. Yüzey işlemleri sonucunda başka bir faz oluşumu gerçekleşmemiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan altlıkların Al-Si alaşımına ait olduğunun bir kanıtıdır.

7.2. Kaplamaların Karakterizasyonu

7.2.1. Kalınlık Ölçümü

Şekil 7.8.'de yüzey işlemlerine bağlı olarak nano Al_2O_3 toz katkılı polimer esaslı kaplamaların 5 ölçüm sonucu ortalama kaplama kalınlığı değerleri sütun grafiği halinde verilmektedir.

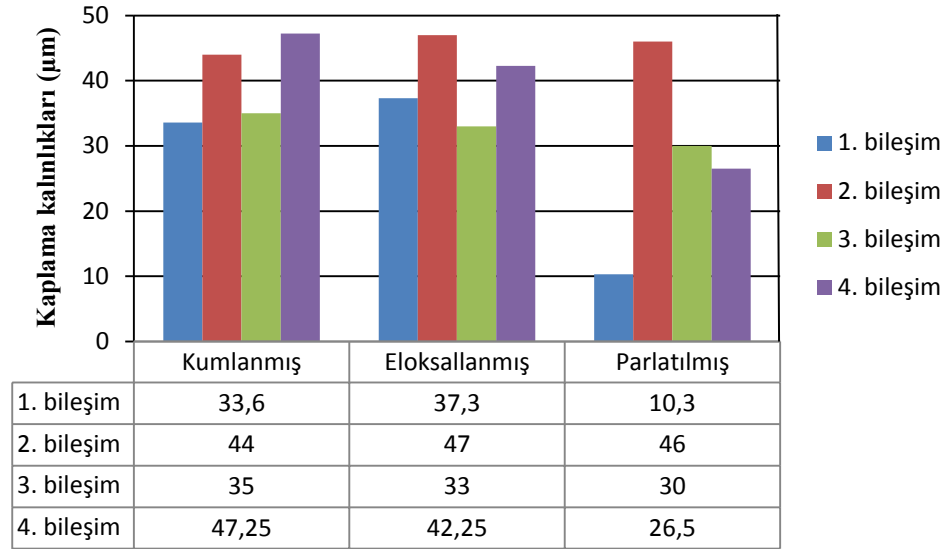


Şekil 7.8. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış nano Al_2O_3 toz katkılı çeşitli bileşime sahip polimer kaplamaların ortalama kalınlıkları.

Şekil 7.8.'den de görüldüğü üzere eloksallanmış alüminyum altlık üzerine uygulanmış kaplama bileşimlerinin kalınlıklarının, diğer yüzey işlemleri ile kıyaslandığında daha fazla olduğu görülmektedir. Yapılan kaplama kalınlığı ölçümleri ile en kalın kaplamanın eloksallanmış yüzeye uygulanmış ikinci bileşime sahip kaplamaya ait olduğu görülmektedir. Kumlanmış ve eloksallanmış alüminyum altlık yüzeyindeki kaplama kalınlığı değerleri birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Parlatılmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış olan kaplamaların kalınlık değerleri en düşüktür. Püskürtme yöntemiyle sol-jel kaplamada kaplama birikerek oluştuğundan dolayı homojen bir dağılımın süreklilik göstermediği de görülmektedir.

Wu ve Nemeth yapmış oldukları alüminyum için yapışmaz sol-jel kaplama çalışmasında nano Al_2O_3 toz katkılı yapışmaz kaplamanın kontak açısı değerini $103,4^\circ$ ve kalınlık değerini de 35-37 μm arasında elde etmişlerdir [95].

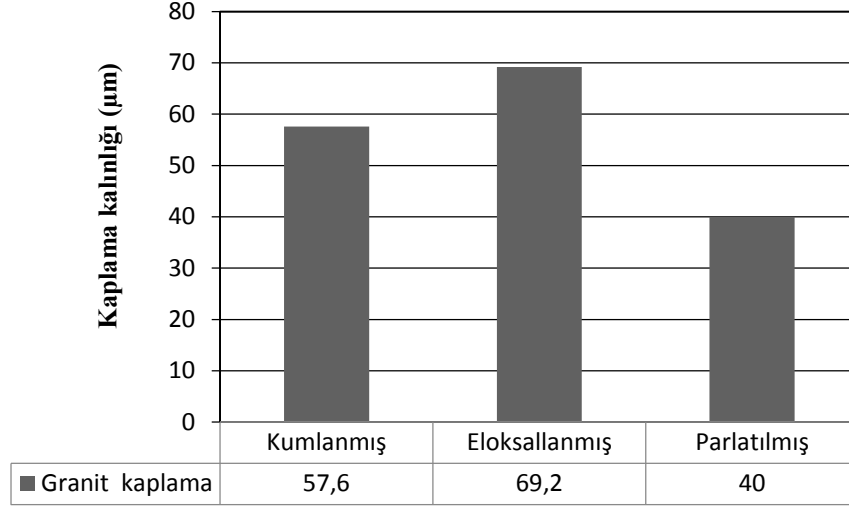
Şekil 7.9.'da yüzey işlemlerine bağlı olarak nano SiO₂ toz katkılı polimer esaslı kaplamaların 5 ölçüm sonucu ortalama kaplama kalınlığı değerleri sütun grafiği halinde verilmektedir.



Şekil 7.9. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış nano SiO₂ toz katkılı çeşitli bileşime sahip polimer kaplamaların ortalama kalınlıkları.

Şekil 7.9.'dan da görüldüğü üzere kumlanmış ve eloksallanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış olan kaplamaların kalınlık değerleri birbirlerine yakın değerler vermektedir. Yapılan kaplama kalınlığı ölçümleri ile en kalın kaplamanın kumlanmış yüzeye uygulanmış dördüncü bileşime sahip kaplamaya ait olduğu görülmektedir. En düşük kaplama kalınlığı değeri parlatılmış yüzeye uygulanmış birinci bileşime sahip kaplamada görülmektedir.

Şekil 7.10.'da yüzey işlemlerine bağlı olarak granit görünümlü polimer kaplamaların 5 ölçüm sonucu ortalama kaplama kalınlığı değerleri sütun grafiği halinde verilmektedir.



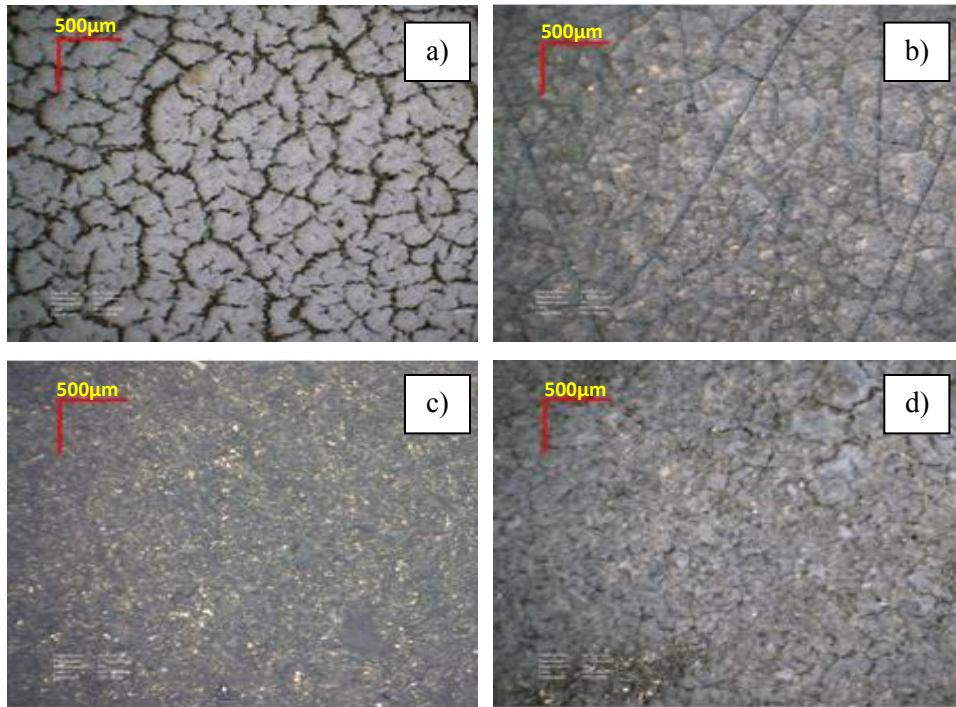
Şekil 7.10. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın ortalama kalınlık değerleri.

Şekil 7.10.'dan da görüldüğü üzere eloksallanmış alüminyum yüzeye uygulanmış olan kaplamanın 69,2 µm kaplama kalınlığı ile diğer yüzey işlemlerine kıyasla daha kalın olduğu görülmektedir. Bu durumda; eloksallama tabakasının da kaplama kalınlığı üzerinde etkisinin olduğunu söyleyebilmek mümkündür. Parlatma işlemi görmüş alüminyum numunesinde kaplamanın yüzeye tutunması için yeterli yüzey alanı olmadığından dolayı kaplama kalınlığı değerinin düşük olduğu düşünülmektedir. Kumlanmış ve eloksallanmış yüzeyde kaplamanın yüzeye rahatça tutunabilmesini sağlayan pürüzlü yapılar mevcuttur.

7.2.2. Optik mikroskop görüntüleri

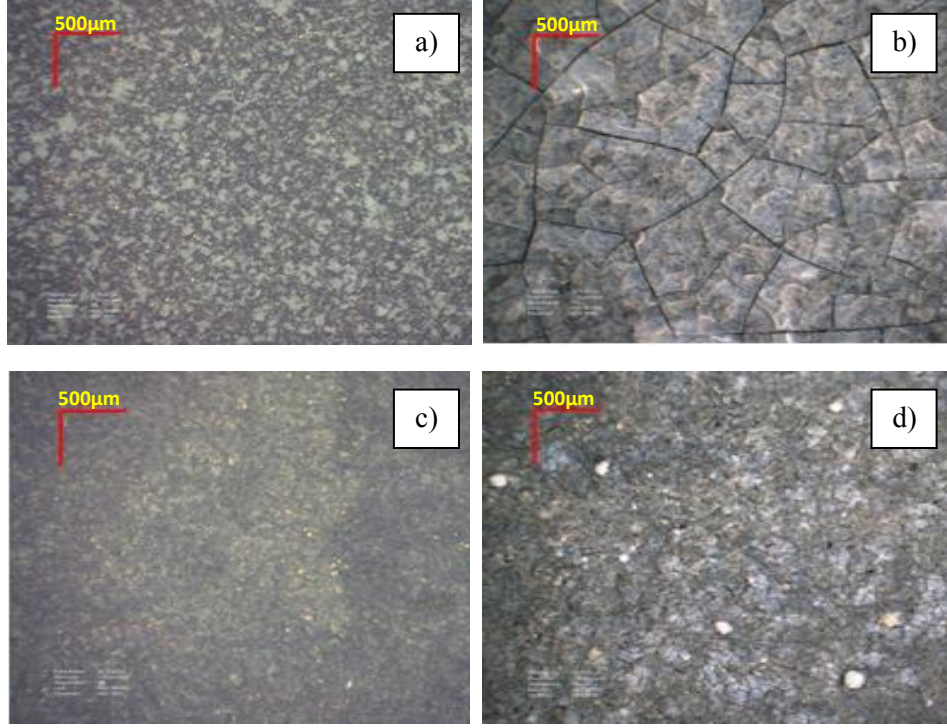
Üretilen kaplamaların görsel olarak incelenmesi makro ölçekte karar verebilmemizi sağlamaktadır. Fakat kaplama yüzeyinde mikro ölçekte oluşan hatalar söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle kaplama yüzey özelliklerini daha net bir şekilde inceleyebilmek amacıyla optik mikroskopta 90X büyüklükte görüntü elde edilmiştir. Bileşimler ve yüzey işlemleri arasındaki karşılaştırmayı da sağlayabilmek açısından tüm görüntüler aynı büyüklüktedir.

Şekil 7.11.'de kumlanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano Al_2O_3 toz katkılı 4 bileşime ait kaplamaların optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.



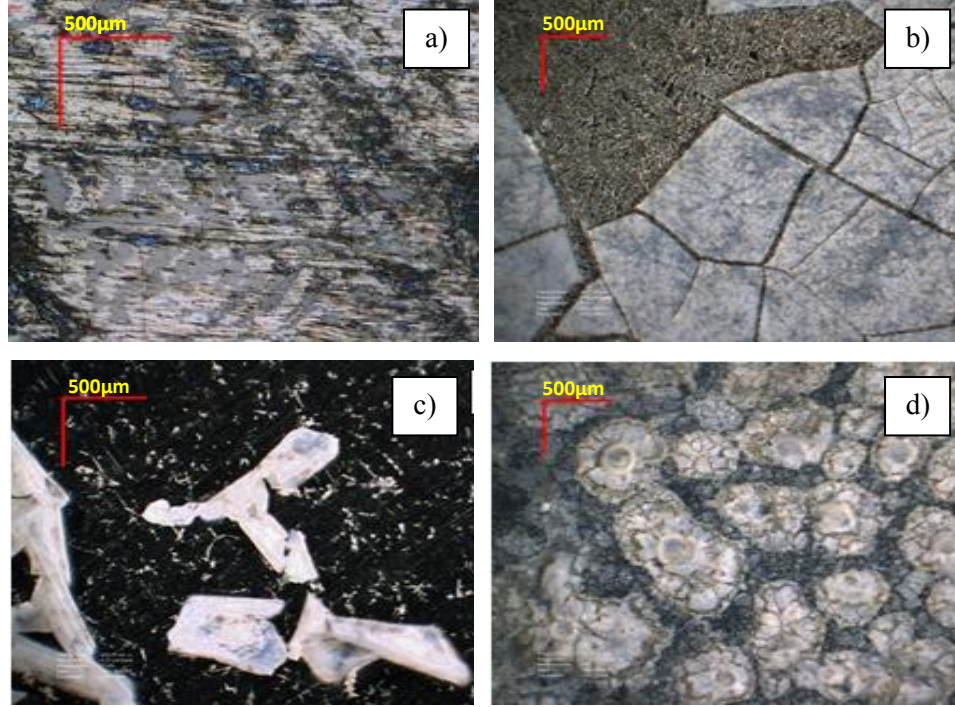
Şekil 7.11. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer kaplamanın kumlanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 7.12.'de eloksallanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano Al_2O_3 toz katkılı 4 bileşime ait kaplamaların optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 7.12. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer kaplamanın eloksallanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.

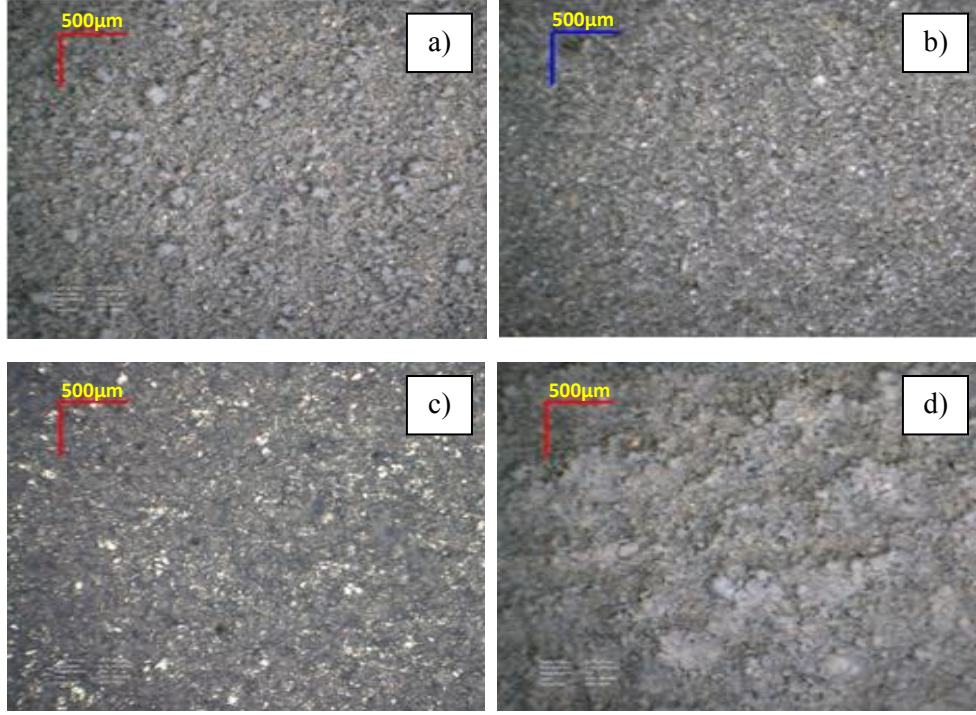
Şekil 7.13.'te parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano Al_2O_3 toz katkılı 4 bileşime ait kaplamaların optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 7.13. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer kaplamaların parlatılmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.

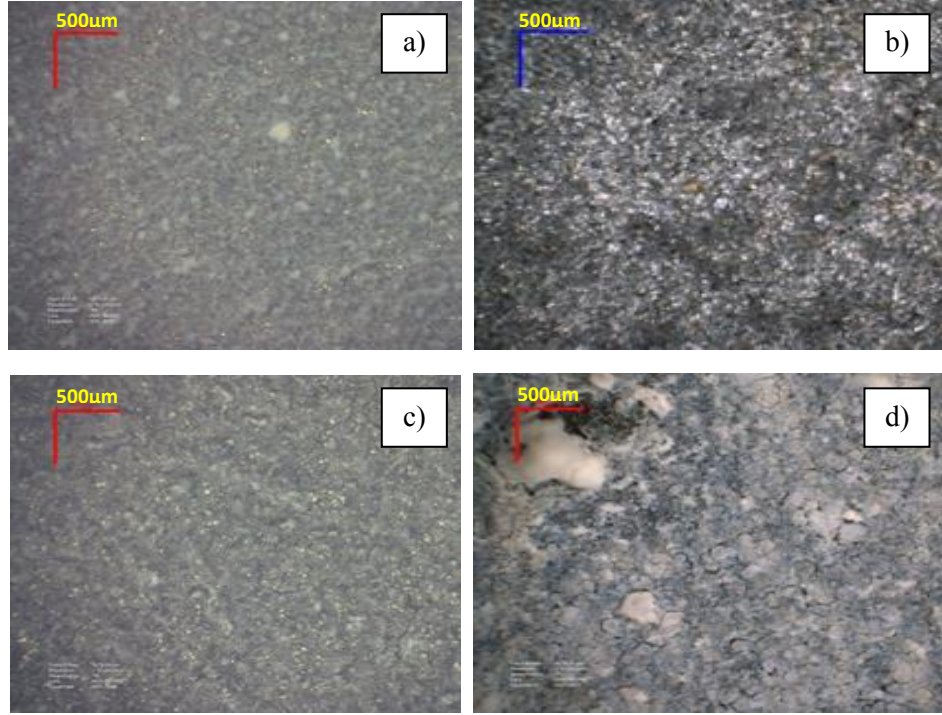
Kumlanmış, eloksallanmış ve parlatılmış alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış nano Al_2O_3 katkılı 4 farklı bileşime sahip kaplamaların optik mikroskop görüntüleri karşılaştırıldığında üçüncü bileşime sahip kaplamaların çatlaksız bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir. Diğer bileşime sahip kaplamalar çatlaklı bir yapı göstermiştir. Şekil 7.11.'de kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış birinci bileşimdeki nano Al_2O_3 tozunun yüzeyde topaklandığı görülmektedir. Bu topaklanmanın kaplamaların hidrofilik (su emici) özellik göstermesine neden olduğu düşünülmektedir. Kumlanmış ve eloksallanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan kaplamaların yüzeyde homojen olarak dağıldığı söylenebilmektedir. Şekil 7.13.'teki parlatılmış alüminyum altlık malzemelerine uygulanan kaplamaların yüzey görüntüleri incelendiğinde kaplamaların yüzeyden bölgesel olarak koptuğu ve altlık malzemesine tam olarak tutunma göstermediği görülmüştür.

