

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

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE YER ALAN POLİÜRETAN
PARÇALARIN ÜRETİMİNDE KULLANILAN KALIPLARIN YÜZEY
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Ebutalip ÇOBANOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Akın AKINCI

Eylül 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE YER ALAN POLİÜRETAN
PARÇALARIN ÜRETİMİNDE KULLANILAN KALIPLARIN
YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Ebutalip ÇOBANOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Akın AKINCI

Bu tez 01/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Akın AKINCI
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Uğur ŞEN
Üye



Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇALIŞKAN
Üye



ÖNSÖZ

Çalışmanın titizlikle yönetilmesi ve sonuçlandırılmasında hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Akın AKINCI' ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımın altyapı ve laboratuvar desteği için T.C. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne, deney numunelerin temini için her türlü malzeme desteği veren Toyota Boshoku Türkiye A.Ş.' ye ve kaplamalar için Te-San Kaplama A.Ş.' ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana, her zaman her konuda yardımcı olan ve hayat boyu en büyük desteği sağlayan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2008

Ebutalip ÇOBANOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
POLİÜRETANLAR.....	3
2.1. Poliüretan	4
2.2. Poliüretan Üretimi	4
2.2.1. İzosiyanat	4
2.2.2. Poliöl.....	5
2.2.3. Köpürtücü eleman.....	5
2.2.4. Katalizörler	6
2.2.5. Silikonlar	7
2.3. Poliüretanın Sınıflandırılması	8
2.3.1. Poliüretan köpükler.....	8
2.3.2. Poliüretan elastomerler	10
2.3.3. Poliüretan termoplastikler.....	11
2.3.4. Poliüretan kaplamalar	11
2.4. Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama (RIM) Prosesi	11
2.5. Taşıma Endüstrisinde Esnek Poliüretan Köpük Kullanımı	13

2.5.1. Otomotiv koltuklarında konfor ve güvenlik	15
2.5.2. Yeni teknolojiler	16
BÖLÜM 3.	
ALÜMİNYUM KALIPLAR	18
3.1. Alüminyum Plastik Kalıpları	19
3.2. Poliüretan Koltuk Süngeri Üretiminde Kullanılan Alüminyum Kalıplar	21
3.3. Al Kalıp Yüzeyinde Bağlanma Mekanizmaları.....	22
BÖLÜM 4.	
POLİMERİK KAPLAMALAR	26
4.1. Kaplamaların Gelişim Süreci.....	26
4.2. Floropolimerlerin Yapısındaki Monomerlerin Oluşumu.....	27
4.2.1 HFP oluşumu (Hexafluoropropylene)	27
4.2.2 PFAVE oluşumu (Perfluoroalkylvinylethers)	28
4.2.3. CFE oluşumu (Klorotrifloroetilen).....	28
4.2.4. VDF oluşumu (Vinylidene Fluoride)	28
4.2.5. VF oluşumu (Vinyl Fluoride).....	29
4.3. Floropolimer Kaplama Çeşitleri	29
4.3.1. PTFE.....	29
4.3.2. PFA	30
4.3.3. FEP	31
4.3.4. ETFE.....	31
4.4. Floropolimer Kaplamaların Özellikleri	32
4.5. Floropolimerlerin Kullanım Alanları.....	34
4.6. PEEK	35
4.7. Yüzeylerin Yapışmazlık Özellikleri	36
4.7.1. Kontak (ıslatma) açısının ölçülmesi	38
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
5.1. Altlık Malzemelerinin Üretimi	41

5.2. Kaplama İşlemi	44
5.2.1. Altlıkların kaplama işlemine hazırlanması	44
5.2.2. Kaplama işlemi ve parametreler	45
5.3. Kaplamaların Karakterizasyonu	52
5.3.1. Kalınlık ölçümü	52
5.3.2. Yüzey pürüzlülüğü	53
5.3.3. Mikrosertlik ölçümü	53
5.3.4. Metalografik numune hazırlama.....	54
5.3.5. Stereo mikroskop incelemeleri	54
5.3.6. SEM incelemeleri	54
5.3.7. AFM ölçümleri	55
5.3.8. Kontak açısı tespiti	55
5.3.9. Kaplama adezyonu ve ölçümü.....	56
5.3.10. Kaplama ile PU köpük arasındaki yapışmanın belirlenmesi.....	59
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	61
6.1. Kaplamaların Karakterizasyonu	61
6.1.1. Kalınlık ölçümü	61
6.1.2. Yüzey pürüzlülüğü	62
6.1.3. Mikrosertlik ölçümleri	65
6.1.4. Stereo mikroskop incelemeleri	66
6.1.5. SEM incelemeleri	68
6.1.6. AFM ölçümleri	73
6.1.7. Kontak açısı tespiti	76
6.1.8. Kaplama adezyonu ve ölçümü.....	82
6.1.9. Kaplama ile PU köpük arasındaki yapışmanın belirlenmesi deneyi sonuçları	86
BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	102
7.1. Genel Sonuçlar.....	102

7.2. Öneriler	106
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	111

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

PU	: Poliüretan
C	: Karbon
H	: Hidrojen
Al	: Alüminyum
Si	: Silisyum
O	: Oksijen
RIM	: Reaction Injection Moulding (Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama)
PTFE	: Politetrafloretilen
FEP	: Florinatenetilenpropilen
PFA	: Perfloralkol
ETFE	: Etilentetrafloroetilen
PEEK	: Polietereterketon
PVC	: Polivinilklorür
OH	: Hidroksit
N	: Azot
HDI	: Hekzametilendiizosiyanat
MDI	: Difenilmetandiizosiyanat
TDI	: Toluendiizosiyanat
DMEA	: Dimetiletonalamin
TMBDA	: Tetrametilbütandiamin
DMCHA	: Trametilsaykloheksilamin
TEA	: Trietilamin
UV	: Ultraviyole
EPK	: Elastik poliüretan köpük
YMK	: Yüzey merkezli kübik
SPH	: Sıkı paket hegzagonal
N	: Newton

K	: Kelvin
W	: Watt
g	: Gram
Al ₂ O ₃	: Alümina
Cu	: Bakır
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Zn	: Çinko
Ti	: Titanyum
Br	: Bor
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
Sn	: Kalay
Pb	: Kurşun
PE	: Polietilen
PS	: Polistren
PP	: Polipropilen
PMMA	: Polimetilmetakrilat
J	: Joule
HFP	: Hexafluoropropylene
PFAVE	: Perfluoroalkylvinylethers
CFE	: Chlorotrifluoroethylene
VDF	: Vinylidene Fluoride
VF	: Vinil Flüorür
cos	: Kosinüs
AFM	: Atomic Force Microscope (Atomik kuvvet mikroskobu)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
ASTM	: American society for testing and materials
µm	: Mikrometre
µl	: Mikrolitre
kN	: Kilonewton

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Poliol ile diizosiyanatın reaksiyonu	4
Şekil 2.2	Hücresel poliüretan sünger yapısı	6
Şekil 2.3.	RIM prosesinin tipik gösterimi	12
Şekil 2.4.	Poliüretan otomobil koltuğu	13
Şekil 3.1.	PU Koltuk	22
Şekil 3.2.	Pürüzlü yüzey üzerinde yapışma mekanizması	23
Şekil 3.3.	Elektrostatik bağlanma teorisi.....	23
Şekil 3.4.	Difüzyon ile bağlanma teorisi.....	24
Şekil 3.5.	Poliüretan' ın Al yüzeye bağlanma mekanizmaları	24
Şekil 4.1.	PTFE yapısı.....	30
Şekil 4.2.	PFA yapısı.....	31
Şekil 4.3.	PFA kimyasal yapısı	31
Şekil 4.4.	ETFE yapısı	32
Şekil 4.5.	Yüksek enerjili ve düşük enerjili yüzeylerin karşılaştırılması....	37
Şekil 4.6.	Farklı enerjili yüzeylerde enerjilerinde aynı sıvının ıslatma açılarının değişim.....	37
Şekil 4.7.	Kontak açısı ölçüm metotları	39
Şekil 5.1.	Hazırlanan numunelerin teknik çizimleri.....	41
Şekil 5.2.	Dökümü yapılacak altlık malzemelerinin ahşap modelleri.....	42
Şekil 5.3.	Altlık malzemelerinin üretimi.....	43
Şekil 5.4.	Talaş kaldırma işlemi ve silindirik numunenin son hali	43
Şekil 5.5.	Döküm sonrası çapak alma işlemi	44
Şekil 5.6.	Altlık malzemeleri son halleri.....	44
Şekil 5.7.	Yakma işlemi ve kullanılan fırın.....	45
Şekil 5.8.	Sprey ile kaplama işlemi	47
Şekil 5.9.	Elektrostatik kaplama işlemi.....	48
Şekil 5.10.	Kaplama yapılan silindirik numuneler.....	48