Şekil 7.14.'de kumlanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano SiO₂ toz katkıli 4 bileşime ait kaplamaların optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.



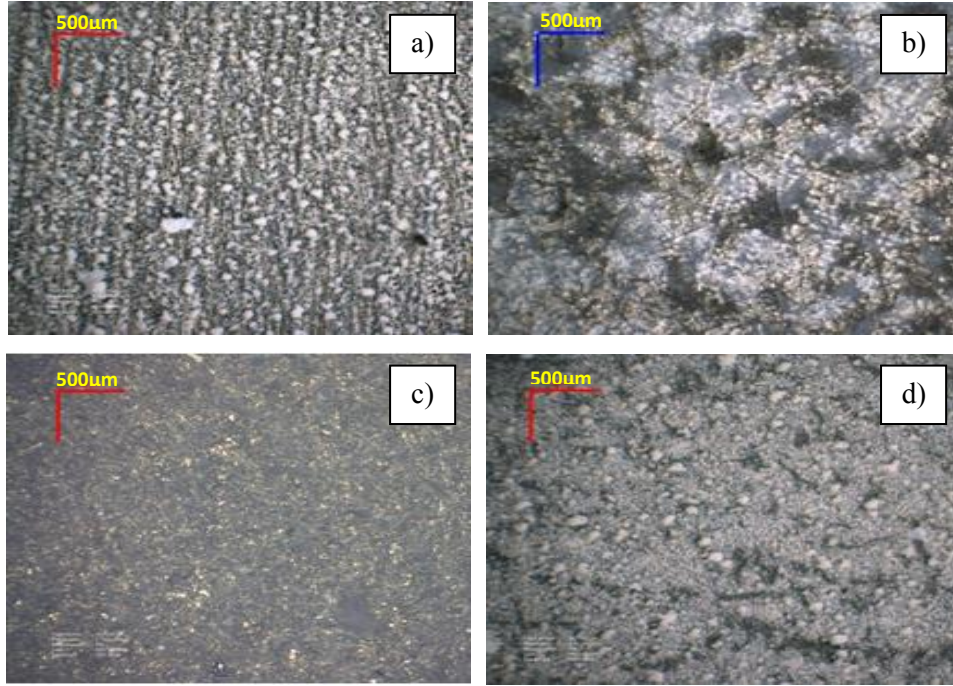
Şekil 7.14. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO₂ toz katkıli polimer kaplamaların kumlanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 7.15.'te eloksallanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano SiO₂ toz katkılı 4 bileşime ait kaplamaların optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 7.15. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO₂ toz katkılı polimer kaplamanın eloksallanmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.

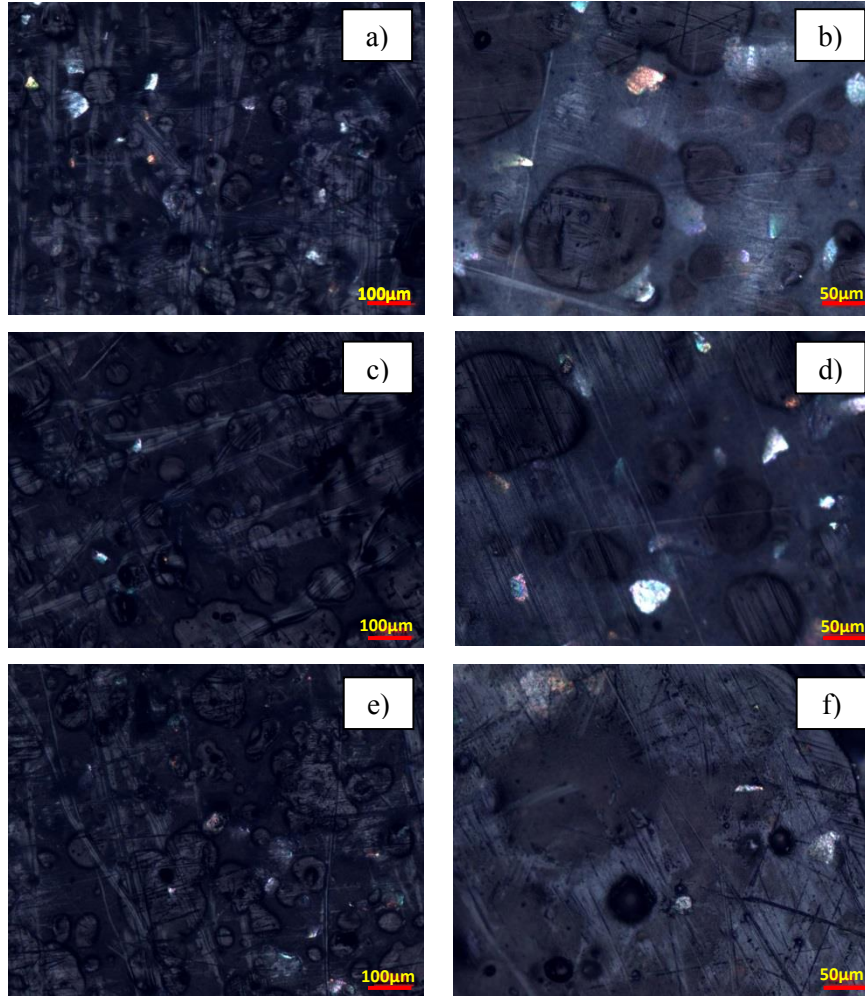
Şekil 7.16.'da parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano SiO₂ toz katkı 4 bileşime ait kaplamaların optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 7.16. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO₂ toz katkı polimer kaplamaların parlatılmış alüminyum altlıklardaki optik mikroskop görüntüleri.

Kumlanmış, eloksallanmış ve parlatılmış alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış nano SiO₂ toz katkı 4 farklı bileşime sahip kaplamanın optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde diğer nano toz katkı kaplamalara göre daha homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Kaplamaların genel olarak çatlaksız olduğunu söyleyebilmek mümkündür. Bu durumda nano SiO₂ toz katkı kaplamaların yüzeye tutunması daha iyidir.

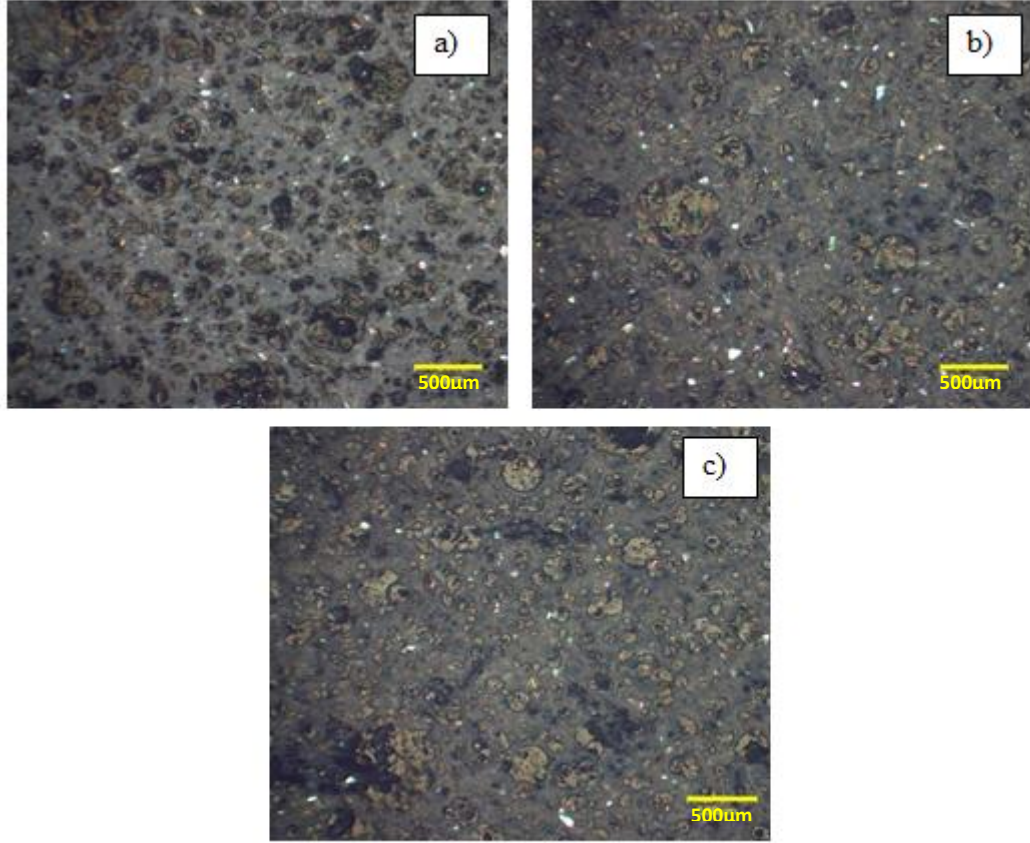
Şekil 7.17.'de kumlama, eloksallama ve parlatma işlemleri uygulanmış alüminyum altlık malzemelerindeki granit görünümlü polimer kaplamaya ait farklı büyütme ölçeklerinde elde edilmiş optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 7.17. a) Kumlanmış (5X), b) kumlanmış (10X), c) eloksallanmış (5X), d) eloksallanmış (10X), e) parlatılmış (5X) ve f) parlatılmış (10X) alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 7.17.'deki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde üç farklı yüzey işlemi görmüş altlık malzemesine uygulanan kaplamaların homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Kaplamanın yüzeyindeki parlak noktalar içerisinde camsı bir fazın olduğunu göstermektedir. EDS ve XRD analizleri ile kaplamanın içerisinde Si elementinin olduğu kanıtlanmıştır. Kaplamanın yapısının pürüzlü olması da ışık yansımalarına neden olabilmektedir.

Şekil 7.18.'de kumlama, eloksallama ve parlatma işlemleri uygulanmış alüminyum altlık malzemelerindeki granit görünümlü polimer kaplamaya ait 90X büyüklükteki üç boyutlu optik mikroskop görüntüleri görülmektedir.

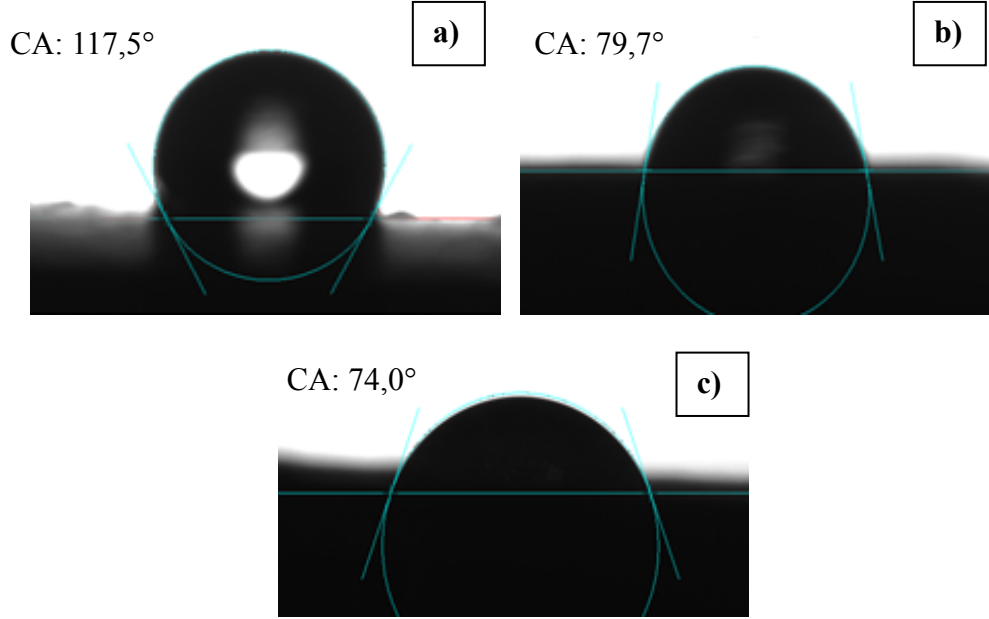


Şekil 7.18. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlık malzemelerine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait üç boyutlu optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 7.18.'deki üç boyutlu optik mikroskop görüntüleri de kaplamanın içerisinde camsı bir fazın olduğunu göstermektedir. Granit görünümlü polimer kaplamanın yüzeyine sonradan atılan siyah noktalar küresel olarak görünmektedir.

7.2.3. Kontak açısı değerleri

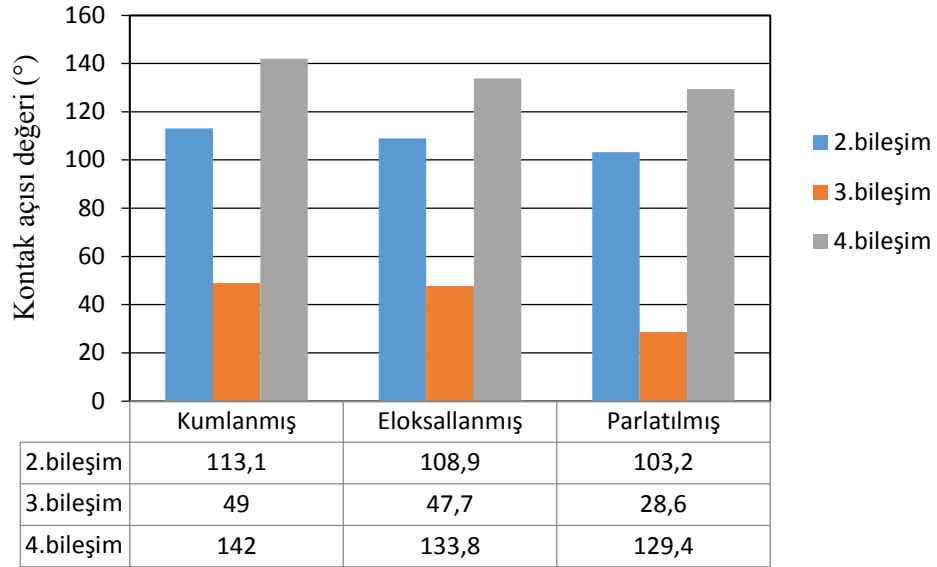
Şekil 7.19.'da farklı yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano Al_2O_3 toz katkılı ikinci bileşime ait kaplamanın kontak açısı değerleri görülmektedir.



Şekil 7.19. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış nano Al_2O_3 toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değerleri.

Şekil 7.19.'dan da görüldüğü üzere kaplamanın en iyi kontak açısı değeri ($117,5^\circ$) kumlanmış alüminyum altlık yüzeyinde görülmektedir. Bu kontak açısı değeri ile bu bileşime sahip polimer kaplamanın hidrofobik özellik gösterdiği kanıtlanmıştır. Eloksallama işlemi sonucunda kaplamanın kontak açısı değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. İkinci bileşime sahip polimer kaplamanın yüzeye tutunma özelliğinin iyi olmasından dolayı parlatılmış yüzeyde de kontak açısı değeri eloksallanmış yüzeye yakın bir sonuç vermiştir.

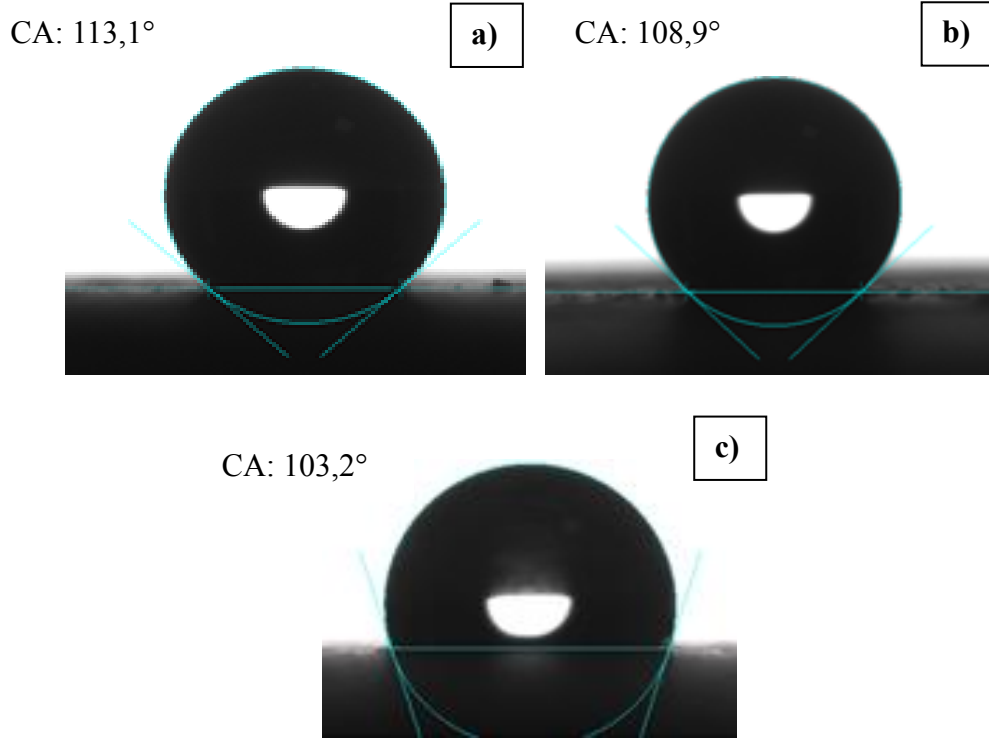
Şekil 7.20.'de nano Al_2O_3 toz katkılı 2, 3 ve 4 nolu bileşimlere sahip kaplamaların kumlanmış, eloksallanmış ve parlatılmış alüminyum altlıklardaki kontak açısı değerleri karşılaştırma için verilmektedir. Birinci bileşime sahip polimer kaplamada kontak açısı değerleri kaplamanın su emici olmasından dolayı elde edilememiştir.



Şekil 7.20. % 3,5 Al₂O₃ nano toz katkılı bileşimlerin farklı yüzey işlemi görmüş altlıklardaki kontak açısı değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 7.20.'den de görüldüğü üzere kaplama bileşimleri kendi aralarında değerlendirildiğinde en yüksek kontak açısı değerinin kumlanmış yüzeyde, en düşük kontak açısı değerinin de parlatılmış yüzeyde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkilidir. Eloksallama ve parlatma işlemlerindeki yüzey pürüzlülüğü değerleri kumlama işlemi ile kıyaslandığında daha düşüktür. Parlatılmış alüminyum altlık numunelerindeki üçüncü ve dördüncü bileşime sahip kaplamaların kontak açısı değerinin elde edilememesinin nedeni; polimer kaplamanın yüzeyden tamamen dökülmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 7.21.'de farklı yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano SiO₂ toz katkılı ikinci bileşime ait kaplamanın kontak açısı değerleri görülmektedir.

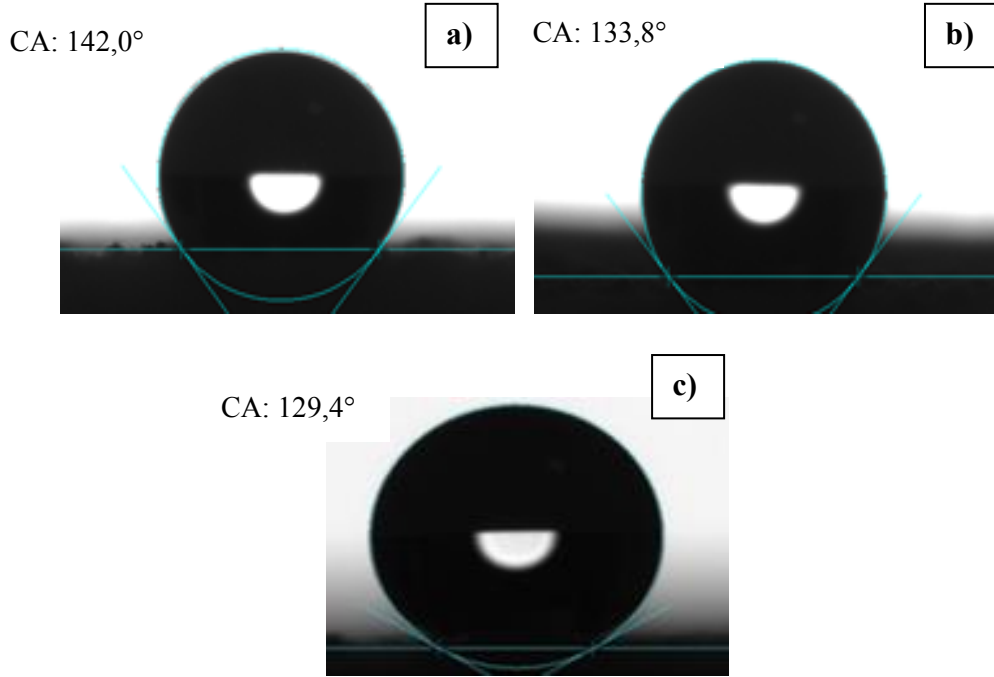


Şekil 7.21. a) Kumlanmış, b) eloksoylanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış nano SiO₂ toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değerleri.

Şekil 7.21.'deki görüntüler incelendiğinde; üç farklı yüzey işlemindeki ikinci bileşime sahip polimer kaplamanın birbirine yakın kontak açısı değerleri verdiği görülmektedir. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış olan polimer kaplamanın kontak açısı değeri 113,1° iken eloksoyllama ve parlatma yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlık malzemelerinde ise sırasıyla 108,9° ve 103,2° olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre ikinci bileşime sahip nano SiO₂ toz katkılı polimer kaplama hidrofobik özellik göstermiştir.

Bu bileşime sahip polimer kaplamanın optik mikroskop görüntüleri de incelendiğinde kaplamanın yüzeyde homojen olarak dağıldığı ve yüzeyden kalkmalar olmadığı görülmektedir.

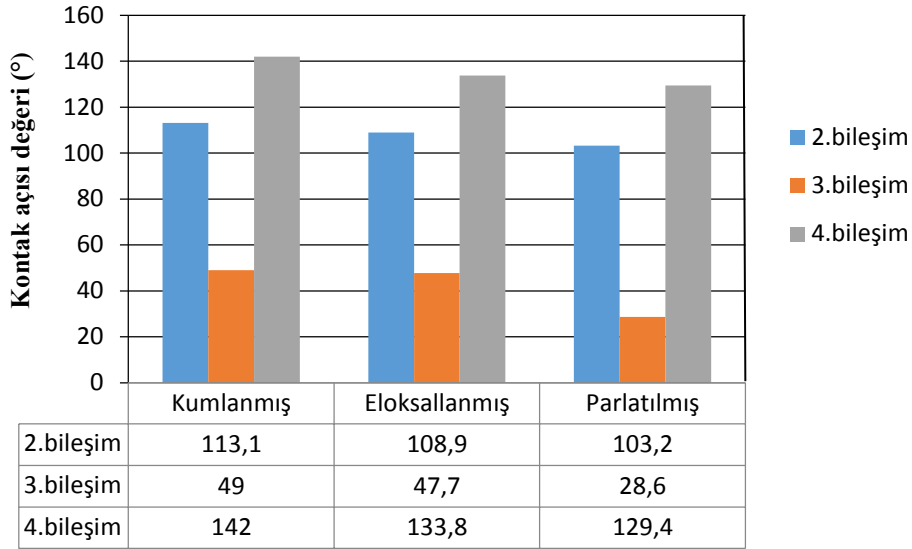
Şekil 7.22.'de farklı yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano SiO₂ toz katkılı dördüncü bileşime ait kaplamanın kontak açısı değerleri görülmektedir.



Şekil 7.22. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış nano SiO₂ toz katkılı dördüncü bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değerleri.

Şekil 7.22.'deki görüntüler incelendiğinde; üç farklı yüzey işlemindeki dördüncü bileşime sahip polimer kaplamanın birbirine yakın kontak açısı değerleri verdiği görülmektedir. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış olan polimer kaplamanın kontak açısı değeri 142,0° iken eloksallama ve parlatma yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlık malzemelerinde ise sırasıyla 133,8° ve 129,4° olarak bulunmuştur.

Şekil 7.23.'te nano SiO₂ toz katkılı 3 farklı bileşime sahip kaplamanın kumlanmış, eloksallanmış ve parlatılmış alüminyum altlıklardaki kontak açısı değerleri karşılaştırma için verilmektedir. Birinci bileşime sahip kaplamada kontak açısı değerleri kaplamanın hidrofilik özelliğinden dolayı elde edilememiştir.

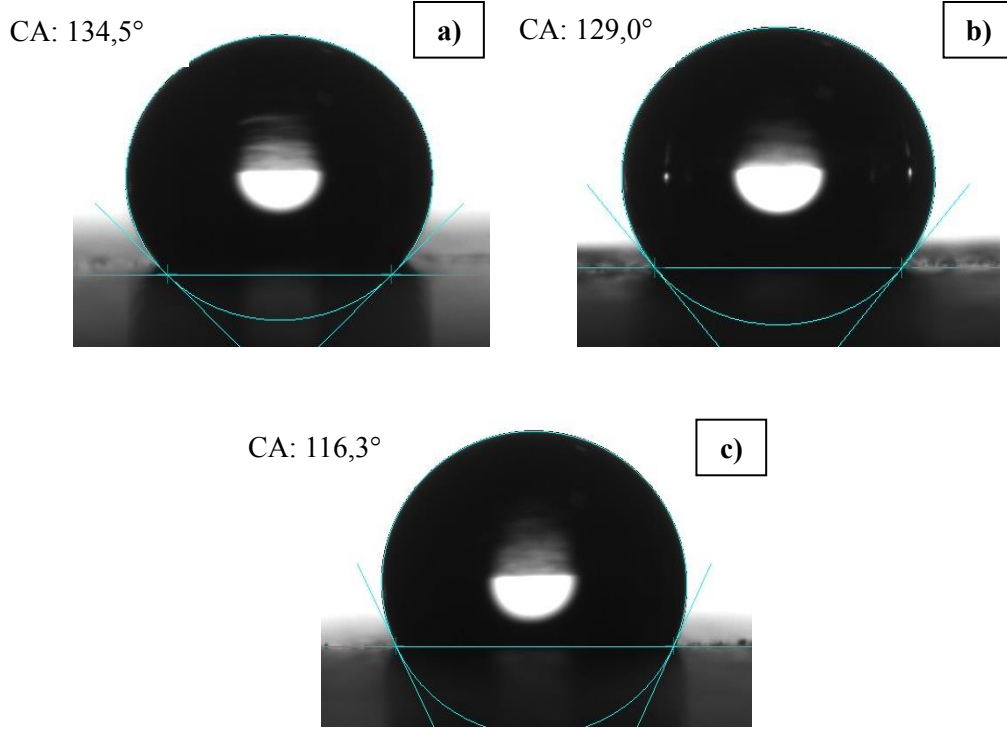


Şekil 7.23. % 3,5 SiO₂ nano toz katkılı bileşimlerin farklı yüzey işlemi görmüş altlıklardaki kontak açısı değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 7.23.'teki görüntüler incelendiğinde en yüksek kontak açısı değeri 142° ile kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış olan 4.bileşime sahip kaplamada görülmektedir. Fakat dördüncü bileşime sahip kaplamanın optik mikroskop görüntüleri de göz önüne alındığında yüzeye tutunmasının iyi olmadığı ve elle bir temas söz konusu olduğunda kaplamanın yüzeyden toz şeklinde kalktığı görülmüştür. İkinci bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değeri (113,1°) o kadar yüksek olmamasına rağmen yüzeye tutunma özelliği bakımından daha iyi sonuç vermiştir. Üçüncü bileşime sahip kaplamanın kontak açısı değerleri, tüm yüzey işlemleri ile kıyaslandığında en düşük sonuçları vermektedir.

Kontak açısı değerleri nano Al₂O₃ toz katkılı kaplamalar ile karşılaştırıldığında daha yüksek sonuçlara ulaşılmıştır. Üçüncü ve dördüncü bileşimlerin parlatılmış alüminyum altlık numunesindeki yüzeye tutunması da daha iyidir.

Şekil 7.24.'de farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait kontak açısı değerleri görülmektedir.



Şekil 7.24. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamalara ait kontak açısı değerleri.

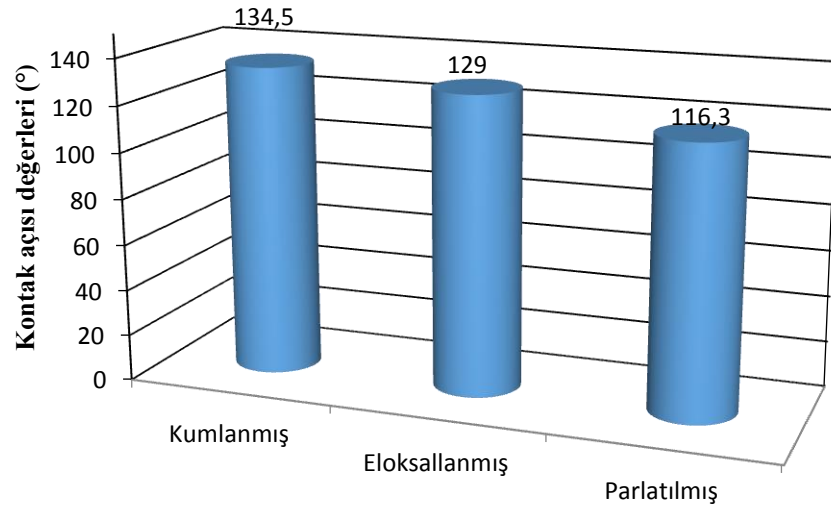
Şekil 7.24.'deki görüntüler incelendiğinde; üç farklı yüzey işlemindeki granit görünümlü polimer kaplamanın birbirine yakın kontak açısı değerleri verdiği görülmektedir. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış olan granit kaplamanın kontak açısı değeri $134,5^\circ$ iken eloksallama ve parlatma yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlık malzemelerinde ise sırasıyla $129,0^\circ$ ve $116,3^\circ$ olarak bulunmuştur.

Şekil 7.25.'te kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış olan granit görünümlü kaplamanın kontak açısı ölçümünde suyun yüzey üzerinde oluşturmuş olduğu küresel form görülmektedir. Suyun yüzey üzerinde küresel form görüntüsü vermesi kaplamanın hidrofobik bir özellik gösterdiğinin bir kanıtıdır.



Şekil 7.25. Granit görünümlü kaplamanın kontak açısı ölçümü sırasındaki suyun yüzey üzerinde oluşturduğu küresel formun görüntüsü.

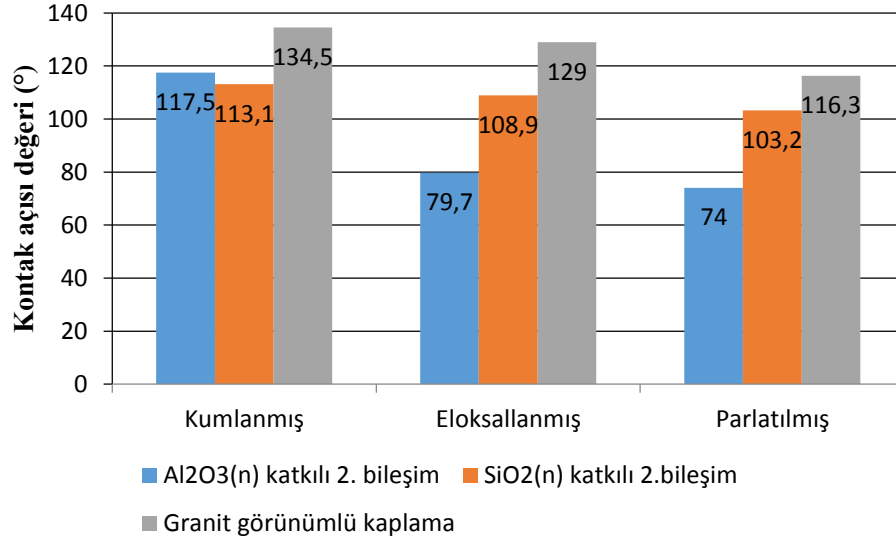
Şekil 7.26.'da farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait kontak açısı sonuçları grafik üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 7.26. Farklı yüzey işlemi alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait kontak açısı sonuçları.

Şekil 7.26.'daki görüntü incelendiğinde kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış olan granit görünümlü kaplamanın kontak açısı değeri 134,5° olarak görülmektedir. Bu değer; diğer yüzey işlemlerindeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha yüksektir ve kaplama süperhidrofobik özellik göstermektedir.

Şekil 7.27.'de granit görünümlü polimer kaplamanın kontak açısı değerleri ile nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkılı polimer kaplamaların en yüksek kontak açısı değerleri karşılaştırılmaktadır.

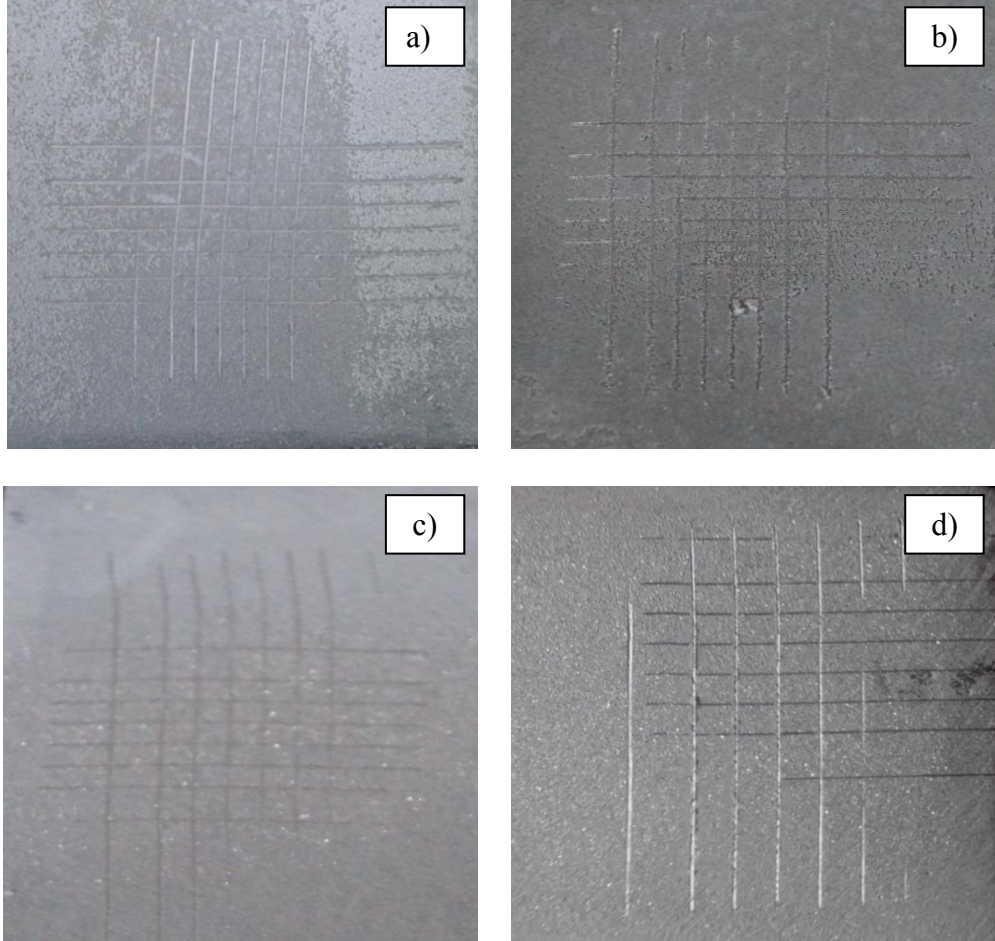


Şekil 7.27. Yüzey işlemlerine bağlı olarak granit görünümlü kaplama ile nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamaların kontak açısı değerleri.

Şekil 7.27.'deki temas açısı değerleri incelendiğinde granit görünümlü polimer kaplamanın üç yüzey işleminde de en yüksek sonucu verdiği görülmüştür. Nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkılı polimer kaplamalardan daha fazla hidrofobik özellik gösterdiğini söyleyebilmek mümkündür.