Şekil 5.11.	Kaplama öncesi astarlı numuneler	49
Şekil 5.12.	Kaplama yapılan levhalar	50
Şekil 5.13.	Kalıp numuneleri	51
Şekil 5.14.	Kalıp numunenin üstten görünüşü ve PU dökümü yapılacak kalıp.....	51
Şekil 5.15.	Kullanılan kalınlık ölçüm cihazı.....	52
Şekil 5.16.	Kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı.....	53
Şekil 5.17.	Kullanılan sertlik ölçüm cihazı	53
Şekil 5.18.	Kullanılan stereo mikroskop	54
Şekil 5.19.	Kullanılan SEM cihazı	54
Şekil 5.20.	Kullanılan AFM cihazı	55
Şekil. 5.21.	Kontak açısı ölçümü yapılan cihaz	55
Şekil 5.22.	İzosiyonat testi	56
Şekil 5.23.	ASTM C633 yapışma mukavemeti.....	57
Şekil 5.24.	Test için kullanılan kalıbın CAD tasarımı	59
Şekil 5.25.	Kalıp numunesine PU sünger dökümü işlemi.....	60
Şekil 6.1.	Kaplama kalınlığı değerleri sütun grafiği	61
Şekil 6.2.	Astar kaplamaların pürüzlülük değerleri sütun grafiği	62
Şekil 6.3.	Kaplamaların pürüzlülük değerleri sütun grafiği.....	63
Şekil 6.4.	PTFE kaplama yüzey pürüzlülüğü eğrisi	64
Şekil 6.5.	Pürüzlülük ölçümü sonucu elde edilen eğriler.....	64
Şekil 6.6.	Sertlik alınan PEEK/PTFE kaplama bölgeleri.....	65
Şekil 6.7.	Kaplamalarının sertlik alma işlemi sonrası yüzeylerinde oluşan sertlik izleri	66
Şekil.6.8.	Kaplamaların yüzey ve kesit fotoğrafları.....	66
Şekil.6.9.	Kaplamaların yüzey ve kesit fotoğrafları.....	67
Şekil 6.10.	Kaplamaların yüzey ve kesit fotoğrafları.....	67
Şekil 6.11.	PTFE (1) kaplamasının SEM mikroyapıları	68
Şekil 6.12.	PTFE (2) kaplamasının SEM mikroyapıları	68
Şekil 6.13.	PTFE (3) kaplamasının SEM mikroyapıları	69
Şekil 6.14.	FEP (1) kaplamasının SEM mikroyapıları.....	69
Şekil 6.15.	FEP (2) kaplamasının SEM mikroyapıları.....	70
Şekil 6.16.	PFA (1) kaplamasının SEM mikroyapıları	70

Şekil 6.17.	PFA (2) kaplamasının SEM mikroyapıları	71
Şekil 6.18.	PFA (3) kaplamasının SEM mikroyapıları	71
Şekil 6.19.	ETFE kaplamasının SEM mikroyapıları.....	72
Şekil 6.20.	PEEK/PTFE kaplamasının SEM mikroyapıları.....	72
Şekil 6.21.	AFM analizi sonuçları.....	73
Şekil 6.22.	AFM analizi sonuçları.....	74
Şekil 6.23.	Kaplamalara ait AFM analizi maksimum pik değerleri.....	75
Şekil 6.24.	PTFE kaplamaya ait AFM analizleri	75
Şekil 6.25.	FEP kaplamaya ait AFM analizi	76
Şekil 6.26.	Kumlanmış Al ve işlem görmemiş Al yüzeylerin kontak açıları	76
Şekil 6.27.	Kontak açısı ölçümü sonuçları.....	77
Şekil 6.28.	Kontak açısı değerleri sütun grafiği.....	78
Şekil 6.29.	İzosiyonat içindeki kaplamaların kontak açısı ölçümü sonuçları	79
Şekil 6.30.	İşlem görmeyen kaplanmış yüzeyin kontak açısı değerindeki % azalma	79
Şekil 6.31.	İşlem görmüş kaplama yüzeyleri	80
Şekil 6.32.	PTFE kaplama üzerine su damlasının bırakılması.....	81
Şekil 6.33.	Ag-PTFE kaplama üzerindeki su dropleti.....	81
Şekil 6.34.	Al altlık üzerindeki PTFE kaplama ve kontak açısı değeri.....	82
Şekil 6.35.	FEP levhanın kontak açısı.....	82
Şekil 6.36.	Kaplamaların LOCTITE 406 ile yapılan test sonrası elde edilen yük- % uzama eğrileri	83
Şekil 6.37.	Kaplamaların LOCTITE epoksi ile yapılan test sonrası elde edilen yük- % uzama eğrileri	84
Şekil 6.38.	ETFE kaplamanın test sonrası görüntüleri.....	84
Şekil 6.39.	Cross-cut testi sonrası kaplama yüzeyleri.....	85
Şekil 6.40.	Cross-cut testi sonrası ETFE kaplama yüzeyinden kopan kaplama bölgesi	86
Şekil 6.41.	Kumlanmış kalıp numunelerinin çekme testi görüntüleri.....	87
Şekil.6.42.	Kumlanmış kalıp numunesi yük- yüzde uzama grafiği	87
Şekil 6.43.	İşlem görmemiş kalıp numunesi çekme testi görüntüleri	88

Şekil 6.44.	İşlem görmemiş numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği.....	88
Şekil 6.45.	PTFE(1) kaplı kalıp numunesi çekme testi görüntüleri	89
Şekil 6.46.	PTFE (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği.....	89
Şekil 6.47.	PTFE (2) kaplı kalıp numunesi çekme testi görüntüleri	90
Şekil 6.48.	PTFE (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği.....	90
Şekil 6.49.	PTFE (3) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri	91
Şekil 6.50.	PTFE (3) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği.....	91
Şekil 6.51.	FEP (1) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri.....	92
Şekil 6.52.	FEP (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi	92
Şekil 6.53.	FEP (2) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri.....	93
Şekil 6.54.	FEP (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği.....	93
Şekil 6.55.	PFA (1) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri	94
Şekil 6.56.	PFA (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi	94
Şekil 6.57.	PFA (2) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri	95
Şekil 6.58.	PFA (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi	95
Şekil 6.59.	PFA (3) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri	96
Şekil 6.60.	PFA (3) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi	96
Şekil 6.61.	ETFE kalıp numunesi çekme testi görüntüleri.....	97
Şekil 6.62.	ETFE kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği.....	97
Şekil 6.63.	PEEK/PTFE kalıp numunesi çekme testi görüntüleri.....	98
Şekil 6.64.	PEEK/PTFE kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi	98

Şekil 6.65.	Kumlanmış, işlem görmemiş ve bütün kaplamaların yük (kN) değerleri sütun grafiği	99
Şekil 6.66.	Kalıp numunesi üzerinde oluşan kuvvetler ve yüzey alanı.....	99
Şekil 6.67.	Kopma gerilmesi değerleri grafiği	100
Şekil 6.68.	Kaplamaların çeşitlerine göre değerlendirme sonuçları grafiği..	100