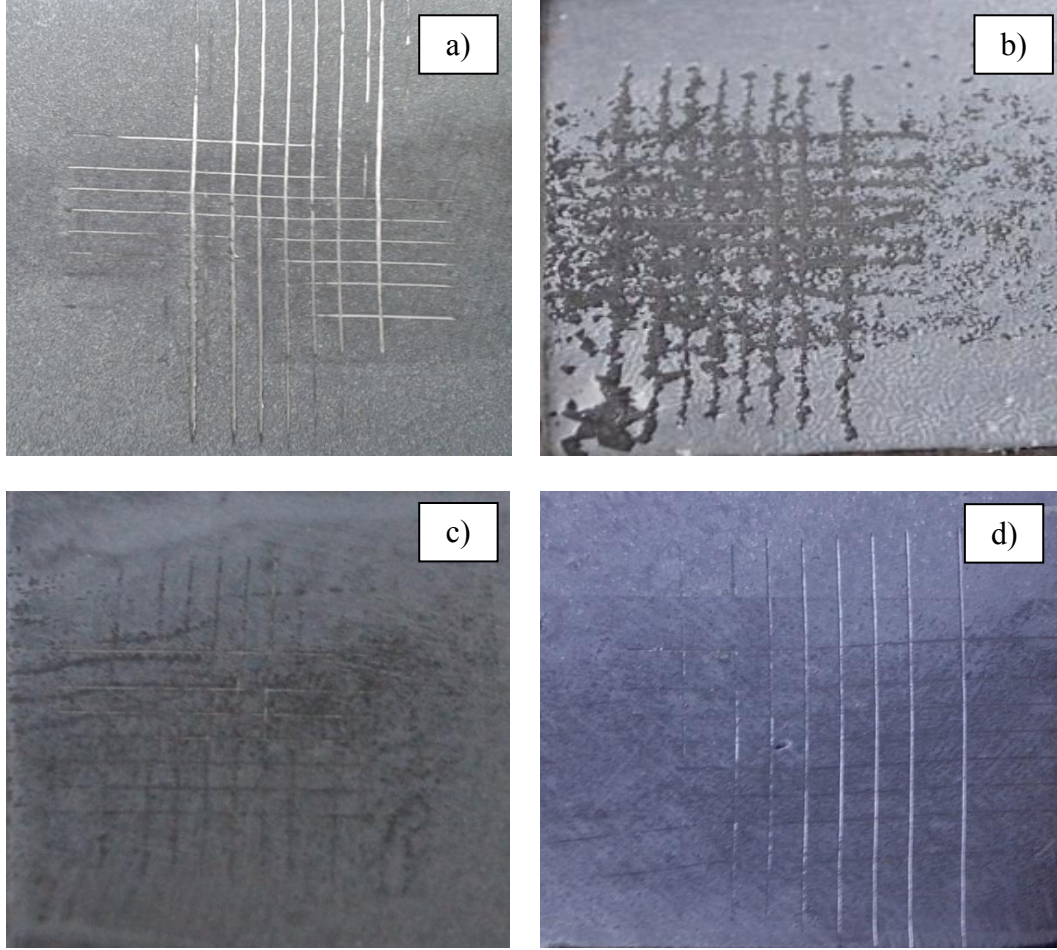
7.2.4. Cross-cut yapışma deneyi sonuçları

Şekil 7.28.'de kumlanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano Al_2O_3 toz katkı 4 bileşime ait kaplamaların cross-cut yapışma deneyi sonuçları görülmektedir.



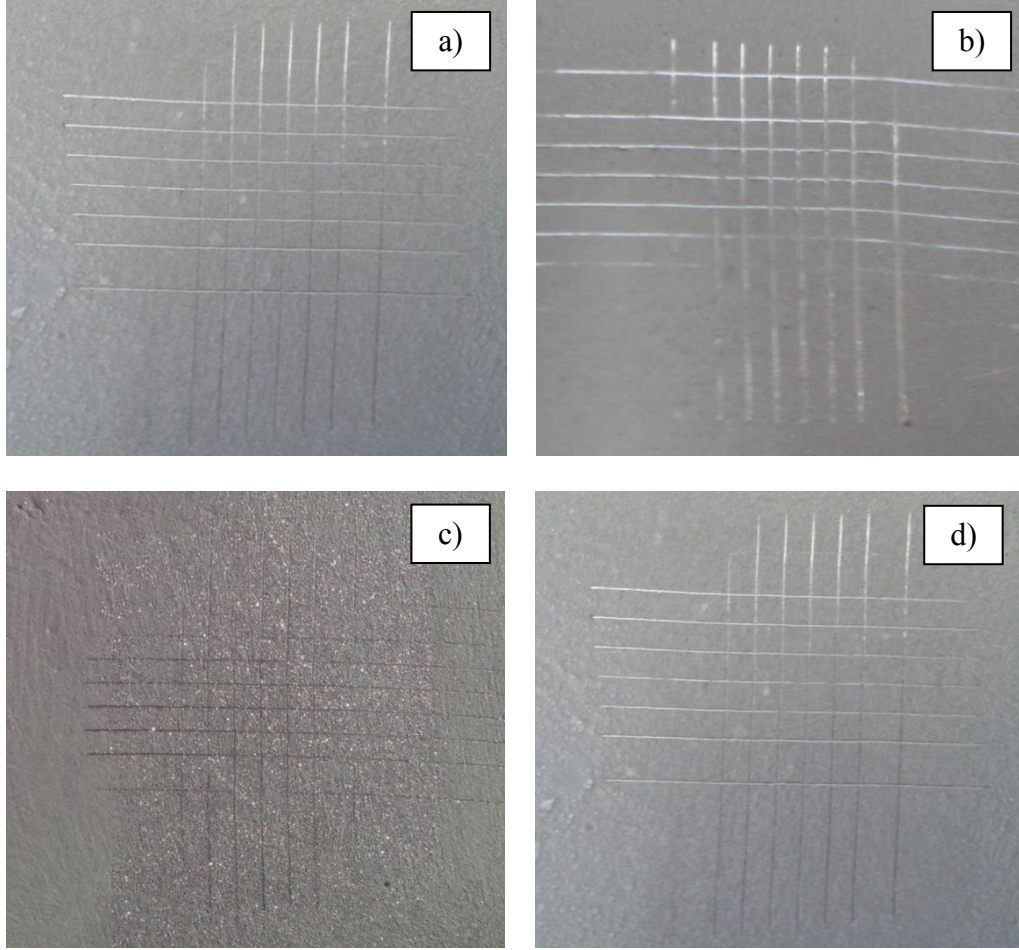
Şekil 7.28. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkı polimer kaplamaların kumlanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.

Tablo 7.29.'da eloksallanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano Al_2O_3 toz katkılı 4 bileşime ait kaplamaların cross-cut yapışma deneyi sonuçları görülmektedir.



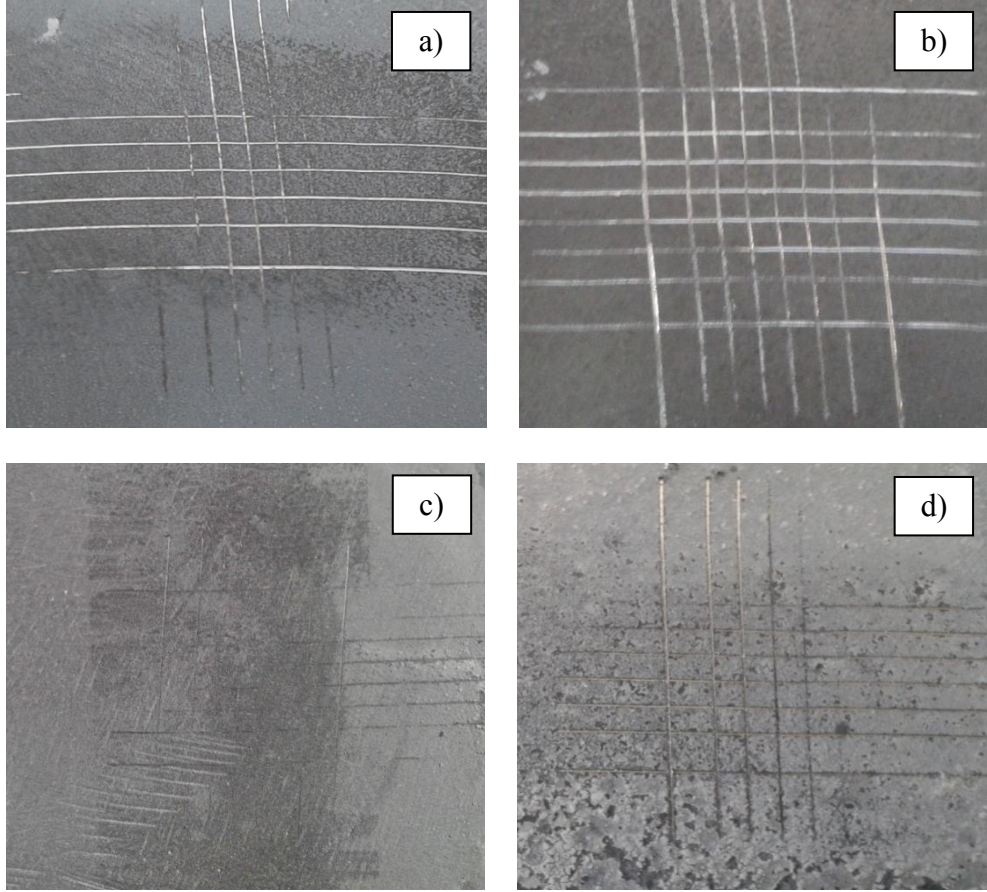
Şekil 7.29. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano Al_2O_3 toz katkılı polimer kaplamaların eloksallanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.

Şekil 7.30.'da kumlanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano SiO₂ toz katkıli 4 bileşime ait kaplamaların cross-cut yapışma deneyi sonuçları görülmektedir.



Şekil 7.30. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO₂ toz katkıli polimer kaplamaların kumlanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.

Şekil 7.31.'de eloksallanmış alüminyum altlıklara uygulanmış olan nano SiO₂ toz katkıli 4 bileşime ait kaplamaların cross-cut yapışma deneyi sonuçları görülmektedir.



Şekil 7.31. a) Birinci bileşim, b) ikinci bileşim, c) üçüncü bileşim ve d) dördüncü bileşime sahip nano SiO₂ toz katkıli polimer kaplamaların eloksallanmış alüminyum altlıklardaki cross-cut yapışma deneyi sonuçları.

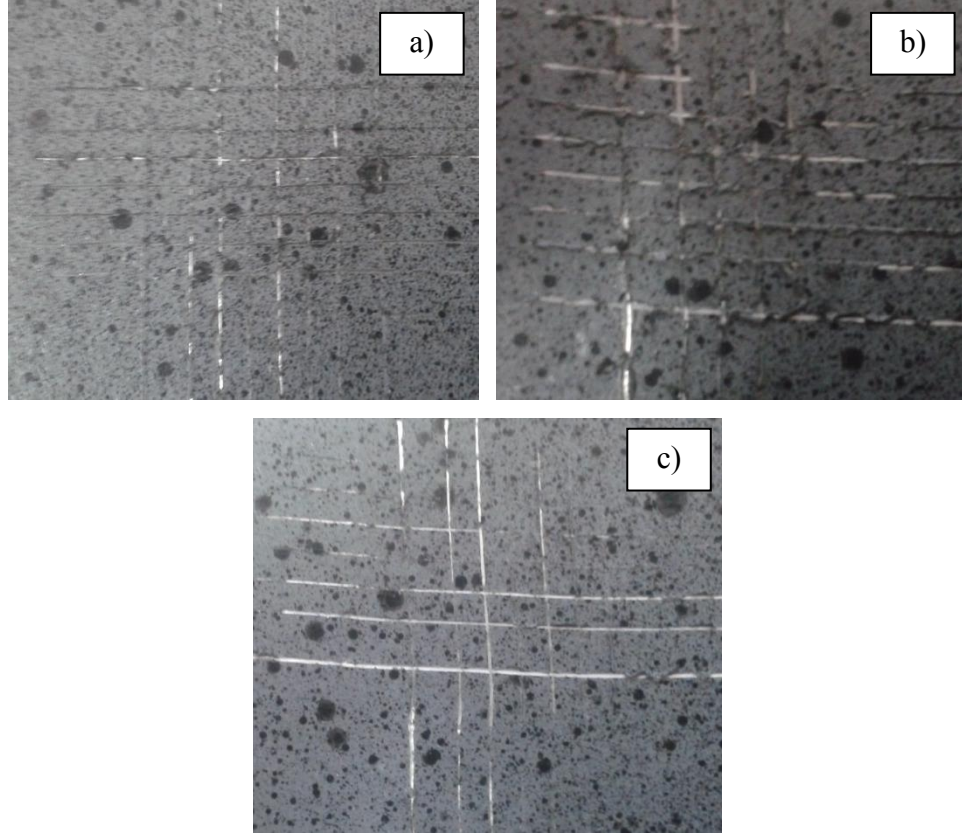
Kaplamaların kontak açısı ve yüzeye tutunma davranışlarına göre optimum kaplamanın seçimi yapılmıştır. Tablo 7.1.'de nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkıları 4 farklı bileşime sahip kaplamaların kumlanmış ve eloksallanmış alüminyum altlık yüzeylerinde göstermiş oldukları kontak açısı değerleri ve kaplamaların yüzeye tutunmasını belirleyen cross-cut deney sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.1. Nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkıları polimer kaplamaların kumlanmış ve eloksallanmış alüminyum altlıklardaki temas açısı ve cross-cut yapışma deneyi sonuçları.

Nano toz	Kaplama No	Yüzey İşlemi	Temas açısı	Cross-cut (ASTM)
Al_2O_3	1. Bileşim	Kumlanmış	Su emici	1B
		Eloksallanmış	Su emici	1B
	2. Bileşim	Kumlanmış	117,5°	3B
		Eloksallanmış	79,7°	0B
	3. Bileşim	Kumlanmış	70,6°	4B
		Eloksallanmış	68,6°	3B
	4. Bileşim	Kumlanmış	105,2°	1B
		Eloksallanmış	44,5°	0B
SiO_2	1. Bileşim	Kumlanmış	Su emici	4B
		Eloksallanmış	Su emici	1B
	2. Bileşim	Kumlanmış	113,1°	5B
		Eloksallanmış	108,9°	4B
	3. Bileşim	Kumlanmış	49,0°	0B
		Eloksallanmış	47,7°	0B
	4. Bileşim	Kumlanmış	142,0°	1B
		Eloksallanmış	133,8°	2B

Tablo 7.1.'deki sonuçlar incelendiğinde kontak açısı ve Cross-cut deney sonuçları bakımından kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 katkıları ikinci bileşime sahip polimer kaplamanın optimum özellik gösterdiği görülmektedir.

Şekil 7.32.'de farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait cross-cut yapışma deneyi sonuçları görülmektedir.



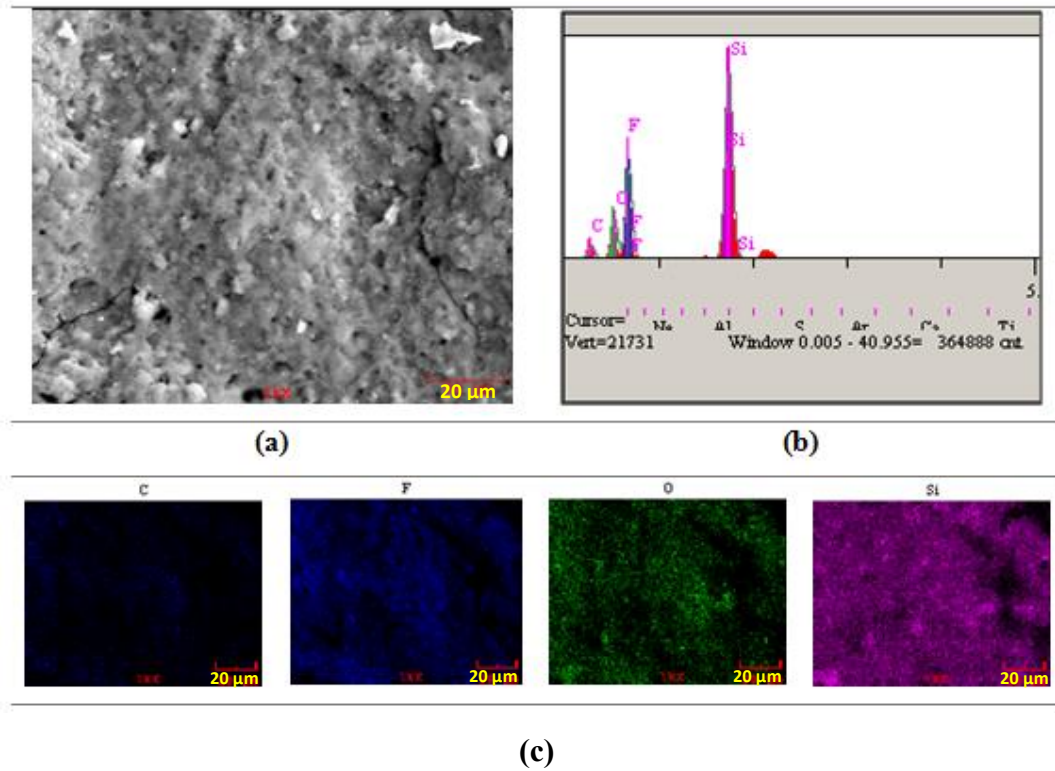
Şekil 7.32. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlıklara uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait cross-cut yapışma deneyi sonuçları.

Şekil 7.32.'deki cross-cut yapışma deneyi sonuçları incelendiğinde kumlanmış alüminyum altlık malzemesindeki granit görünümlü polimer kaplamada bıçağın kestiği yerler tümüyle düzgündür ve kafesin karelerinin hiçbiri çıkmamıştır. Bu durumda ASTM 5B tipine uygun davranış gösterdiği söylenebilmektedir. Eloksallama ve parlatma yüzey işlemi görmüş alüminyum altlığa uygulanmış olan kaplamada karelerin kesişme yerlerinde küçük film parçacıkları ayrılarak alanın yaklaşık % 5'lik bir kısmının tahribatına neden olmuştur. Bu durumda kaplama ASTM 4B tipine uygun davranış göstermektedir.

7.2.5. SEM ve EDS analizi sonuçları

Deneysel çalışmalar esnasında iyi performans özellikleri göstermiş olan nano SiO_2 toz katkılı ikinci bileşime sahip SiO_2 kaplama ve granit görünümlü kaplamaya ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 7.33. ile Şekil 7.43. arasında görülmektedir.

Şekil 7.33.'te kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamaya ait 1000X büyütmede alınmış SEM yüzey görüntüsü ve elementel dağılım analizi görülmektedir.