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Esnek poliüretan köpüklerin özellikleri	9
Tablo 2.2.	Sert Poliüretan köpüklerin özellikleri	10
Tablo 2.3.	Elastomerlerin özellikleri	10
Tablo 3.1.	Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırılması	18
Tablo 3.2.	Etial 150 Al-Si alaşımının genel özellikleri	19
Tablo 4.1.	PTFE kaplama üzerinde farklı sıvıların kontak açıları	33
Tablo 4.2.	Floropolimer kaplamaların bazı özellikleri.....	34
Tablo 4.3.	Bazı malzemelerin yüzey enerjileri	38
Tablo 5.1.	Kullanılan Etial 150 Al-Si alaşımının kimyasal bileşimi	42
Tablo 5.2.	Kullanılan kaplama çeşitleri	46
Tablo 5.3.	Sprey yönteminde kullanılan kaplamaların kurutma ve kütleme sıcaklıkları.....	46
Tablo 5.4.	Elektrostatik yöntem de kullanılan tozların kütleme sıcaklıkları ve parametreler.....	47
Tablo 5.5.	Yüzeye yapışma (adezyon) değerlendirme tablosu	58
Tablo 6.1.	Kaplamaların ortalama kalınlıkları	61
Tablo 6.2.	Astar ve kaplamaların yüzey pürüzlülükleri	62
Tablo 6.3.	Silindirik numunelerin çekme deneyi sonuçları tablosu.....	83
Tablo 6.4.	Kumlanmış Al, işlem görmemiş Al ve kaplamaların kopma gerilmesi değerleri	100
Tablo 6.5.	DeneySEL sonuçlar ve 10 üzerinden kaplamaların değerlendirme tablosu.....	101

ÖZET

Anahtar Kelimeler: PU, Al kalıp, kontak açısı, floropolimer kaplama, PEEK/PTFE kaplama

Poliüretanlar köpük şeklinde, poliöl ve izosiyanatın karışımı sonucu elde edilmektedirler. Poliüretan (PU) şekilli parça üretiminde en önemli sorunlardan birisi poliüretanın alüminyum kalıp yüzeyine yapışmasıdır. Al kalıplar, başlıca kolay üretilebilirliği, hafifliği, düşük maliyeti ve yüksek ısı iletkenliği sebepleriyle PU üretiminde tercih edilmektedir. Al kalıp yüzeyleri üzerinde, havadaki nemin etkisiyle alüminyum oksit ve alüminyum hidroksit tabakalarının oluşması, yüzeye bazı polimerik malzemeleri yapışabilirlik açısından etkin kılmaktadır. Mekanik bağın yanı sıra, serbest -OH grupları ile PU kimyasal olarak bağ da oluşturabilmektedir. Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde otomobil koltuğu üretiminde kullanılan PU süngerlerin üretim yöntemleri, kalıp ile PU arasındaki adezyon davranışı ve kullanılan malzemelerin yüzey özellikleri incelenmektedir. Etial 150 Al-Si alaşımı üzerine 10 farklı polimer kaplama yapılmış ve bu kaplamalar karakterize edilmiştir.

Sonuç olarak, üretilen 10 farklı kaplamadan PFA(2) en düşük, ETFE ise en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. İzosiyanat öncesi ve sonrası yapılan kontak açısı ölçümlerinde PFA(2) en iyi yapışmazlık değerini vermektedir. Adezyon testleri sonucu ETFE kaplama düşük adezyon davranışı göstermektedir. PU ile kaplama arasındaki yapışma davranışı testinde ise PFA(2) en düşük yapışma değerini göstermektedir.

THE IMPROVEMENT OF SURFACE PROPERTIES OF MOLDS USED IN PRODUCTION OF POLYURETHANE PARTS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: PU, Al mould, contact angle, fluoropolymer coating, PEEK/PTFE coating

Polyurethanes are produced by mixing the polyol and the isocyanate as foam. One of the most important problems in the production of shaped polyurethane (PU) parts is polyurethane's adherence to aluminum mould. Because of low cost, easy productivity and high thermal conductivity, Al moulds are preferred in the production of the PU. On the Al mould surfaces, aluminum oxide and aluminum hydroxide layers form by the effect of the humidity of air, let some polymers to adhere to surface. Free -OH groups make chemical bonding with PU as well as mechanical bond. In this study, production methods of PU foams used in the production of automotive seat and adhesion behavior between mould and PU and surface properties of used materials were investigated. 10 different polymer coatings were coated on Etial 150 Al-Si alloy and they were characterized.

Conclusions; PFA has the least value of surface roughness and ETFE has the highest one in the ten different coatings produced. In the contact angle measurements before and after isocyanate tests, PFA(2) exhibits the best nonstickness behavior. Results of adhesion test indicate that ETFE coating exhibits low adhesion behavior. PFA(2) shows the least adhesion value in the adhesion behavior test between PU and the coating.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Poliüretanlar köpük şeklinde, poliöl ve izosiyanatın karışımı sonucu elde edilmektedirler. Ayrıca katkı malzemesi olarak köpürtücü eleman, katalizör ve silikonlar da kullanılmaktadır [1]. İzosiyanat (OCN-R-NCO) 'ın, poliöl (HO-R-OH) ile reaksiyonu sonucu, poliölün hidrojen atomu, izosiyonat ile birleşerek üretan meydana gelmektedir. Diizosiyanatın ve reaksiyonu kolaylaştıran OH gruplu poliöl'ün kullanılmasıyla da yüksek moleküllü PU (poliüretan) oluşmaktadır. Ana hammadde olarak poliizosiyanat ile OH gruplu poliöl kullanılmaktadır [2].

Başta otomobil endüstrisi olmak üzere poliüretan köpükler birçok endüstriyel alanda kendilerine yer bulmaktadırlar. En önemli kullanım alanlarından birisini de otomobil koltukları oluşturmaktadır. Koltuğun konforu, dayanıklılığı, sürekliliği, güvenliği ve ekonomik boyutu her modern taşıma biçiminin ihtiyacı olarak ortaya çıkmaktadır ve poliüretan sünger kullanarak bu ön koşul karşılanmaktadır. RIM (reaksiyon enjeksiyon kalıplama) prosesi kullanılarak elde edilen bu poliüretan süngerlerin üretim aşamasında karşılaşılan bir takım problemler mevcuttur. Bu problemlerden biri de üretilen malzemenin kalıba yapışması ve ayrılma sırasında hasara uğramasıdır. Sıkça karşılaşılan bu sorun sebebiyle, malzeme hasarı, zaman ve iş gücü kaybı üreticilerin karşılaştığı sorunların başında gelmektedir.

Malzeme alanında yapılan çalışmalar sonucu gerçekleşen teknolojik gelişmeler, bu yapışma sorununu minimuma indirilebilmektedir. Kalıp yüzeylerine uygulanan çeşitli yüzey işlemler (kaplamalar) ile kalıpların yüzeyleri modifiye edilmektedir. Bu alanda en sık kullanılan kaplama türlerinden biri üstün yapışmazlık özelliklerinden dolayı bazı polimer kaplamalardır.

Yapışmazlık özelliği sağlayan polimerik kaplamalardan biride floropolimer kaplamalardır. Floropolimer kaplamalar herhangi bir malzeme yüzeyine

uygulandığında kimyasal ve solvent direncini artırması, dielektrik kararlılığı göstermesi, sürtünme katsayısını düşürmesi, sıcaklık direncini artırması, ısıyı sabitlemesi bakımından önemli rol oynamaktadır [3]. Günümüzde yeni kullanım alanı bulan PEEK ve katkılı PEEK kaplamalar ise diğer yapışmazlık özelliği sağlayan polimerik kaplamalar gurubunu oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmada, PU sünger üretimin de kullanılan Al kalıpların yüzey özelliklerinin yapışmazlık açısından geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Etial 150 Al-Si alaşımı altlık malzemeleri kalıp malzemelerinin üretimi ile aynı yöntem olan döküm ile üretilmişlerdir. Daha sonra üretilen altık numunelerin üzerine 3 adet PTFE, 3 adet PFA, 2 adet FEP, 1 adet ETFE ve 1 adet PEEK/PTFE kaplama yapılmıştır. Bu kaplamalar öncelikle kaplama kalınlığı, mikrosertlik, pürüzlülük, stereo mikroskop, AFM ve SEM incelemeleri ile karakterize edilmiş ve yapılan adezyon testleri ile kaplamaların yapışma mukavemeti belirlenmeye çalışılmıştır. Üretilen kaplamalardan hem işlem görmemiş, hemde izosiyanat içerisinde bekletilen kaplamaların ıslatma açısı ölçümleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Son olarak üretilen üçgensel kalıp malzemeleri, içine PU dökümü yapılarak çekme testine tabi tutulmuş ve PU ile kaplama malzemeleri arasındaki yapışma ölçülmüştür. Kontak açısı ölçümleri ve üçgensel kalıp kullanılarak çekme testleri, üretilen kaplamaların karşılaştırılmasına yardımcı olması açısından PU, işlem görmemiş döküm ve kumlanmış Al yüzeylere de mevcut çalışmaya ilave olarak uygulanmıştır.

BÖLÜM 2. POLİÜRETANLAR

Polimerlerin her geçen gün uygulama sahaları yeni pazarlar ile birlikte sürekli artmaktadır. Bir lastik parçası veya kalp kapakçığı olarak kullanılabilen polimerik malzemeler, yapısındaki sonsuz kimyasal bileşimlerle çok farklı özellikleri bir arada sunmaktadır.

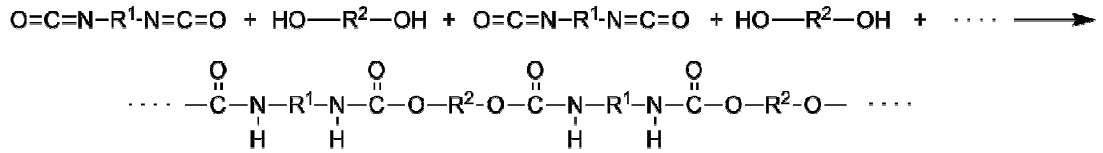
1930' da Otto Bayer DoPont' un Nylon polimeri üzerindeki patentine alternatif polimer arayışı sonucunda ortaya çıkmış olan poliüretan, günümüzde hem akademinin hem de sanayinin çok önemli araştırma konusu haline gelmiştir. Poliüretanlar heterojen yapısı nedeniyle, çok çeşitli kimyasal kompozisyonlara sahip olabildiği gibi çok sayıda sentezlenme yöntemine de sahiptir.

Sıvı izosiyanatlarla sıvı poliollerin reaksiyonu sonucunda eklenme polimerizasyonu ile üretilmektedir. Geçmişte polimerizasyona alternatif olarak üretilen PU' lar, poliolefinlere göre çok sayıda avantaj sunabileceği düşünülmüştür [1].

Poliizosiyanatlar ile ilk ticari ürün 1954 de elastik köpük olarak ortaya çıkmıştır. 1956 yılında DuPont firmasının ve 1957'de BASF ve Dow firmasının da poliüretan pazarına girmesiyle ürünler çeşitlenmeye ve üretim hacmi artmaya devam etmiştir. Poliester- poliola alternatif polieter-poliol denemelerinin başarılı olması sonucunda yeni ürünler ortaya çıkmış ve 1960'lara gelindiğinde poliüretanda üretim hacmi yılda 45,000 ton'a ulaşmıştır. 1980'lerde ise PVC'ye alternatif olabilmesi bakımından önemi daha da artmış ve 2000'li yıllara gelindiğinde ise, gelişen çevre duyarlılığı ve petrokimyasallardan uzaklaşma çalışmaları sonucunda, biyolojik kökenli poliüretanlar önem kazanmıştır [1].

2.1. Poliüretan

Poliüretanlar köpük şeklinde, poliöl ve izosiyanatın karışımı sonucu elde edilmektedirler. Ayrıca katkı malzemesi olarak köpürtücü eleman, katalizör ve silikonlar da kullanılmaktadır. İzosiyanat (OCN-R-NCO) 'ın, poliöl (HO-R-OH) ile reaksiyonu sonucu, poliölün hidrojen atomu, izosiyanat ile birleşerek üretan meydana gelmektedir. Diizosiyanatın ve reaksiyonu kolaylaştıran OH gruplu poliölün kullanılmasıyla da yüksek moleküllü poliüretan oluşmaktadır. Ana hammadde olarak poliizosiyanat ile OH gruplu polialkol kullanılmaktadır. Bir poliöl ile bir diizosiyanatın reaksiyon durumu Şekil 2.1 'de gösterilmektedir [2].



Şekil 2.1. Poliöl ile diizosiyanatın reaksiyonu [2]

Poliüretanların köpük haline gelmesi için köpürtücü eleman gerekmektedir. Köpürtücü eleman poliöl içine karıştırılmaktadır. Poliölün izosiyanatla reaksiyonu sırasında köpürtücü eleman buharlaşarak, hücrelerin oluşmasına sebep olmaktadır. Sonuçta, bu yapı poliüretana yalıtkanlık özeliği vermektedir. Poliüretanlarda kullanılan katalizörler reaksiyon oranını ve reaksiyon zamanını belirlemektedirler. Katalizörler, poliüretan köpüğün sert veya yumuşak olmasında, yapışma kabiliyetinde ve akış özeliği üzerinde de etkili maddelerdir [2].

2.2. Poliüretan Üretimi

2.2.1. İzosiyanat

İzosiyanat, petrolün bir türevi olan benzenin rafinasyonu ile üretilmektedir. İzosiyanatlar birçok farklı şekilde ve büyüklükte olmaktadır, fakat hepsi de -NCO grubuna sahiptirler. İzosiyanatlar genelde iki gruba ayrılırlar:

- Alifatik İzosiyanatlar
- Aromatik İzosiyanatlar

Alifatik izosiyanatta - NCO grubu, bir karbon zincirine ve hidrojen atomlarına bağlanmaktadır. Alifatik izosiyanatlara örnek olarak hekza-metilen diizosiyanat (HDI) verilebilmektedir. Alifatik izosiyanatlar kaplama ve vernik gibi işlemlerde kullanılmaktadır.

Aromatik izosiyanatta ise -NCO grubu özel altı karbonluk bir halkaya bağlanmaktadır. Poliüretan üretiminde aromatik izosiyanatlar kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan iki çeşidi difenilmetan diizosiyanat (MDI) ve toluen diizosiyanat (TDI)'dir [4].

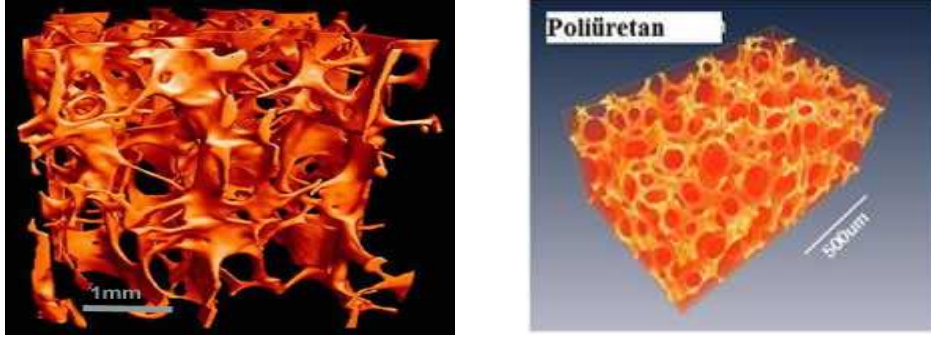
2.2.2. Poliöl

Poliöl de izosiyanat gibi, poliüretan yapımında kullanılan ve genellikle sıvı halde olan temel bir elemandır. Poliollerin imali de, izosiyanatlar gibi petrolle başlamaktadır. Petro kimyasal komponentlerine ayrıldığı zaman oluşan ürünlerden ikisi propilen ve etilen olmaktadır. Bunlar poliollerin üretimi için kullanılan yapı elemanlarıdır. Molekül sel ağırlık ve fonksiyonalitedeki değişimlerin sağlanması ile poliüretan teknolojisinde kullanılacak polioller elde edilebilmektedir. Poliöl, hidroksil grubuna sahip bir molekül zinciridir. Poliüretan üretiminde yaygın olarak kullanılan poliollerden ikisi ise polieter ve polyesterdir. Polieter polioller iki veya daha fazla aktif hidrojen ve bir alkalın-oksit içeren bileşimin reaksiyon ürünüdür. Bir polieter poliölde, -OH grubu en azından bir adet C-O-C bağı ile bir moleküle bağlanmaktadır [4] .