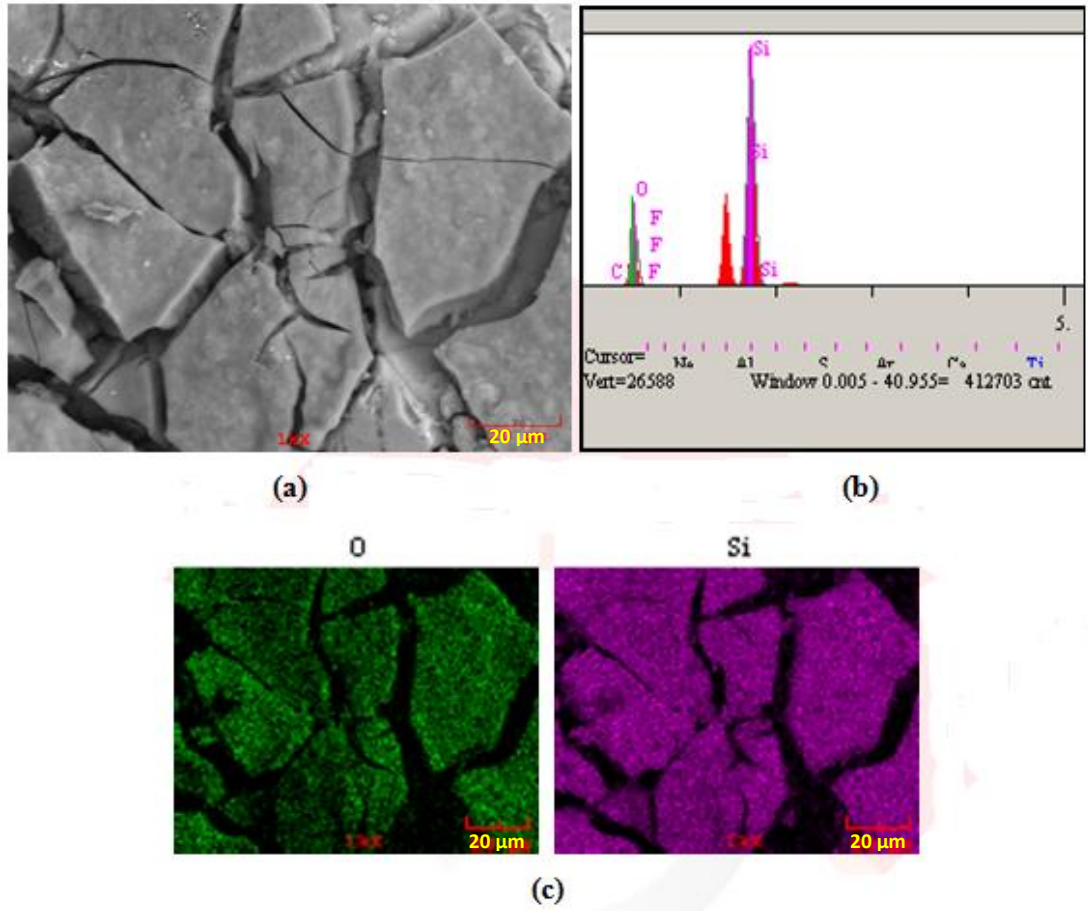


Şekil 7.33. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren ikinci bileşime ait kaplamaya ait a) SEM yüzey görüntüsü, b) elementel analiz dağılımı ve c) alan haritalama.

Şekil 7.33. (b)'den de görüldüğü üzere elementel analiz dağılımında C, F, O ve Si elementlerinin kaplama içerisindeki dağılımı görülmektedir. C ve F elementlerinin kaplama içerisine ilave ettiğimiz Teflon'dan $(\text{CF}_2)_n$ geldiği düşünülmektedir. O ve Si elementlerinin de kaplama çözeltisinin hazırlanılmasında kullanılan TEOS bazlı

inorganik bileşikten geldiği düşünülmektedir. Aynı zamanda Si elementi kaplamaya ilave edilen nano SiO₂ tozundan da gelmektedir.

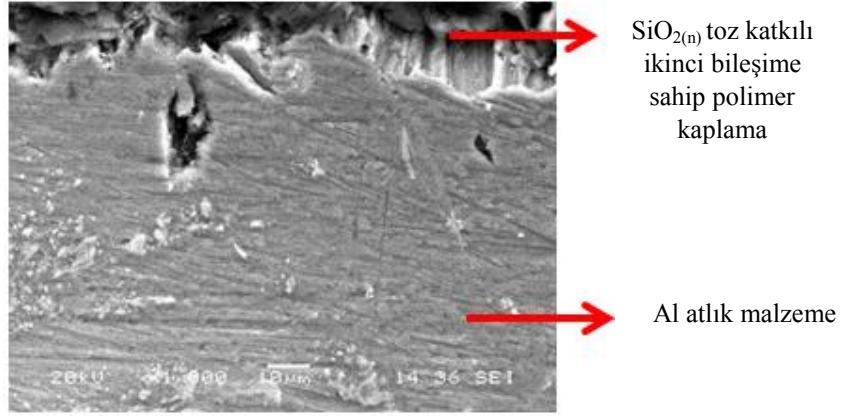
Şekil 7.34.'de kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO₂ tozu içeren üçüncü bileşime sahip kaplamaya ait 1000X büyütmede alınmış SEM yüzey görüntüsü ve elementel dağılım analizi görülmektedir.



Şekil 7.34. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO₂ tozu içeren üçüncü bileşime ait kaplamanın a) SEM yüzey görüntüsü, b) elementel analiz dağılımı ve c) alan haritalama.

Şekil 7.34. (b)'den de görüldüğü üzere elementel analiz dağılımında O ve Si elementlerinin kaplama içerisindeki dağılımı görülmektedir. O ve Si elementlerinin de kaplama çözeltisinin hazırlanılmasında kullanılan TEOS bazlı inorganik bileşikten geldiği düşünülmektedir. Aynı zamanda Si elementi kaplamaya ilave edilen nano SiO₂ tozundan da gelmektedir. Üçüncü bileşime sahip kaplama Teflon içermediğinden dolayı C ve F elementleri analizde mevcut değildir.

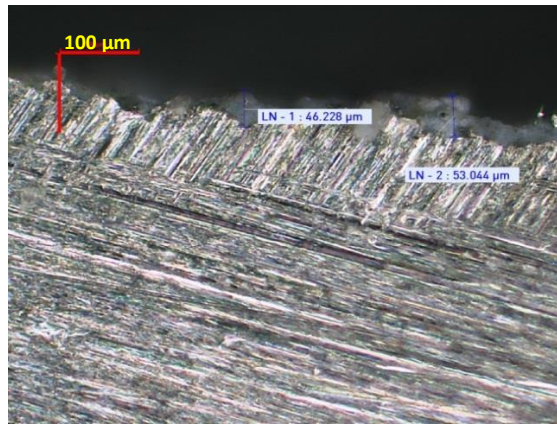
Şekil 7.35.'te kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren İkinci bileşime sahip kaplamaya ait 1000X büyütmede alınmış SEM enine kesit görüntüsü görülmektedir.



Şekil 7.35. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren ikinci bileşime ait kaplamanın SEM enine kesit görüntüsü.

Şekil 7.35.'teki görüntü incelendiğinde; kaplamanın girintili çıkıntılı olduğunu söyleyebilmek mümkündür. Yüzeydeki kaplama malzemesinin kesme diskinden etkilendiği düşünülmektedir. Polimer esaslı bir kaplama olduğundan dolayı kesme esnasında oluşan ısı kaplamanın yüzeye sıvanmasına neden olur.

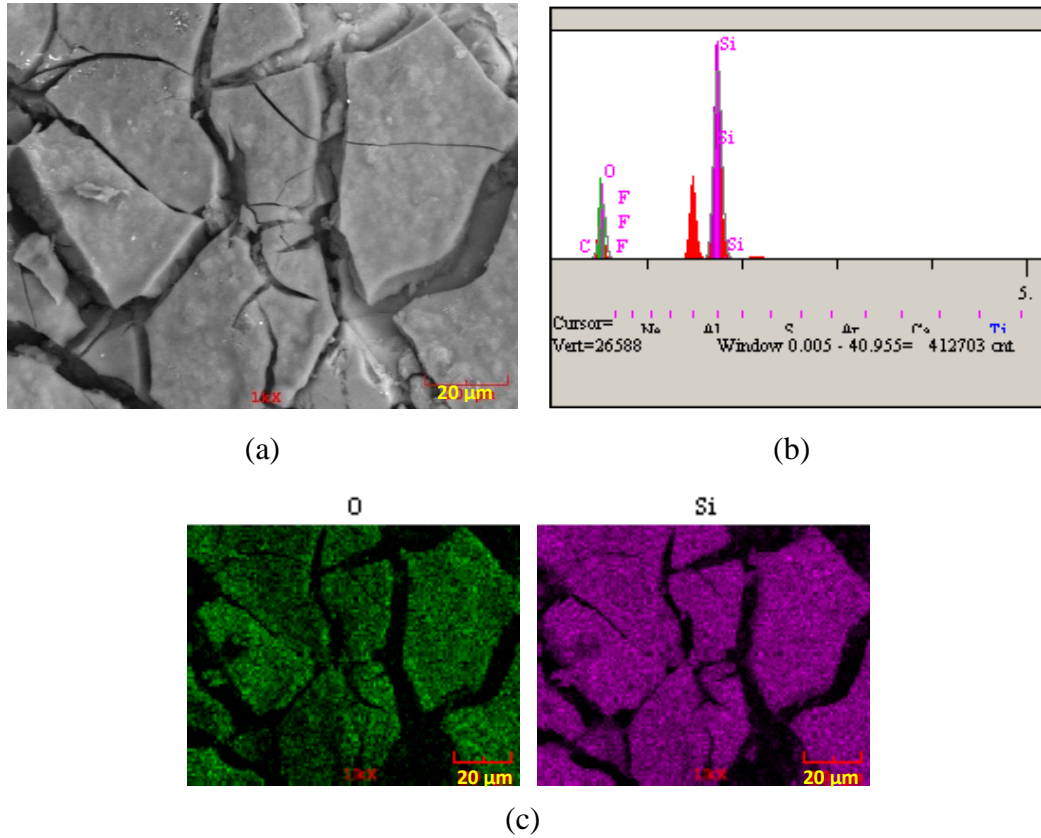
Şekil 7.36.'da nano SiO_2 toz katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın üç boyutlu optik mikroskopta elde edilmiş enine kesit görüntüsü görülmektedir.



Şekil 7.36. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren ikinci bileşime ait kaplamanın üç boyutlu optik mikroskoptaki enine kesit görüntüsü.

Şekil 7.36.'daki görüntü incelendiğinde kaplama kalınlığı ortalama olarak 48 μm olarak ölçülmüştür.

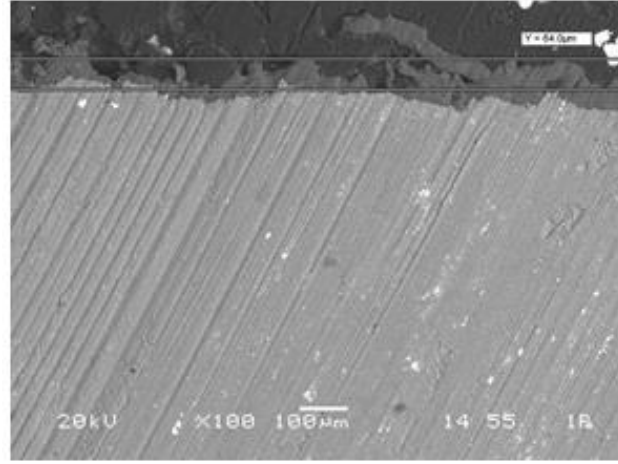
Şekil 7.37.'de kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren üçüncü bileşime sahip kaplamaya ait 1000X büyütmede alınmış SEM yüzey görüntüsü ve elementel dağılım analizi görülmektedir.



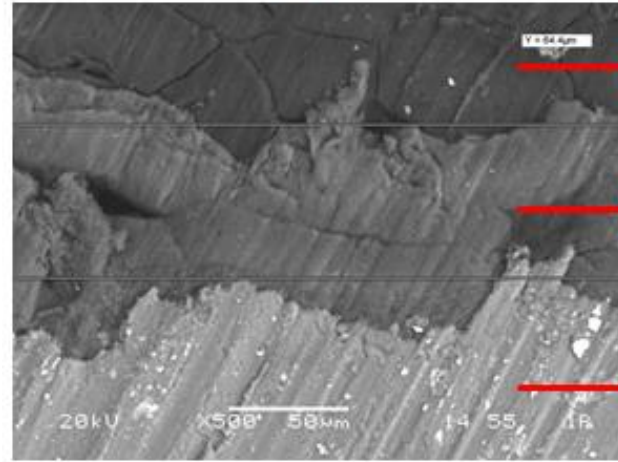
Şekil 7.37. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren üçüncü bileşime ait kaplamanın a) SEM yüzey görüntüsü, b) elementel analiz dağılımı ve c) alan haritalama.

Şekil 7.37. (b)'den de görüldüğü üzere elementel analiz dağılımında O ve Si elementlerinin kaplama içerisindeki dağılımı görülmektedir. O ve Si elementlerinin de kaplama çözeltisinin hazırlanılmasında kullanılan TEOS bazlı inorganik bileşikten geldiği düşünülmektedir. Aynı zamanda Si elementi kaplamaya ilave edilen nano SiO_2 tozundan da gelmektedir. Üçüncü bileşime sahip kaplama Teflon içermediğinden dolayı C ve F elementleri analizde mevcut değildir.

Şekil 7.38.'de kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait sırasıyla 100X ve 500X büyütmede elde edilmiş SEM enine kesit görüntüleri görülmektedir.



(a)

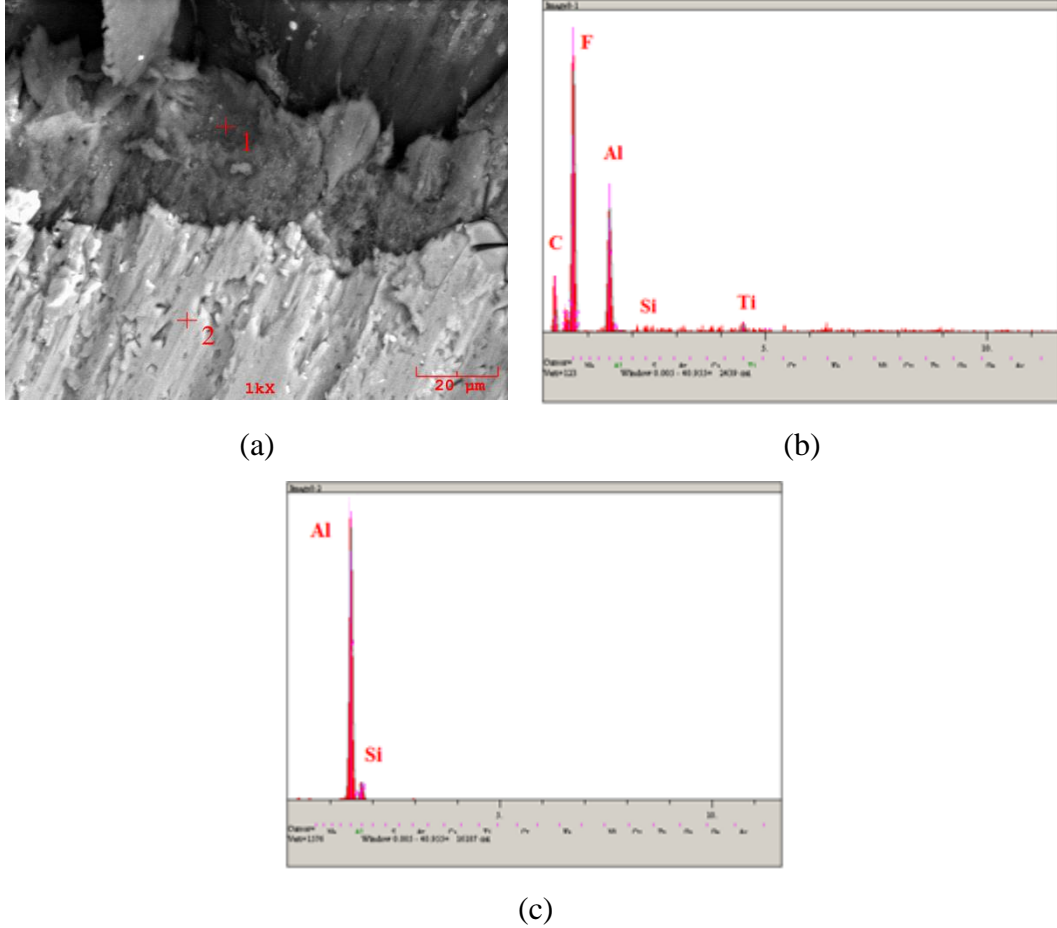


(b)

Şekil 7.38. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın a) 100X ve b) 500X büyütmede elde edilmiş enine kesit SEM görüntüsü.

Şekil 7.38.'deki görüntüler incelendiğinde kaplamanın kalınlığının 64 µm olduğu görülmektedir. Kaplama tabakasının kesme esnasında yüzeye sıvanmasını engellemek için kaplama malzemesi iletken bakalite alınmıştır.

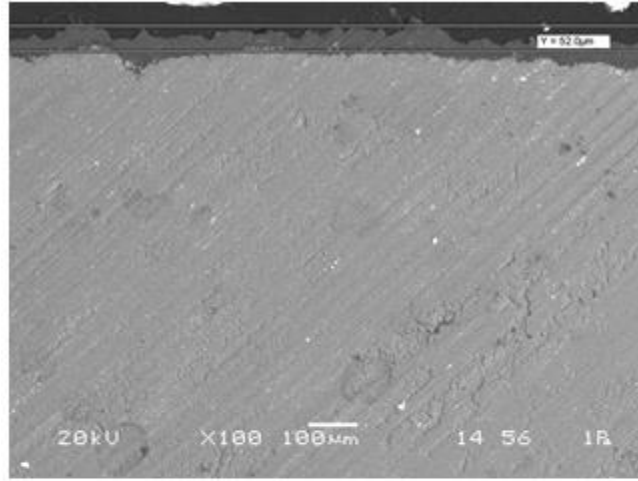
Şekil 7.39.'da kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait EDS analizi sonuçları görülmektedir.



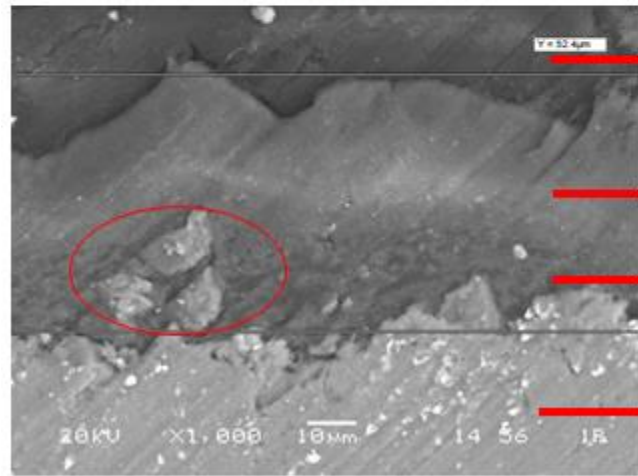
Şekil 7.39. Kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın (a) SEM görüntüsü (b) kaplama bölgesinin ve (c) altlık malzemesinin EDS analizi.

Şekil 7.39. (a)'daki görüntüler incelendiğinde hem kaplama bölgesinden hem de altlık malzemesinden EDS analizi alındığı görülmektedir. Şekil 7.23. (b)'de kaplama bileşiminde F, C ve Al elementleri ve az miktarda da olsa Si ve Ti elementlerinin varlığı görülmektedir. Flor ve karbon elementlerinin varlığından Teflon (CF₂)_n bazlı bir kaplama malzemesi olduğunu söyleyebilmek mümkündür. Kaplama malzemesi içerisine alüminyum elementinin kesme esnasında altlık malzemesinden geldiği düşünülmektedir. Şekil 7.23. (c)'de altlık malzemesinden alınan EDS analizi sonuçlarında Al ve Si elementlerinin varlığı ile altlık malzemesinin Al-Si alaşımı olduğu kanıtlanmıştır.

Şekil 7.40.'da eloksallanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait sırasıyla 100X ve 1000X büyütmede elde edilmiş SEM enine kesit görüntüleri görülmektedir.



(a)

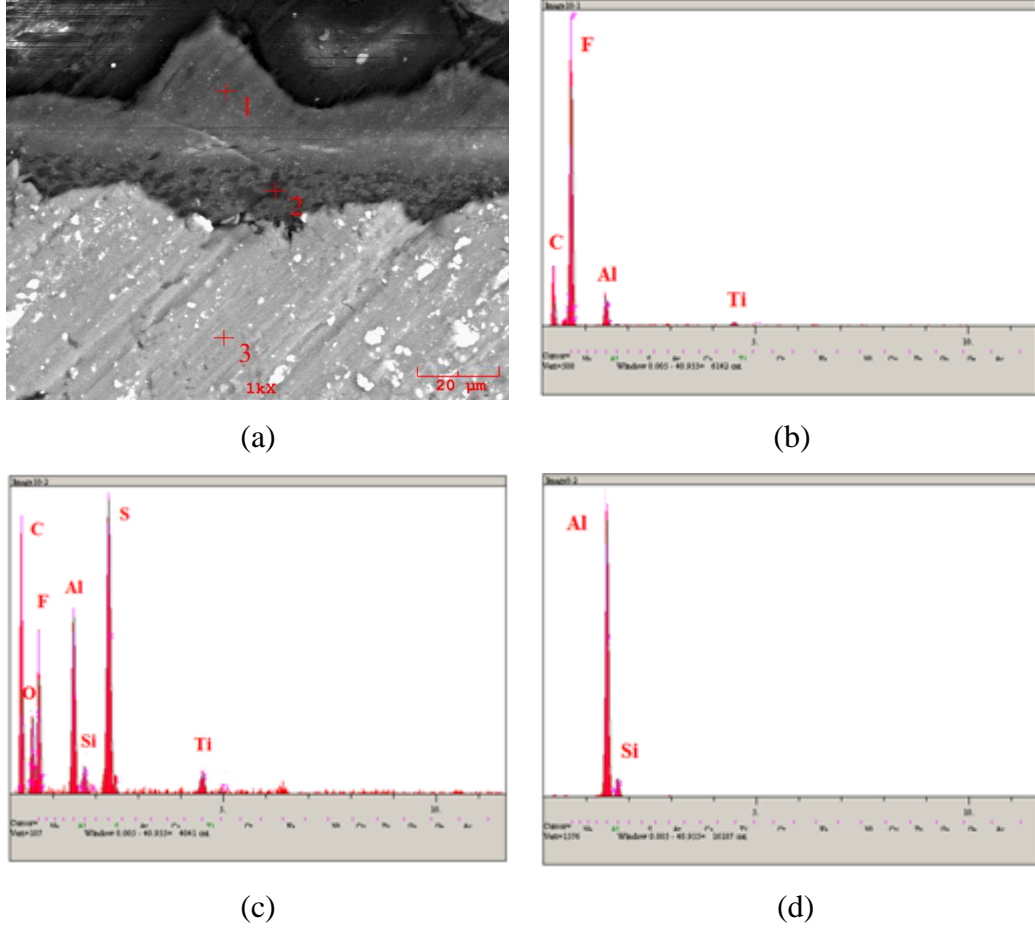


(b)

Şekil 7.40. Eloksallanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın (a) 100X ve (b) 1000X büyütmede elde edilmiş enine kesit SEM görüntüsü.

Şekil 7.40.'daki görüntüler incelendiğinde eloksallama tabakası ile birlikte kaplama kalınlığının 52 μm olduğu belirlenmiştir. Eloksallama tabakası kaplamaya göre daha koyu renklidir. Kesme işlemi sırasında kaplamaya bir miktar altlık malzemenin geçtiği görülmektedir.

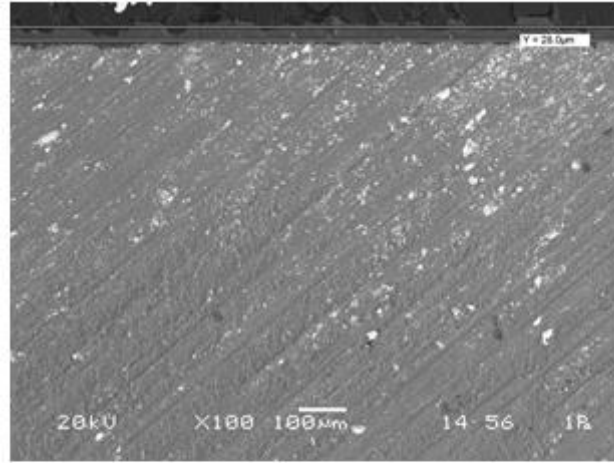
Şekil 7.41.'de eloksalanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü kaplamaya ait EDS analizi sonuçları görülmektedir.



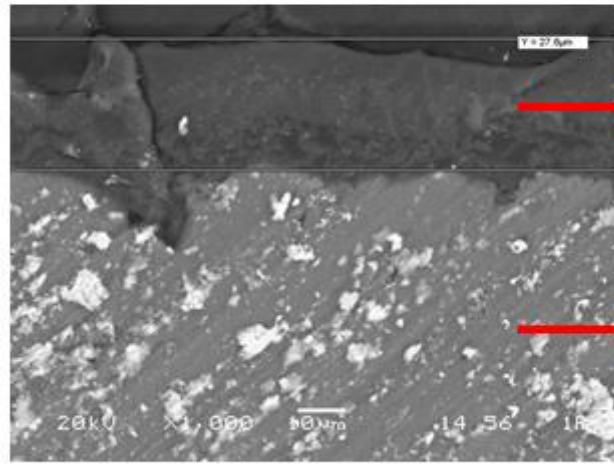
Şekil 7.41. Eloksalanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın (a) SEM görüntüsü (b) kaplama bölgesinin (c) eloksallama bölgesinin ve (d) altlık malzemesinin EDS analizi.

Şekil 7.41. (a)'daki görüntü incelendiğinde 3 farklı bölgeden alınmış enine kesit SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 7.25. (b)'de kaplama bileşiminde bulunan elementlerin şiddetine bakıldığında kumlanmış alüminyum altlık malzemesine göre daha az alüminyum kaplama içerisine nüfuz etmiştir. Şekil 7.25. (c)'de eloksallama bölgesinden alınan EDS analizi sonuçlarına bakıldığında alüminyum ve oksijenin varlığı Al_2O_3 oksit tabakasının oluştuğunu, kükürt (S) elementinin varlığı ise eloksallama ortamının sülfürik asit (H_2SO_4) ile gerçekleştiğini kanıtlamaktadır.

Şekil 7.42.'de parlatılmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait sırasıyla 100X ve 1000X büyütmede elde edilmiş SEM enine kesit görüntüleri görülmektedir.



(a)

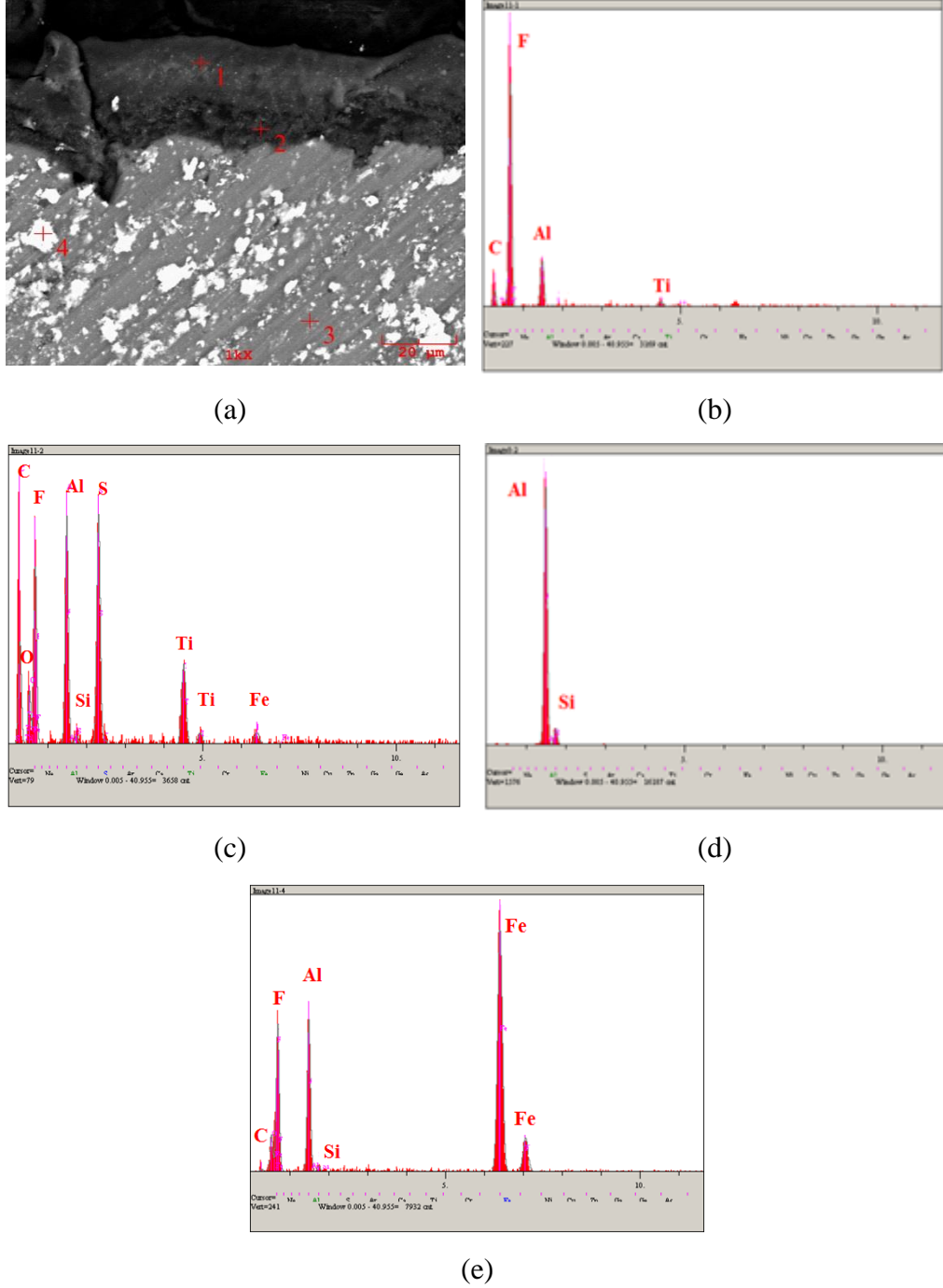


(b)

Şekil 7.42. Parlatılmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü kaplamanın (a) 100X ve (b) 1000X büyütmede elde edilmiş enine kesit SEM görüntüsü.

Şekil 7.42.'deki görüntüler incelendiğinde parlatılmış alüminyum altlık malzemesine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın kalınlığı 28 µm olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7.43.'te parlatılmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait EDS analizi sonuçları görülmektedir.



Şekil 7.43. Parlatılmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın (a) SEM görüntüsü (b-c) kaplama bölgesinin ve (d-e) altlık malzemesinin EDS analizi.

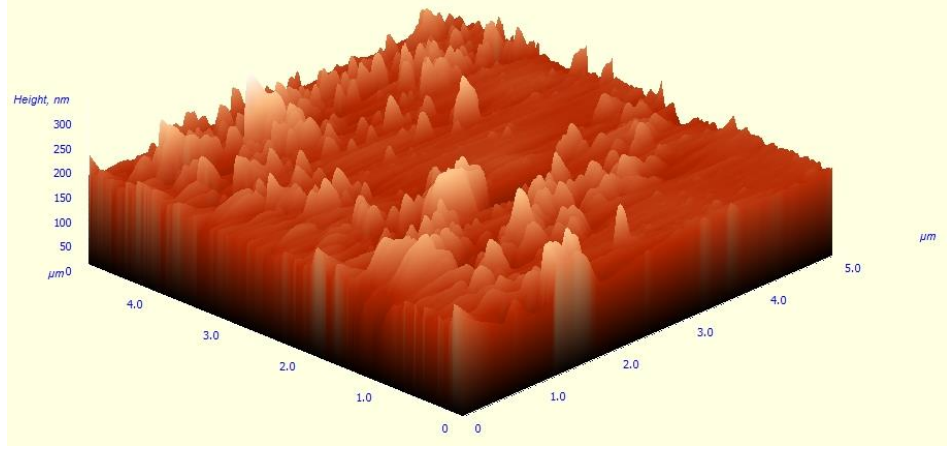
Şekil 7.43. (a)'dan da görüldüğü üzere kaplama bileşimindeki elementlerin varlığı diğer yüzey işlemi görmüş alüminyum altlık malzemelerdeki ile aynı olduğu görülmektedir. Alüminyum altlık numunesine parlatma işleminden önce eloksallama yüzey işlemi yapıldığı Şekil 7.43. (c)'de Al, O ve S elementlerinin varlığından anlaşılmaktadır. Eloksallama işleminde yüzeyde oksit tabakasının oluşmasından dolayı bu elementler görülmektedir. Kükürt elementi eloksallama ortamında kullanılan sülfürik asitten kaynaklıdır. Az miktarda Fe elementinin ise kesme işlemi sırasında diskten geldiği düşünülmektedir. Şekil 7.43. (e)'de Fe elementinin varlığının daha fazla olduğu görülmektedir. Altlık kısmından alınan EDS analizinde kaplama bileşimindeki elementlerin varlığı kesim esnasında kaplamanın yüzeye sıvandığını göstermektedir. Polimer esaslı bir kaplama olmasından dolayı kesme işlemi sırasında oluşan ısıdan etkilenmiş olduğu düşünülmektedir.

7.2.6. AFM incelemeleri

Kaplamaların yüzey özelliklerini incelerken pürüzlülük kavramı da önem teşkil etmektedir. AFM incelemeleri hem temas açısı kavramını hem de kaplamanın yüzey karakteristiğini anlamamızda yardımcı olmaktadır. Fakat bu inceleme ile yüzeyin tamamını değil belli bir kısmını karakterize edeceğimizden dolayı da yorumlama yaparken geneli de göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Kumlanmış alüminyum altlıklara uygulanmış nano Al_2O_3 ve SiO_2 içeren ikinci bileşime sahip kaplamaların hepsinin yüzey profili hem temas açısı değerlerinin hem de cross-cut sonuçlarının iyi olmasından dolayı incelenmiştir. AFM görüntülerinin incelenmesinde cihazlardan kaynaklanan sorunlar nedeniyle 2 farklı cihazdan görüntüler alınmıştır.

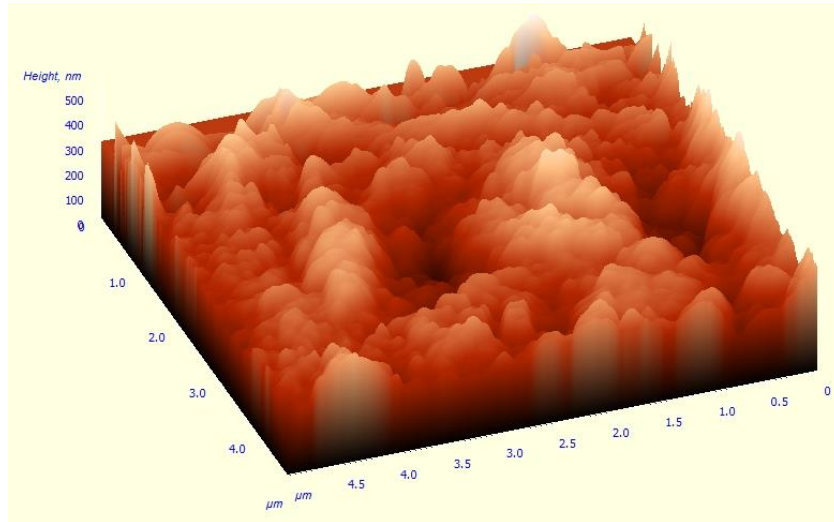
Şekil 7.44.'de kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano Al_2O_3 tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamanın AFM görüntüsü görülmektedir. (5x5) μm 'lik bir alan taraması yapılmıştır.



Şekil 7.44. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano Al_2O_3 tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamanın AFM görüntüsü.

Şekil 7.44.'den de görüldüğü üzere nano Al_2O_3 tozu içeren ikinci bileşime ait kaplamanın kumlanmış alüminyum altlıktaki yüzey pürüzlülüğü değeri $1,475 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

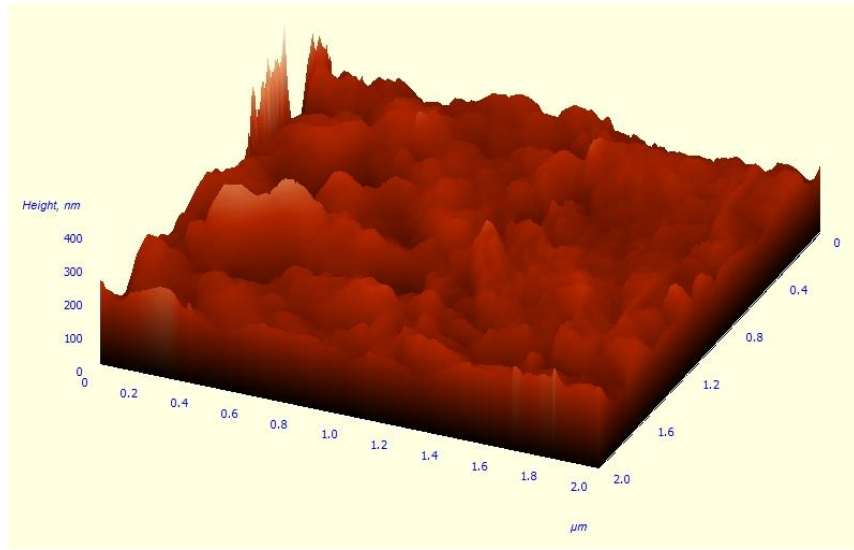
Şekil 7.45.'da kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamanın AFM görüntüsü görülmektedir. $(5 \times 5) \mu\text{m}$ 'lik bir alan taraması yapılmıştır.