2.2.3. Köpürtücü eleman

Poliüretanın özellikleri, kullanılan poliöl ve izosiyanat çeşidine göre değişebildiği gibi reaksiyona eklenen diğer kimyasal maddelere göre de farklılıklar arz etmektedir. Eklenen en önemli kimyasal madde köpürtücü eleman olmaktadır [5]. Köpürtücü eleman poliöl içine karıştırılan ve malzemenin köpük haline gelmesini sağlayan bir

maddedir. Poliüretana yalıtım özeliği vermekte ve hafif olmasını sağlamaktadır. Köpürtücü eleman poliöl içine karıştırılmadığı takdirde, ortaya hücresele olmayan bir ürün çıkar ve bu ürün elastomer adı verilmektedir. Bu yüzden istenilen gözenekli poliüretan sünger yapısını elde etmek için köpürtücü eleman kullanımı zorunlu olmaktadır [6]. Şekil 2.2' de hücresele poliüretan sünger yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Hücresele poliüretan sünger yapısı [6]

Poliüretan köpüğün şişmesini sağlayan çeşitli metotlar vardır. Bunlar:

- a) CO₂ 'in oluşmasına neden olan su, poliöl ve izosiyonatın reaksiyonu sonucu, poliüretan köpük eldesi.
- b) Suya oranla daha düşük sıcaklıkta buharlaşan halojenli hidrokarbonların köpürtücü eleman olarak köpük hammaddesine (poliöl) eklenmesi, ekzotermik reaksiyonla sıcaklığın yükselmesi sonucu, buharlaşma ile köpürme oluşması ve poliüretan köpük üretimi.
- c) Hava reaksiyon içine dâhil edilerek, şişirme işleminin yapılması ve köpük eldesidir.

2.2.4. Katalizörler

Katalizörler, poliüretan imalinde gerektiğinde kullanılan ve proseste önemli rol oynayan kimyasallardır. Katalizörün cinsi ve miktarı, reaksiyon hızını ve reaksiyon

zamanını belirlemektedir. Katalizörler, poliüretanın sert veya yumuşak olmasında da önemli bir paya sahip olmaktadır.

Poliol-izosiyanat ve su-izosiyanat reaksiyonları için çok sayıda katalizör kullanılmaktadır. Katalizörün seçimi aktivite, buhar basıncı, zehirlilik, koku, çözülebilirlik, stabilite, prosese girme durumu ve fiyat gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Yaygın bir şekilde kullanılan katalizörler iki kategoriye ayrılabilirler. Bunlar,

1. Tersiyer aminler
2. Organik metal tuzları

Bu iki çeşit katalizörün karışımı çok sık kullanılmaktadır. Çünkü tersiyer aminler reaksiyonda şişirme işlemine yardımcı olurken, organik metal tuzlar da reaksiyonun jelimsi bir kıvama hale gelmesini sağlamaktadır.

Yaygın olarak kullanılan tersiyer amin katalizörleri trietilendiamin, dimetiletonalamin (DMEA), tetrametilbütandiamin (TMBDA) ve trietilamin (TEA)'dir. Bu katalizörler daha çok, köpüğün reaksiyon zamanları üzerinde belirleyici rol oynarlar. Rijit poliüretan köpüklerde en çok kullanılan katalizör polyeter-polisiloksanlardır. Bunlar daha iyi, uniform ve kapalı hücre yapısını oluşturmaktadır. Özellikle kenar boşluklardaki hataların elimine edilmesine yardımcı olmaktadır [6].

2.2.5. Silikonlar

Silikonlar küçük miktarlar halinde diğer bileşenlere ilave edilmektedirler. Silikonların eklenmesi üç temel sorunun çözülmesini kolaylaştırmaktadır:

- Düzensiz gaz kabarcıkları oluşmasını veya artmasını önlemektedir,
- Poliöl ve izosiyanatın birbirine karşı uyumunu kolaylaştırmaktadır,
- Köpüren reaksiyon karışımının stabil olmasına yardımcı olmaktadır.

2.3. Poliüretanın Sınıflandırılması

Poliüretan türleri; köpükler, elastomerler, katı plastikler, poliüretan kaplamalar olmak üzere 4 ana grupta toplanmıştır.

2.3.1. Poliüretan köpükler

Esnek poliüretan köpükler farklı kalıplar yardımıyla otomobil koltukları gibi çok farklı şekillerde üretilebilmektedir. Esnek poliüretan köpükler, yataklar ve oturma grupları gibi birçok alanda kullanılabilirler. Türkiye poliüretan endüstrisinde rijit diye adlandırılan sert poliüretan köpükler ise mükemmel ısı izolasyon kapasiteleriyle, binalarda ısı izolasyon malzemeleri olarak büyük önem arz etmektedir. İnşaat, beyaz eşya ve otomotiv sektörlerinde önemli miktarlarda kullanılmaktadır [6].

2.3.1.1. Esnek poliüretan köpükler

Esnek poliüretan köpükler tek aşamalı diizosiyanat ile poliollerin köpük yapıcı maddeler varlığında polimerleştirilmesi ile elde edilmektedir. Poliollerin bileşeni olarak polieterler ve esnek zincirli poliesterler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan polioller yaklaşık 3000 molekül ağırlıklı gliserin ve propilenoksit esaslı polieterlerdir. Çapraz bağlanma için hidroksil gruplarının ve primer hidroksil gruplarının sayısı önemli olmaktadır. Primer hidroksil grupları sekonder hidroksillerden daha hızlı reaksiyon vermektedirler. Ayrıca primer hidroksillerle oluşan üretanların termal kararlılığı diğerlerinin daha fazla olmaktadır.

Poliüretan köpük yapımında kullanılan başlıca izosiyanat bileşiği tolien diizosiyanattır. Polimerleşme sırasında üretan oluşturan izosiyanat, hidroksil reaksiyonu ve amin oluşturarak CO₂ açığa çıkaran izosiyanat- su reaksiyonu yanında allofonat ve biüret reaksiyonları da yer almaktadır. Bu reaksiyonlar, çapraz bağlanma yoğunluğunu önemli ölçüde etkilemektedir. Tolien diizosiyanat polietertriol ve sudan gelen toplam aktif hidrojene eşdeğer miktarda kullanılır. Tipik bir polipropilenoksit triol için 100 kısım poliole karşılık 46 kısım toliendiizosiyanat katılması yeterlidir.

Köpük teknolojisinde en çok kalay oksonat katalizörü kullanılmaktadır. Çok sayıda süreçte kalay ve amin katalizörleri bir arada kullanılmaktadır. Yeterli reaksiyon hızlarının sağlanabilmesi için % 0.2-0.5 oranında katalizör yeterli olmaktadır. Tablo 2.1’ de esnek poliüretan köpüklerin bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.1. Esnek poliüretan köpüklerin özellikleri [4]

Esnek poliüretan köpüklerin özellikleri	
Yoğunluk (g/cm ³)	0,032
Modül (MPa)	0.068
Çekme Mukavemeti (MPa)	0.19
Uzama (%)	300

Ortamda bulunan veya % 2 kadar katılan su, izosiyanat ile reaksiyon vererek CO₂ oluşturmaktadır ve üre köprüleri oluşumu ile dallanma çapraz bağlanmayı arttırmaktadır. Gaz çıkışı hızı kontrol edildiğinde köpük yapı oluşmaktadır. Çok daha düşük yoğunluklu yumuşak köpüklerin yapımında ise % 2-15 kadar reaksiyon ısı ile kontrollü bir şekilde buharlaşabilen düşük kaynama noktalı inert maddeler (köpük yapıcı monofluorotriklorometan) kullanılmaktadır.