Şekil 7.45. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano SiO_2 tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamanın AFM görüntüsü.

Şekil 7.45.'ten de görüldüğü üzere nano SiO₂ tozu içeren ikinci bileşime ait kaplamanın kumlanmış alüminyum altlıktaki yüzey pürüzlülüğü değeri 2,271 µm olarak ölçülmüştür.

Şekil 7.46.'da kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamaya ait AFM görüntüsü görülmektedir. (2x2) µm'lik bir alan taraması yapılmıştır.

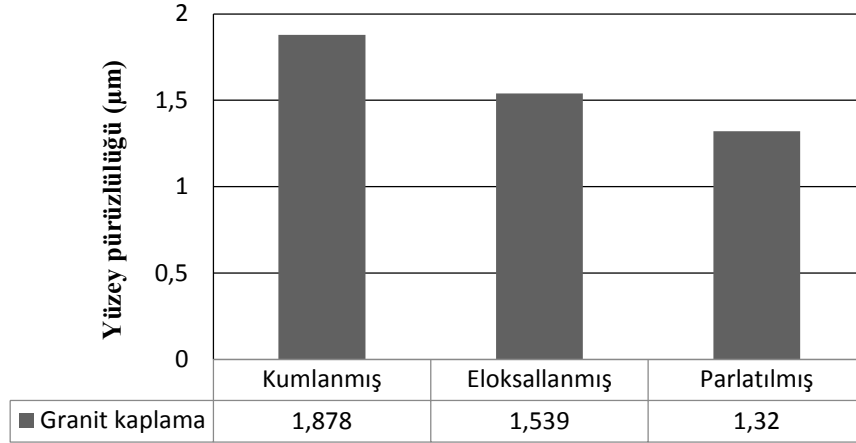


Şekil 7.46. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın AFM görüntüsü.

Şekil 7.46.'dan da görüldüğü üzere kumlanmış alüminyum altlıktaki granit görünümlü kaplamanın yüzey pürüzlülüğü değeri 2,056 µm olarak ölçülmüştür.

7.2.7. Yüzey pürüzlülüğü

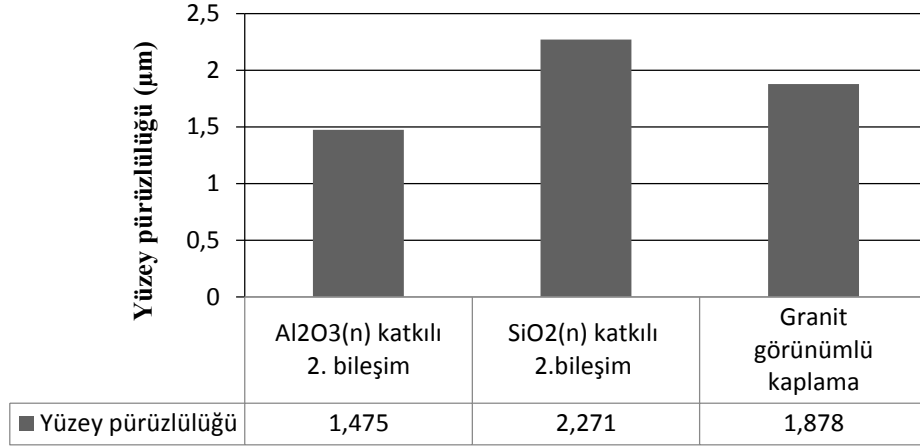
Şekil 7.47.'de yüzey işlemlerine bağlı olarak granit görünümlü polimer kaplamaların 5 ölçüm sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sütun grafiği halinde verilmektedir.



Şekil 7.47. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Şekil 7.47.'den de görüldüğü üzere kumlanmış alüminyum altlığa uygulanmış olan kaplamanın yüzey pürüzlülüğü değeri 1,878 μm ile en yüksektir. Bu, altlığa uygulanan yüzey işlemi ile ilgili olabilir. Eloksallanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış olan kaplamanın yüzey pürüzlülüğü değeri 1,539 μm iken parlatılmış altlıktaki değer 1,32 μm olduğu görülmektedir.

Şekil 7.48.'de kumlanmış alüminyum altlığa uygulanmış granit görünümlü polimer kaplamanın yüzey pürüzlülüğü değeri ile nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkılı polimer kaplamaların yüzey pürüzlülüğü değerleri karşılaştırılmaktadır.



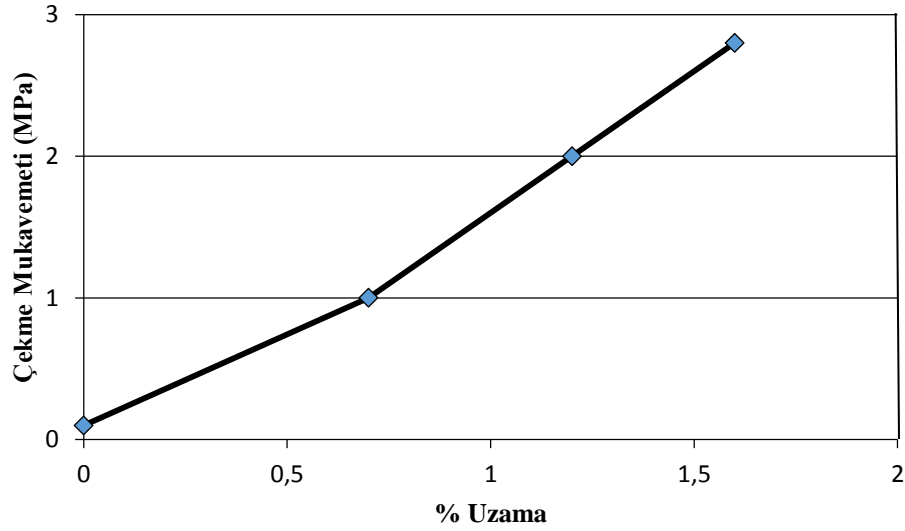
Şekil 7.48. Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıklara uygulanmış olan granit görünümlü kaplamalara ait yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Şekil 7.48.'deki görüntüler incelendiğinde kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış olan farklı kaplama bileşimlerinde en yüksek yüzey pürüzlülüğünün nano SiO_2 katkılı ikinci bileşime sahip kaplamada olduğu görülmüştür.

Altlık kaplama arasında güçlü bir bağlanma, yüzey üzerindeki nem, yağ ve oksit filmlerinin kaldırılması ve uygun bir yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesiyle sağlanmaktadır.

7.2.8. Kaplama adezyonu ve ölçümü

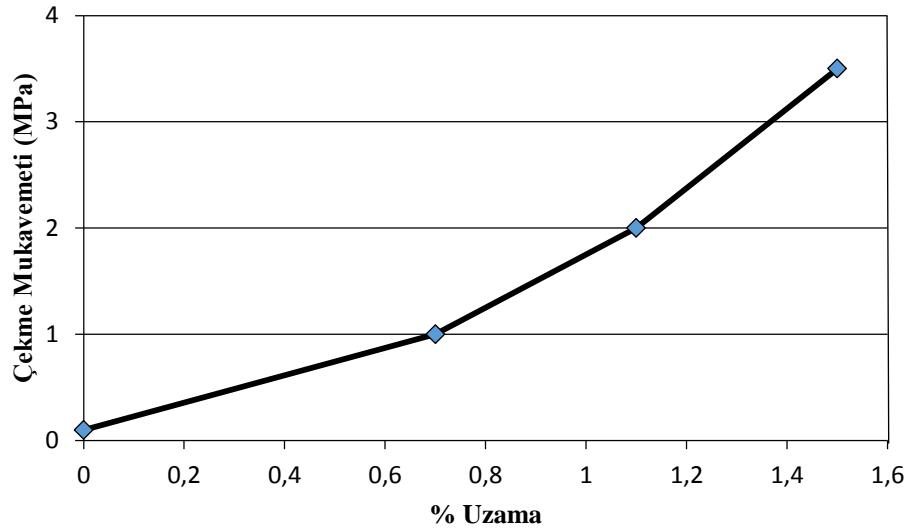
Şekil 7.49'da granit görünümlü polimer kaplamanın ASTM C633 testi sonrasında elde edilen ilk deneye ait mukavemet-yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 7.49. Granit görünümlü polimer kaplamanın LOCTİTE 407 ile yapılan ASTM C633 testi sonrasında elde edilen ilk deneye ait mukavemet-yüzde uzama eğrisi.

Şekil 7.49.'daki grafikten de görüldüğü üzere yapıştırıcının kaplama yüzeyinden ayrılması için gerekli olan mukavemet değeri 2,80 MPa olarak belirlenmiştir.

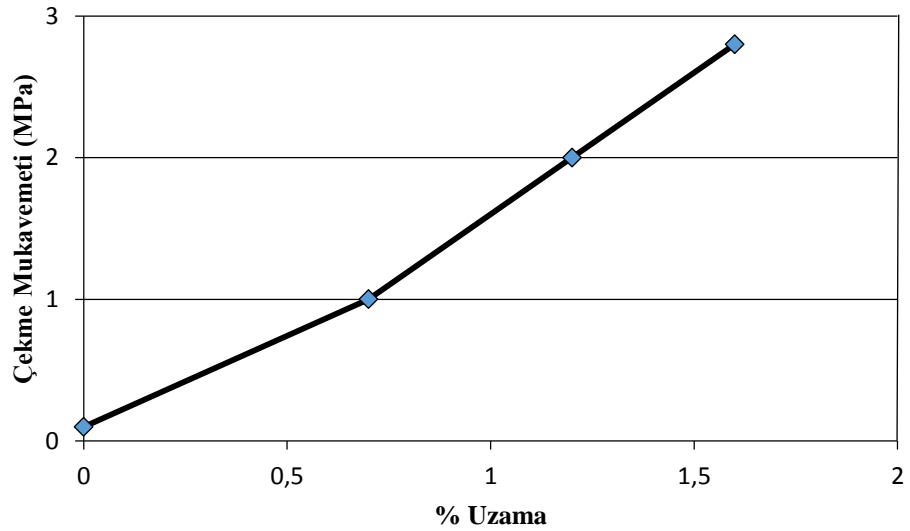
Şekil 7.50'de granit görünümlü polimer kaplamanın ASTM C633 testi sonrasında elde edilen ikinci deneye ait mukavemet-yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 7.50. Granit görünümlü polimer kaplamanın LOCTİTE 407 ile yapılan ASTM C633 testi sonrasında elde edilen ikinci deneye ait mukavemet-yüzde uzama eğrisi.

Şekil 7.50.'deki grafikten de görüldüğü üzere yapıştırıcının kaplama yüzeyinden ayrılması için gerekli olan çekme mukavemeti değeri 3,50 MPa olarak belirlenmiştir.

Şekil 7.51'de granit görünümlü polimer kaplamanın ASTM C633 testi sonrasında elde edilen üçüncü deneye ait mukavemet-yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 7.51. Granit görünümlü polimer kaplamanın LOCTİTE 407 ile yapılan ASTM C633 testi sonrasında elde edilen üçüncü deneye ait mukavemet-yüzde uzama eğrisi.

Şekil 7.51.'deki grafikten de görüldüğü üzere yapıştırıcının kaplama yüzeyinden ayrılması için gerekli olan çekme mukavemeti değeri 2,50 MPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 7.2.'de üç deney sonrasında elde edilen granit görünümlü polimer kaplamaların çekme mukavemeti değerleri verilmektedir.

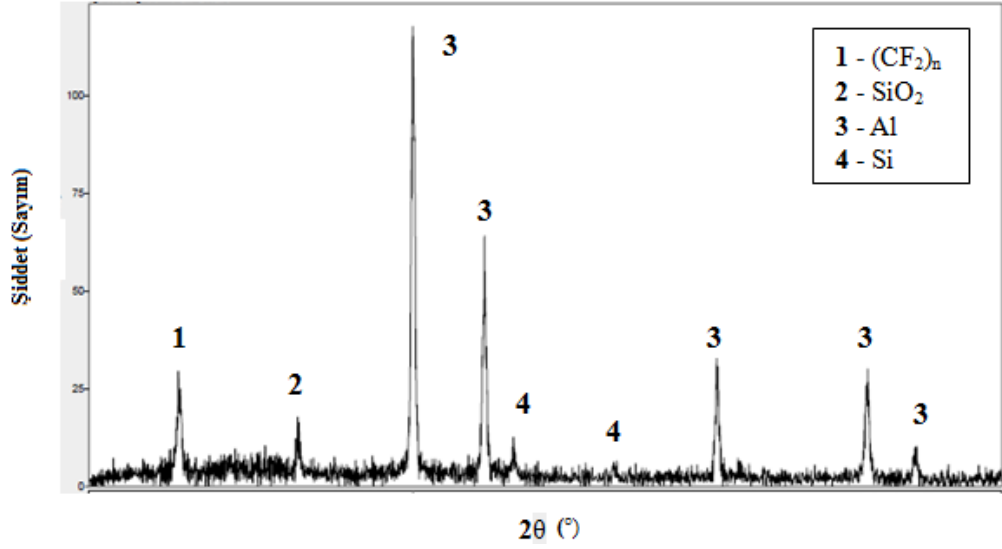
Tablo 7.2. Üç deney sonrasında elde edilen granit görünümlü polimer kaplamaların çekme mukavemeti değerleri.

Deney No	Çekme Mukavemeti (MPa)
1.	2,80
2.	3,50
3.	2,50

Tablo 7.2.'den granit görünümlü polimer kaplamanın ortalama çekme mukavemeti değeri 2,93 MPa olarak belirlenmiştir. Çekme deneyi sonrasında her üç kaplama numunesi incelendiğinde yüzeyden kaplama tabakasının kalkmadığı ve yapıştırıcının alüminyum altlık malzeme yüzeyinde biriktiği görülmüştür. Bu durum, kaplamanın yüzeye tutunmasının iyi olduğunu göstermektedir.

7.2.9. XRD analizi

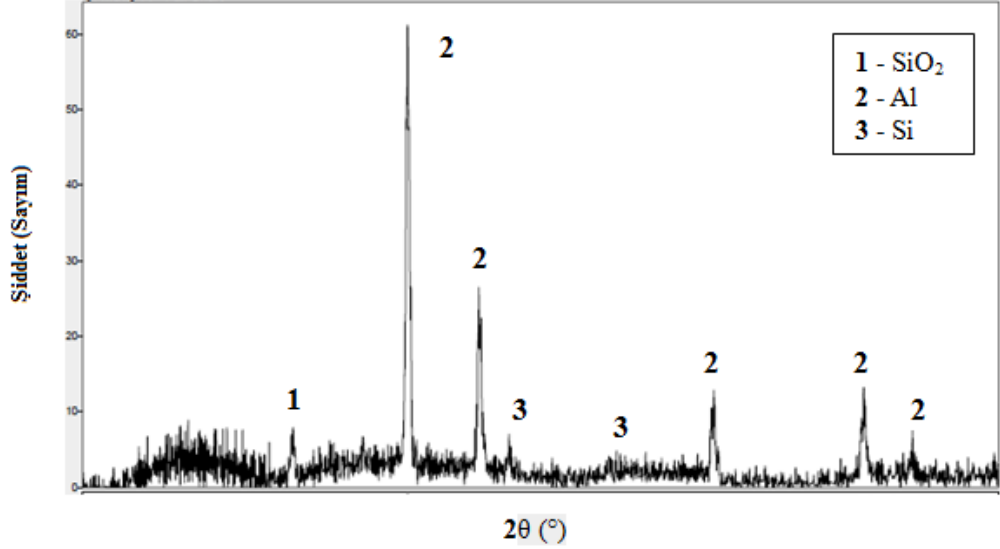
Şekil 7.52.'de kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano SiO₂ tozu içeren ikinci bileşime sahip kaplamanın XRD görüntüsü görülmektedir.



Şekil 7.52. Nano SiO₂ tozu içeren ikinci bileşime ait kaplamanın XRD analizi.

Şekil 7.52.'den de görüldüğü üzere SiO₂ piki kaplama içerisindeki nano tozun varlığını göstermektedir. İkinci bileşime sahip kaplamanın teflon içermesinden dolayı da (CF₂)_n piki görülmektedir. Al ve Si pikleri içinde altlık malzemesinden kaplama yüzeyine geçtiği düşünülmektedir.

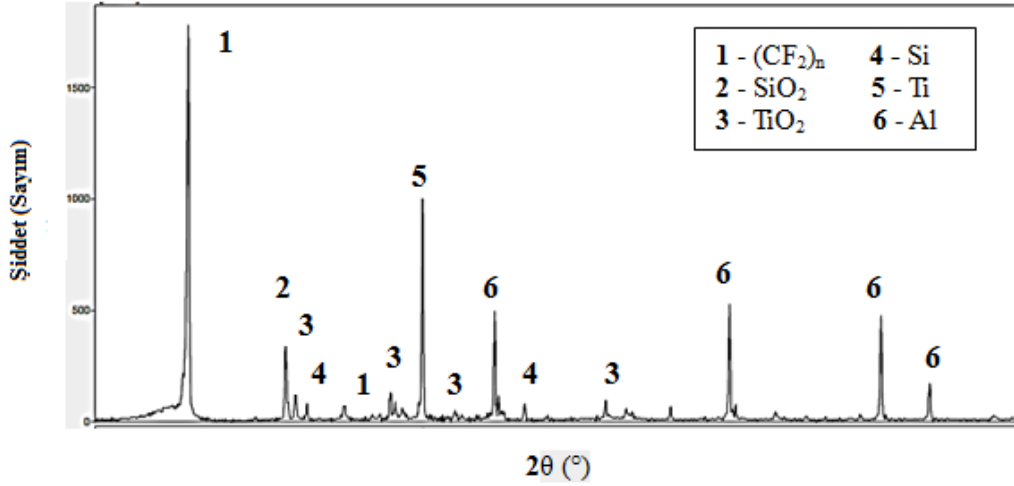
Şekil 7.53.'te kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış nano SiO₂ tozu içeren üçüncü bileşime sahip kaplamanın XRD görüntüsü görülmektedir.



Şekil 7.53. Nano SiO₂ tozu içeren üçüncü bileşime ait kaplamanın XRD analizi.

Şekil 7.53'ten de görüldüğü üzere nano SiO₂ pikinin varlığı görülmektedir. Al ve Si pikleri kaplamanın kullanıldığı altlıktan gelmektedir. Bu piklerin, kaplamada mevcut olan çatlak ve döküntülerden dolayı XRD analizinde yer aldığı düşünülmektedir. Üçüncü bileşime sahip kaplama teflon içermediğinden dolayı (CF₂)_n pikine rastlanılmamıştır.