Köpük yapımında, silikon polimerleri reaksiyon sırasında köpük kararlılığının sağlanması ve gözenek çaplarının kontrolünü sağlamak amacıyla küçük miktarlarda kullanılmaktadır.

2.3.1.2. Sert poliüretan köpükler

Sert poliüretan köpükler esnek köpüklere göre yapım tekniği açısından oldukça benzerdir. En önemli farklılık kullanılan poliöl bileşenindedir. Sert yapının oluşması için molekül başına üçten fazla hidroksil grubu içeren polieterler kullanılmaktadır. Bu polieterler pentaeritritol, sorbitol gibi maddeler kullanılarak hazırlanmaktadır. Üç hidroksilli polieterler kullanılacaksa molekül ağırlıklarının çok küçük olması gerekmektedir. Böylece sert köpüklerde esnek köpüklere oranla çok daha yüksek çapraz bağlanma yoğunluklarına ulaşılmaktadır. İzosiyanat monomeri olarak tolilen

diizosiyanattan daha az uçucu olan difenilmetan diizosiyanat kullanılmaktadır. Tablo 2.2' de sert poliüretan köpüklerin bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.2. Sert Poliüretan köpüklerin özellikleri [4]

Sert Poliüretan Köpüklerin Özellikleri	
Yoğunluk (g/cm ³)	0,032
Eğilme Modülü (MPa)	0.482
Çekme Mukavemeti (MPa)	0.344
Eğilme Mukavemeti (MPa)	0.413
Basma Mukavemeti (MPa)	0.344

2.3.2. Poliüretan elastomerler

Dökme poliüretan elastomerler, reaktif bir sıvı karışımın karıştırılıp bir kalıba dökülmesiyle elde edilmektedirler. Bu malzemeler yüksek aşınma dirençlerinin yanı sıra yağ, petrol ve polar olmayan solventlere karşı da dayanıklıdırlar. Çeşitli kauçuk uygulamalarında ve merdanelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.3' de PU ve doğal kauçuk gibi elastomerlerin bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.3. Elastomerlerin özellikleri [4]

Özellik	Elastomer PU	Doğal Kauçuk
Sertlik (Shore A)	81	71
Modül (MPa)	13.78	15.15
Çekme Gerilmesi (MPa)	43.43	26.20
Uzama (%)	600	440

Poliüretan elastomer fiberler ise iki ana yöntemle elde edilmektedir. Birinci solvent (genellikle solvent olarak DMF denilen dimetil form amine kullanılmaktadır) ile spin edilerek ya da belli ekstrüderlerde eritme prosesine tabi tutularak yapılmaktadırlar. Genellikle solvent yöntemi kullanılmakta olup, bu yöntemde kendi içerisinde iki gruba ayrılmaktadır. Birincisinde poliüretan hazır halde solventte çözülüp sisteme ilave edilirken, diğerinde ise polioller ve izosiyanatların DMF içerisinde ilave edilip poliüretan elde edilmesine dayanmaktadır.

2.3.3. Poliüretan termoplastikler

Dünya poliüretan pazarının büyük bir kısmını oluşturmakla beraber poliüretan plastikler denebilecek katı poliüretanlar, çok yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Bunlar granüller halinde enjeksiyon kalıplamada yada ekstrüderler kullanılarak eriyik prosesle şekillendirilmektedir. Bu polimerler yüksek mukavemet ve yüksek aşınma direncinin yanı sıra çevre direnci denilen solvent ve benzeri etkilerden de etkilenmeyerek çok önemli bir polimer grubunu oluşturmaktadır. Kablo ve hortum gibi uygulamalarda, ayakkabılar ve yüksek aşınmalı mühendislik uygulamaları kullanım alanlarından bazılarıdır [7].

2.3.4. Poliüretan kaplamalar

Poliüretan kaplamalar, boru hatlarının korozyona karşı korunmasında, suni deride, esnek tekstil kaplamalarında ve film yapıştırıcılarında da kullanılmaktadır. Boya ve kaplamalarda poliüretan çok yüksek aşınma direnci ile havacılık ve otomotiv sektörünün en önemli hammaddelerinden biri olmaktadır. Ahşap yapılarda ve kompozitlerinde ise bağlayıcı olarak da kullanılmaktadır [7].

2.4. Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama (RIM) Prosesi

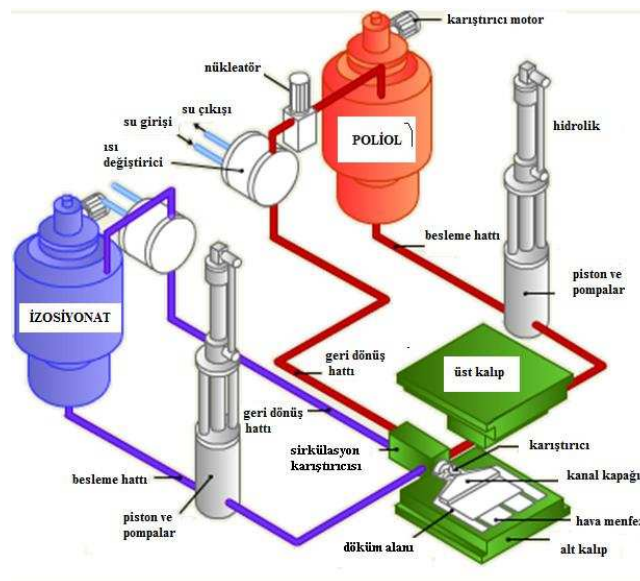
Poliüretanlar için reaksiyon enjeksiyon kalıplama teknolojisi, 1960'da Bayer malzeme bilimi laboratuvarlarında geliştirilmiştir. RIM, özel hazırlanmış iki bileşenli poliüretan sitemlerin, makineler yardımıyla kalıba enjeksiyonu sonucu oluşturmaktadırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan RIM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

Poliüretan RIM teknolojisi, dizaynda serbestlik sağlayarak küçük ve büyük karmaşık şekilli parçaların üretimini sağlamaktadır. Değişik bileşenlerin daha hızlı birleşmesiyle birinci sınıf yüzeyler elde edilmesinin yanısıra hafif ve mukavemetli malzeme üretimini sağlamaktadır [8].

Poliüretan RIM parçaları; düşük ağırlık ve yüksek mukavemetle beraber ısı direngelik, termal izolasyon, boyutsal kararlılık ve yüksek dinamik özellikleri göstermektedir. Ayrıca inorganik, organik asitler, diğer potansiyel zarar verici malzemeler ve kimyasallar içeren çözeltilere karşı iyi direnç göstermektedirler. Atmosferin etkisine ve yaşlanmaya karşı dirençleri diğer bir artıdır ve güneşin UV ışınlarına maruz kalsalar bile renklerinde bozulma olmaz [9].

Termoplastiklerin tersine RIM polimerleri, kalıpta bir bölme içine kimyasal olarak reaksiyon gösteren iki sıvının gönderilmesiyle oluşmaktadır. PU'ı oluşturan sıvılardan biri olan poliöl kalıp parçasının fiziksel özelliklerini belirlemektedir. Yoğunluk, sıkışma gücü, elastik modül, renk ve diğer özellikler poliöl tarafından belirlenmektedir [10].

RIM prosesi, 150 litre veya daha fazla izosiyonat ve poliölü muhafaza edebilmektedir. Yeniden dolaşım pompaları ve karıştırıcılar ilk baştaki bileşenlerin homojen bir şekilde karışımını sağlamaktadır. Isı değiştiriciler sıcaklığı sabit tutar, yüksek basınç silindirleri veya pompaları izosiyonat ve poliöl karıştırıcı tarafından uygun oranlarda ölçülmektedir. Akış hızı, basınç ve sıcaklık kaliteli kalıp parçaları elde etmek için sürekli kontrol edilmektedir. Şekil 2.3' de RIM prosesi şematik olarak gösterilmektedir [11].