Şekil 7.54.'de kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış granit görünümlü kaplamaya ait XRD analizinin sonucu görülmektedir.



Şekil 7.54. Kumlanmış alüminyum altlık numunesine uygulanmış granit görünümlü kaplamanın XRD analizi.

Şekil 7.54.'den de görüldüğü üzere granit görünümlü kaplamanın içerisinde Al, TiO₂, Ti, (CF₂)_n şeklinde gösterilen teflon, Si ve SiO₂ pikleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar EDS analizi sonuçları ile karşılaştırıldığında da benzerlik göstermektedir. Kaplamanın içerisindeki (CF₂)_n pikinin şiddetinin fazla olması teflon ağırlıklı bir kaplama olduğunu göstermektedir. Kaplamanın temas açısı değerinin yüksek olmasının nedeni de bu durumla ilişkilendirilmektedir.

BÖLÜM 8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Genel Sonuçlar

Altık malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde kumlanmış alüminyum altık numunesinin pürüzlülük değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu altık malzemesindeki kaplamanın yüzeye tutunması diğer yüzey işlemlerine göre daha iyi sonuç vermiştir.

Eloksallama yüzey işlemi sonrasındaki oluşan oksit tabakalarının düzenli bir yapı gösterdiği görülmüştür. Bu işlem sonucunda ölçülen eloksallama kalınlığı 15 µm olarak tespit edilmiştir.

Kumlanmış alüminyum altık numunesinin temas açısı değeri 63,7° olarak bulunmuş ve bu değer otomobil sektöründe kullanılan alüminyum kalıpların temas açısı ile uyum göstermiştir. Eloksallama işlemi sonucunda alüminyum altlığın temas açısı değerinin azaldığı görülmüştür. Parlatılmış alüminyum altık numunesinin temas açısı değeri 112,6° olarak bulunmuştur. Temas açısı değerinin yüksek çıkması altlığın üzerine yapılan kaplamanın yüzeyde tutunmasını zorlaştırmıştır.

Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altıkların XRD sonuçları incelendiğinde Alüminyum (Al) ve Silisyum (Si) kristallerine ait pikler görülmüştür. Yüzey işlemleri sonucunda başka bir faz oluşumu gerçekleşmemiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan altıkların Al-Si alaşımına ait olduğu kanıtlanmıştır.

Kaplamaların temas açısı değerleri incelendiğinde granit görümlü polimer kaplamanın üç farklı yüzey işleminde de en yüksek sonucu verdiği görülmüştür.

Nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkılı polimer kaplamalardan daha fazla hidrofobik özellik gösterdiğini söyleyebilmek mümkündür.

Nano Al_2O_3 ve SiO_2 toz katkılı farklı bileşimlere sahip polimer kaplamaların temas açısı ve Cross-cut sonuçları incelendiğinde kumlanmış alüminyum altlık yüzeyine uygulanmış nano SiO_2 katkılı ikinci bileşime sahip kaplamanın optimum özellik gösterdiği görülmüştür.

Granit görümlü polimer kaplamanın ASTM C633 testi sonrasında elde edilen mukavemet-yüzde uzama grafiği incelendiğinde yapıştırıcının kaplama yüzeyinden ayrılması için gerekli olan mukavemet değeri 2,93 MPa olarak belirlenmiştir. Çekme deneyi sonrasında kaplama numunesi incelendiğinde yüzeyden kaplama tabakasının kalkmadığı ve yapıştırıcının alüminyum altlık malzeme yüzeyinde biriktiği görülmüştür. Bu durum, kaplamanın yüzeye tutunmasının iyi olduğunu göstermektedir.

8.2. Öneriler

Eloksallama yüzey işlemindeki parametreler değiştirilebilir. Farklı asit çözeltileri kullanılarak kaplama bileşimlerinin yüzeyde daha iyi tutunması sağlanabilir.

Polimer kaplamalara ilave edilen nano tozlar ile birlikte hidrofobik özelliği kanıtlanmış olan nano TiO_2 tozu ilave edilerek kaplamaların kontak açısı değerleri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kurt, C., Toz püskürtme yöntemiyle bronz kaplanmış çelik malzemelerde kaplama ara yüzeylerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [2] Özel, S., Turhan, H., Sarsılmaz, F., AA2024 Alüminyum Alaşımı Yüzeyine $Al_2O_3/Al_2O_3+TiO_2$ Tozunun Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanması, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3): 503-508, 2008.
- [3] Özel, S., Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2 (1): 88-97, 2013.
- [4] US Army Corps of Engineers, Surface Preparation Painting, New Construction and Maintenance, Washington, ABD, p. 4-15, 1995.
- [5] Kambham K., Copper slag: optimization of productivity and consumption for cleaner production in dry abrasive blasting”, Journal of cleaner production, 15 (5): 465-473, 2007.
- [6] Satıcı, M.E., Kumlama işleminin ve bu işleme etkiyen parametrelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [7] Wang, H., Analysis on porous aluminum anodic oxide film formed in Re-OA- H_3PO_4 solution, Materials Chemistry and Physics, 97, p. 213-218, 2006.
- [8] Aluminum Alloys: Properties and Applications, Encyclopedia of Materials Science and Technology, p. 114-116, 2001.
- [9] Zhou, X., Sheasby, P.G., Scott, B.A, Coatings Produced by Anodic Oxidation, Shreir's Corrosion, p. 2503-2518, 2010.
- [10] Kaplanoglu, T.I., Theohari, S., Dimogerontakis, T., Wang, Y.M., Kia, S., Effect of alloy types on the anodizing process of aluminum, Surface and Coatings Technology, 200: 2634-2641, 2006.

- [11] Jorcin, J.B., Grave, I., Terryn, H., Comparison between the influence of applied electrode and electrolyte temperatures on porous anodizing of aluminium, *Electrochimica Acta*, 55: 3957-3965, 2010.
- [12] Diggle, J.W., Downie, T.C., Goulding C.W., Anodic oxide films on aluminum, *Chemical Reviews.*, 69: 365-405, 1969.
- [13] Poinern, G.E.J., Ali, N., Fawcett, D., Progress in nano-engineered anodic aluminum oxide membrane development, *Materials*, 4: 487-526, 2011.
- [14] Wernick, S., Pinner, R., Sheasby, P.G., *The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and It's Alloys*, 5th Edition, Vol. 1&2 Finishing Publications Ltd. England, 1987.
- [15] Lu, C., Chen, Z., Anodic aluminum oxide-based nanostructures and devices, *Encyclopedia Nanoscience Nanotechnology*, 11: 235-259, 2011.
- [16] Wang H., Analysis on porous aluminum anodic oxide film formed in Re-OA-H₃PO₄ solution, *Materials Chemistry and Physics*, 97: 213-218, 2006.
- [17] De Graeve, I., Terryn, H., Thompson, G.E, Influence of local heat development on film thickness for anodizing aluminum in sulfuric acid, *Journal of the Electrochemical Society*, 150: 158-165, 2003.
- [18] Brinker, C.J., Scherer, G.W., *Sol-Gel Science*, Academic Press, San Diego, 1990.
- [19] Kirk-Othmer., *Encyclopedia of Chemical Technology* John Wiley & Sons Inc., 4th Edition, Vol. 27.
- [20] Akdoğan, E., Farklı katkı maddelerinin poliüretan malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2011.
- [21] Charler, H., *Handbook of Plastics Technologies*, Technology Seminars, Lutherville, Maryland, p. 254, 2006.
- [22] http://www.bayar.edu.tr/besergil/endustri_polimerleri.pdf, Erişim Tarihi 30.06.2015
- [23] <http://www.antpanel.com/tr/poliuretan.pdf>, Erişim Tarihi: 01.07.2015.
- [24] Karaduman, A., *Plastik ve Yapay Elyaf Teknolojisi*, Polimer İşleme Teknikleri Ders Notları, Ankara Üniversitesi, 2014.
- [25] Çobanoğlu, E., Otomotiv endüstrisinde yer alan poliüretan parçaların üretiminde kullanılan kalıpların yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

- [26] <http://download.ebooks6.com/Introduction-to-Reaction-Injection-Molding-MOLDING-download-w12907.pdf>, Erişim Tarihi: 02.07.2015.
- [27] Ay, İ., Plastik Malzemeler Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2010.
- [28] Vural, M., İstanbul Teknik Üniversitesi, Üretim Yöntemleri Ders Notları, Erişim Tarihi: 03.07.2015.
- [29] http://www.tasarimveimalat.com/plastik_kal%C4%B1plama.pdf, (Ekici, H.N, Plastiklerin Kalıplama Yöntemleri ve Reaksiyonlu Enjeksiyon Kalıplama) Erişim tarihi: 03.07.2015.
- [30] Randall, D., Lee, S., The Polyurethanes Book, New York: Wiley, 2003.
- [31] Six, C., Richter, F., Isocyanates, Organic, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Weinheim: Wiley-WCH, 2005.
- [32] MEB, Kimya Teknolojisi, Toluen Türevleri ve Prosesleri, Ankara, 2012.
- [33] http://www.tekpol.com.tr/urunler/kalip_ayiricilar.html, Erişim Tarihi: 04.07.2015.
- [34] Alüminyum ve Silisyum Döküm Alaşımları, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Proje 1, s. 5-6, Kocaeli, 2007.
- [35] Anık, E.S., Varol, M., 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [36] Taban, E., Kaluç, E., Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Endüstriyel Kullanım Alanları, Metal Dünyası, 2005.
- [37] Savaş, Ö., Alüminyum Silisyum Döküm Alaşımlarında Mikro Porozite Oluşumuna Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s .3-10, Sakarya, 2005.
- [38] Zalensas, D.L., Aluminum Casting Technology, USA, 2nd edition, AFS, 1993.
- [39] Kleiner, S., Henkel, C., Schulz, P. and Uggowitzer, P.J., Aluminium, 77:185, 2001.
- [40] Davis, J.R., Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, Ohio, 1999.
- [41] http://www.metalurji.org.tr/arsiv/05_sektorel_rapor/aluminyum_raporu.pdf Erişim Tarihi: 08.07.2015.

- [42] Demircioğlu, P., Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Gaz Oluşumu ve Gaz Giderme Tekniklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 3-22, İstanbul, 2002.
- [43] www.makinemuhendisligi.net, s. 1-20, Erişim Tarihi: 08.07.2015.
- [44] Murray, J.L., Volume 3: Alloy Phase Diagrams, ASM Metals HandBook, America, 1992.
- [45] MEGEP, Alüminyum Alaşımları Modülü, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, s. 13-15, Ankara, 2005.
- [46] Zeren, M., Demir Dışı Düşük Sıcaklık Metal ve Alaşımları, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Kocaeli, 2006.
- [47] Atasoy, A, Alüminyum-Silisyum Ötektik Alaşımlarında Bileşim ve Yönlendirilmiş Katılaşma Hızının Fazlar Arası Mesafeye Etkisi, I. Ulusal Döküm Sempozyumu, İ.T.Ü Metalurji Fakültesi.
- [48] Backerud, L., Chai, G., Tamminen, J., Solidification Characteristics of Aluminum Alloys, Vol. 2, Foundry Alloys, AFS/Skanaluminum, Des Plaines, IL, p. 136, 1990.
- [49] Hirsch, J., Materials Science Forum; 242:33, 1997.
- [50] <http://www.globalsino.com/micro/1/1micro9989.html>, Erişim Tarihi: 08.07.2015.
- [51] Erden, A., İkiız Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA6016 Alaşımının Mikro ve Makro Yapısal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 4-54, İstanbul, 2006.
- [52] Aluminum in the Automotive Industry, EAA European Aluminium Association, 2005.
- [53] Oliver, D., Drinan, J., Why Aluminium, Society of Plastics Engineers, p. 69-76, 2000.
- [54] <http://www.noktakalip.com.tr/imalat.asp>, Erişim Tarihi: 09.07.2015.
- [55] Gedik, D., Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sodyum dikromat ve sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2008.
- [56] Yücel, Z., Lazer ve kumlama yöntemleri ile Ti6Al4V alaşımında fonksiyonel yüzeylerin oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008.

- [57] Uzun, M., Türbinli kumlama tezgâhında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2013.
- [58] Çelik Granül Sanayii A.Ş., Türbinli kumlama makineleri, Çelik Granül Sanayi A.Ş. Teknik Bülten, 1: 1-4, 2002.
- [59] Satıcı, M.E., Kumlama işleminin ve bu işleme etkiyen parametrelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [60] Çelik Granül Sanayii A.Ş., Etkin temizlik için aşındırıcı seçimi, Çelik Granül Sanayii A.Ş. Teknik Bülten, 2: 1-4, 2002.
- [61] Tosçelik Granül Sanayi A.Ş., Etkin temizlik için aşındırıcı seçimi, Tosçelik Granül Sanayi A.Ş. Teknik Bülten, 2-14, 2009.
- [62] Plaster, H.J., Blast Cleaning and Allied Processes, The Garden City Press Limited, Letchworth, Hertfordshire, 1973.
- [63] The Guide to Impact Treatment, Metabrasive ve Limited Manufacturers of High Performance Metallic Abrasives Carponfield Works, Bilston, West Midlands, England.
- [64] Hansel, D., Abrasive blasting systems, Abrasive Blasting Cleaning News, California, 2: 4-8, 1997.
- [65] Clemco Industries., Achieving productivity from abrasive blast cleaning systems, Feature, 1-4, 1989.
- [66] Gedeon, G., Surface Preparation, Pre-Coating Surface Preparation, Course No: T02-003 Credit: 2 PDH, 1-16, 1995.
- [67] The Society for Protective Coatings., Surface preparation specifications, SSPC-SP COM, 1: 2-32, 2004.
- [68] Alpay, N., Farklı önışlem yöntemlerinin alüminyum anodizasyonu üzerindeki etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [69] Sulka G.D., S. Stroobants S., Moshchalkov V., Borghs G., Celis J-P., Nanostructuring of Aluminium and Synthesis of Porous Aluminium Membranes By Anodising, Poland, Belgium, 2002.
- [70] Gökşahin, E., Sert eloksal ile kaplanmış 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

- [71] Information Courtesy of Aluminum Anodizers Council, Anodizing Reference Guide, Mid-states Aluminum Corp.
- [72] Akolkar R., Landau U., Kuo H., Wang Y., Modeling of the current distribution in aluminum anodization, *Journal of Applied Electrochemistry* 34, 807-813, Netherlands, 2004.
- [73] Hancı, A., Eloksal prosesinde elektrolitik renklendirmede nitrat iyonlarının etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [74] Doğru, B., Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının borik asit sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [75] Luo, L.C., Zhao, R.G., Meng, J., Chen, J.F., White Anodic Coating On Aluminium Surface For Spacecraft, *Journal of Inorganic Materials*, 6: 1269-1276, 2002.
- [76] Bensalah, W., Elleuch, K., Feki, M., Wery, M., Ayedi, H.F., Optimization Of Anodic Layer Properties On Aluminium In Mixed Oxalic/Sulphuric Acid Bath Using Statistical Experimental Methods, *Surface Coatings Technology*, 201: 7855-7864, 2007.
- [77] Mizuno K., Nylund A., Olefjord I., Surface Reactions During Pickling of an Aluminium-Magnesium-Silicon Alloy in Phosphoric Acid, *Corrosion Science* 43, 381-396, 2001.
- [78] www.yuzeyislemler.com/turkcemakaleler.html, Erişim Tarihi: 07.10.2015. (Elektrometal kaplama tekniği ders notları, 3. Ünite, Cilalama (Polisaj) ve Parlatma)
- [79] Toygun, Ş., Köneçoğlu, G., Kalpaklı, Y., Sol-jel Yöntemi Genel Prensipleri, Derleme makale, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 31, 456-476, 2013.
- [80] Babür, G., Sol-jel Yöntemiyle Elde Edilen Bor Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal, Optiksel ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Sonuç Raporu, Proje No: 2011/37, 2013.
- [81] http://www.whitfordww.com/pdf/newsletters/PKN_nsltr_2_Autumn_TKY.PDF (Sol-Gel Seramik Kaplamaları), Erişim Tarihi: 16.10.2015.
- [82] www.alsecco.com.tr/product/alsecco-puskurtme-granit/80/ Erişim Tarihi: 18.10.2015.

- [83] Cengiz, O., Temas açısı ölçüm cihazı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [84] Turan, T, 2-Aminopridin'in camsı karbon elektrot yüzeyinde temas açısı ölçüm tekniğiyle özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [85] Knowles, K.M., "Surface Engineering", Natural Sciences Tripos, Part III, University of Cambridge Department of Materials Science and Metallurgy, Michaelmas Term, 2007.
- [86] <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/yuzey.html>, Erişim Tarihi: 20.10.2015.
- [87] Cansoy, C.E., Mikro desenli süperhidrofobik yüzeylerde yüzey pürüzlülüğü ile su temas açısı ilişkisi, Doktora Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Gebze, 2011.
- [88] Ersoy, A., Kuntman, A., Contact Angle Study On Surface Properties Of Polymeric Insulators, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [89] Erbil, H.Y., Surface Chemistry Of Solid And Liquid Interfaces, Blackwell Publishing, 2006.
- [90] Duran, F., Teke, M., Ultrasonik Temizleme Cihazı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, MKT2012, Proje Tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı, Çankırı, 2012.
- [91] ASM Handbook. Surface Engineering, Vol 5, ASM International, 1994.
- [92] Rønold, H.J, Ellingsen, J.E., Effect of micro-roughness produced by TiO₂ blasting-tensile testing of bone attachment by using coin-shaped implants. *Biomaterials*; 23:4211-9, 2002.
- [93] Roero, C., Contact angle measurements of sessile drops deformed by a DC electric field, High Voltage Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, CH-8092 Zürich, Switzerland.
- [94] Bernardin, J.D., Mudawar, I., Walsh, C.B., Franses, E.I., Contact angle temperatures dependence for water droplets on practical aluminum Surfaces, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40(5), pp. 1017-1033, 1997.
- [95] Wu, L.Y.L, Nemeth, S., Non-stick and Scratch Resistant Coating for Aluminium, STR/03/070/ST.

ÖZGEÇMİŞ

Ebru Akcan, 04.08.1991 tarihinde Zonguldak ilinin Ereğli ilçesinde doğdu. İlköğretim eğitimini Akçakoca Atatürk İlköğretim okulunda tamamladı. 2009 yılında Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi Fen Bilimleri Bölümü'nden iyi bir derece ile mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında ikincilikle mezun olarak bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında başladığı Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. Yüksek lisans eğitimi sırasında Sakarya Üniversitesi ve Toyota Boshoku Türkiye A.Ş.'nin işbirliği ile düzenlenen 20 ay süreli bir sanayi projesinde aktif olarak görev aldı.