Şekil 2.3. RIM prosenin şematik gösterimi [12]

2.5. Taşıma Endüstrisinde Esnek Poliüretan Köpük Kullanımı

Koltuğun konforu, dayanıklılığı, sürekliliği, güvenliği ve ekonomik boyutu her modern taşıma biçiminin ihtiyacı olarak ortaya çıkmaktadır. Özel ya da ticari araç üreticileri; koltuk sistemlerinde ve diğer bileşen unsurlarda elastik poliüretan köpük (EPK) kullanarak bu ön koşulu karşılamaktadır. Şekil 2.4 ' de örnek bir poliüretan otomobil koltuğu verilmektedir [13].



Şekil 2.4. Poliüretan otomobil koltuğu [13]

Poliüretan süngerin otomobiller, kamyonetler, otobüsler, hava taşıma araçları ve botlar için ihtiyaç duyulan özellikleri karşılaması için sınırsız bir takım formüller çerçevesinde nasıl üretilebileceği gözden geçirilmektedir. Bu açıdan günümüzde güvenilirliği ve elastik olması açısından çok yönlü üretim malzemelerinden biri olma özelliğini taşımaktadır. Poliüretan sünger, yolda giden bir traktör ya da römork donanımının neden olduğu titreşimlerin azaltılması ve dört kapılı lüks bir binek araç kullanıcısına sarsıntısız bir sürüş keyfi yaşatmak için formüle edilebilmektedir.

Uzun süreli konfor ve performans sağlamak için, poliüretan sünger otomobilden uçağa kadar çeşitli koltuk tiplerinin güvenlik gereksinimlerini karşılamak için modifiye edilebilmektedir.

Deniz taşıtları için yapılan uygulamalarda, paslanma ve küf oluşumlarını ortadan kaldırmak için PU' nın doğal direnci işe yaramaktadır. Anti-mikrobik kimyasalların eklenmesi bu alanda PU süngerin performansını arttırmaktadır. Sürekli oluşan bir

nem ortamında fiziksel performans, gemi gövdesinde güvenle dolaşma ve destek sağlama yetisi, gemi gereçleri ve koltukları için PU süngerin seçiminde rol oynamaktadır. 1950'li yılların başlarında "Mucize Malzeme" diye sunulan PU sünger, taşıma endüstrisi kapsamında önemli yararlar sağlamaktadır [13].

Çevrenin korunması için araç koltuklarının geri dönüşümünün yapılması oldukça önem taşımaktadır. Taşıt koltuklarında yayların kullanılmaması, geri dönüşümde masrafların üçte ikisini ortadan kaldırmaktadır. Yeni araştırmalar; yol hattı düzensizlikleri ve aracın dinamiklerinin neden olduğu titreşimleri en aza indirgeyen PU sünger türleri üzerine odaklanmaktadır.

Bazı tasarımcılar, bir koltuğun son derece elastik olması gerektiğini belirtmekte iken diğerleri koltuğun daha çok titreşimsel-bastırımı ile ilgilenmektedir. İki spesifikasyon birbirine karşıt gözükmekte, fakat yöntemler esneklik sağlanması ve titreşimin kontrol altında tutulması için geliştirilmektedir.

40 yılı aşkın süredir yapılan ürün geliştirme araştırmaları, taşıma endüstrisi için en uygun tercihin poliüretan malzemelerin olduğunu ortaya koymuştur. Titiz deneyler, değişen ihtiyaçları ve gelecek talepleri karşılamak için köpük formülasyonlarına götüren yeni teknoloji araştırmalarına öncülük etmektedir.

Yaysız koltuklar, nispeten son gelişmeleri kapsamaktadır. Ancak, genellikle yatak ve koltuk esasına dayanan kontraplak platformlarının ürünlerde yay kullanılmamaktadır. Temel destek tedarik eden ve yüzey yumuşaklığında gövdeyi koruyan yüksek elastikiyete sahip köpükler, botlarda konfor artışı sağlamaktadır.

Hava taşıtlarındaki koltuklar için yeni bir yaklaşım; yolcular için uzun süreli bir konfor sağlama hususunda havacılık endüstrisinin yanma gereksinimlerini karşılamak için üretilen grafit emdirilmiş köpüğün kullanımı olmuştur.

2.5.1. Otomotiv koltuklarında konfor ve güvenlik

Otomobil, kamyonet ve spor araba üreticileri, koltukların tasarımında hem ergonomik hem de estetik unsurları göz önüne almaktadırlar. Bu önemli derecede gözle görülebilir bileşenler sürücünün ve makinesinin benzeyen ve benzemeyen tarafları için ikinci önemli noktayı oluşturmaktadır. Fakat motor ilk önem sırasını teşkil etmektedir. Çerçeve, köpük, döşemeler ve mekanizmaları kapsayan koltuk sistemlerinin tüm performansı ve konforu, araç satın alma kararını etkileyen bir anahtar faktör olma özelliğini taşımaktadır. Artış gösteren bir şekilde, belli başlı araba şirketleri, koltuk kalitesini yükseltmek için taşeron firmalarla çalışmaktadırlar. Tasarım ve mühendislik genellikle işin özünü oluşturmaktadır [13].

Koltuk sistemleri üretiminde uzmanlaşmış şirketler, gerekli parçaları kendileri üretebilmekte, ya da gerekli malzemeleri diğer şirketlerden satın alabilmektedir. Sonuç olarak, birçok tedarikçi tek bir araç için bile koltuk üretmede kendilerini işin içerisinde bulabilmektedir. Araba üreticileri ve onların birçok tedarikçileri, sürüş kolaylığı, konforun en üst düzeye çıkarılması için her kontrol seviyesinde yeni teknolojiler ve malzemeler keşfetmektedirler [13].

Yıllardır araba üreticileri, maliyet etkisi ve karmaşık tasarımlar için gerekli olan çok yönlü dayanıklı tamponlama malzemesi olarak PU süngere güvenmektedir. PU sünger çoktan otomotiv koltuklarının önemli bir unsuru durumuna gelmiştir. Neredeyse tüm Japon otomobillerinin ve Amerikan arabalarının önemli bir kısmı derin köpük koltuklarla donatılmaktadır. Bu sistemler, diğerlerine göre hafif olmakta ve daha yüksek performans sağlamaktadır. Tüm köpük koltuk türlerini imal eden bir üretici bile daha az iş kuvveti ve etkin bir maliyet-kontrol kârını gütmektedir. Halen, tek bir kalıplama yöntemiyle koltuklar, etkin yan destek sağlama hususunda sabit parametreler ile birleşen yumuşak ve konforlu bir merkezi bölge tedarik etmek için üretilmektedir.

Yayların sağladığı hareket, köpük performans karakteristikleri üzerine daha fazla vurgu yapmaktadır. Ev ve ofis mobilyalarını da kapsayan her tip koltuk tasarımcıları ve üreticileri, öncelikle konfor faktörünü dikkate almaktadır. Taşıma endüstrisi için

memnun edici bir konfor düzeyini yakalamak daha karmaşık hale gelmektedir. Örneğin; kanepeler ve sandalyeler statik olmaktadır. Otomobiller ise daha dinamik olma özelliğini taşımaktadır. Tasarımcılar ve mühendisler, araç yol tutuşunu oluşturan mekanik kaynaklar ile ilgilenmektedirler.

Yol güzergâhındaki değişkenler ve aracın dinamikleri tarafından zeminden gelen çoğu titreşimleri ortadan kaldıracak köpüklerin üretimi günümüzde bir zorunluluk olmaktadır. Araç koltukları, bir diğer hayati işlevi de yerine getirmelidir. Tüm kontrollere ergonomik bir geçiş izni veren sürücü pozisyonunu oluşturmada bu pozisyonu muhafaza etmekte ve zarara uğramamış bir görüşe sahip güvenli bir sürüşe izni vermektedir. Eğer köpük bir koltuk ya da sandalyenin kullanım süresini uzatmak için bir hasar oluşursa, müşteri sahipleri bu durumdan hoşnut olmayabilmektedir. Otomobil sürücüleri için koltukların bozulması, görüşü düşürebilmekte ve hatta güvenlik faktörü ortaya çıkabilmektedir.

H-Noktası, güvenlik için yeterli görüş açısına sahip olan sürücünün bulunduğu yüksekliği tanımlamak için endüstri tarafından kullanılan bir terim özelliğine sahiptir. Yükseklik-noktası anlamına gelmektedir. Başlıca etkisi, sırasıyla dinamik modülü (bir dinamik dayanıklılığı ölçümü) ve orijinal bastırım özelliklerini muhafaza etmek için köpük yeterliliği hakkındaki bilgileri, bir dinamik dayanıklılık ölçümü olarak dinamik histerezis (ardıl izlem) tarafından ölçülmektedir [13].

2.5.2. Yeni teknolojiler

Tüketici talepleri değiştiği ve otomobil üreticilerinin müşteri beklentilerini karşılamak için koltuk gereksinimlerini geliştirdiklerinden dolayı, elastik poliüretan köpük, tercih malzemesi olarak işin içerisine dâhil olmaktadır. Araba üreticileri ve tedarikçileri tarafından malzemelerin ve bileşenlerin yoğun testlere tabi tutulması; derin köpük koltuk gibi yenilikleri desteklemektedir. Bu teknolojik olarak ilerlemiş koltuk sistemi; ağırlığı indirgemekte, ürün oranını arttırmakta ve tüketicilerin konfora ulaşmasını sağlamaktadır. Otomotiv tasarımcılara ve mühendislere performans hedeflerini tutturmasını sağlamak için güvenilirlik, elastikiyet ve çok yönlülüğü arttırmak için araştırma çalışmalarına devam etmektedir.

Aynı zamanda kamu yararı için koltuklar daha konforlu, göze daha hoş gelen, dokunulduğunda daha estetik, tamamen güvenli ve ekonomik olmaktadır. Devam eden araştırma ve deneylerin en temel amacı, dayanıklılık olmaktadır. Araçlardaki dayanıklılık, otomobil, kamyonet, ya da otobüslerle yapılan uzun yolculuklarda köpüğün tutarlılık özellikleri ile tanımlanmaktadır. Koltuk köpüğü, performansı önemli derecede etkileyen aşırı yüke, soğuk ve nemliliğe düzenli olarak maruz kalmaktadır. Kaydedilen önemli ilerlemeler, köpük dayanıklılığını geliştirmek için yapılmaktadır [13].

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM KALIPLAR

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 kimya, gemi yapımı, gıda, otomotiv, uçak endüstrisi, makine imalatı alanlarında geniş kullanım alanına sahiptirler [14].

Alüminyumu diğer metallerden ayıran en önemli özelliğini özgül ağırlığının düşük olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olmasıdır [15]. Tablo 3.1' de saf alüminyumun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve diğer metallerle karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 3.1. Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırılması [16]

Özellik	Alüminyum	Bakır	Titanyum
Kristal Kafes Yapısı	YMK	YMK	SPH
Yoğunluk (g/cm^3)	2.7	8,93	4.5
Ergime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	660	1083	1670
Özgül ısısı (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 SHP: Sıkı paket hegzagonal

Alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok yüksektir ve oksijenle karşılaştığında çok kısa sürede reaksiyona girerek Al_2O_3 bileşiği oluşturur. Al_2O_3 bileşiği alüminyumun yüzeyinde ince, sert, mukavemetli ve yoğun bir film tabakası oluşturarak alüminyumun korozyon direncini artırmaktadır. Bu özellik alüminyumun kullanım alanını genişletmektedir [17]. Tablo 3.2' de Etial 150 Al-Si alaşımının genel özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.2. Etial 150 Al-Si alaşımının genel özellikleri [16]

Kimyasal Bileşim										
	Cu	Si	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
Maksimum	2.5	11.5	0.30	1.0	0.5	0.5	2.0	0.3	0.2	0.2
Mekanik Özellikler										
Çekme Mukavemeti (MPa)								300		
Darbe Direnci (Charpy) (Nm)								2.9		
Uzama (%)								3		
Kayma Mukavemeti (MPa)								200		
Elastik Modül x 10 ³ (MPa)								71		
Yorulma Dayanımı 5 x 10 ⁸ cycles (MPa)								71		
Sertlik BHN (max)								90		
Fiziksel Özellikler										
Ergime Aralığı (°C)								570– 525		
Yoğunluk (g/cm ³)								2.74		
Termal İletkenlik (cal/cm ² /°C at 25°C)								0.24		

Alüminyum alaşımları saflık derecelerine göre sınıflandırılmaktadırlar. 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 [14].

3.1. Alüminyum Plastik Kalıpları

Son yıllarda alüminyumun plastik üretim endüstrisindeki kullanımını büyük artış göstermektedir. Bunun başlıca sebeplerinden birin alüminyumun ısı iletim özelliklerinin iyi olması gelmektedir. Alüminyumun özellikleri onun kum, seramik gibi kalıplara dökümünü mümkün kılmakta ve mekanik Şekil verilebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Bu özellikler ayrıca köpük kalıplar içinde uygunluğunu da artırmaktadır. Sıkıştırma kalıplar için Al tavsiye edilmez. Sıkıştırma ve erime gücü

prosesleri Al kalıp içinde ekstra stres ve yırtılmalara neden olur buda kalıbın ömrünü azaltmaktadır.

Maliyet açısından berilyum, bakır, bronz, pirinç ve soğuk şekillendirilmiş çelikle mukayese edildiğinde daha ucuz olduğu görülmektedir. Enjeksiyon kalıpcıları Al' u alternatifsiz malzeme olarak düşünüp enjeksiyon kalıbı olarak kullanmaktadırlar. Al' un devamlılığı sert çelikler kadar iyi değildir, fakat uygun dizayn ve bakımla iyi bir kalıp malzemesi özellikleri gösterebilmektedir.

Plastik endüstrisinde kullanılan kalıplar için birçok malzeme çeşidi mevcuttur. Genellikle kullanılan malzemeler Al alaşımları, tahta ve epoksidir. Bu malzemelerin kendilerine has özellikleri vardır ve bu özellikler onları dizayn koşullarına ve üretim prosesine göre uygun malzemeler yapmaktadır.

Plastik üretiminde malzeme seçimi sırasında arzu edilen en önemli etken üretimin tamamlanabilmesidir. Bununla beraber dikkat edilmesi gereken özellikler şöyledir [17];

- Aşınma dayanımı
- Basınç dayanımı
- Yeterli seviyede tokluk
- Korozyon direnci
- Isı iletim katsayısı
- Boyutsal kararlılık
- Ekonomiklik ve kalıp malzemesinin kolay elde edilebilirliği
- Kolay işlenebilirlik
- Kalıp özellikleri değiştirebilmek için ekstra gereksinimler
- Yüzey özelliklerinin iyi olması
- Yüzey dokusunun uygun olması
- Plastik şekil verilebilirliğinin iyi olması
- Plastik parçaların üretiminde kullanılabilir olması
- Beklenen kalıp ömrünü karşılayabilmesidir.

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

Alüminyum çok dayanıklıdır, fakat şekillendirmeden sonra uygun dayanımı elde edebilmek için ısı işleme ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok metal Alüminyumun kimyasal dayanımına sahip değildir. Epoksi ya da tahta gibi kalıp malzemeleri korozif ortamlara maruz kaldıklarında özelliklerini kaybetmektedirler. Özellikleri tahta kalıplar kısa sürede çürüme sorunu göstermektedirler. Al kalıpların sıcaklığı içinde absorblaması ve burada tutmasında dolayı tasarım sırasında soğuma kanalları unutulmamalıdır [17].

3.2. 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 sebepleri de tercih sebeplerinden bazıları oluşturmaktadır. Polimer üretim endüstrilerinde kullanılan kalıpların yüzeylerinin iyi yapışmazlık, yüksek sertlik ve aşınma direnci gibi bazı özellikler 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 tamamlanıp kalıp açıldığında, PU'nın kalıptan ayrılması için kalıp yüzeyinin buna izin vermesi gerekmektedir [18]. Şekil 3.1 a)'da Al kalıp ve reaksiyonu yeni tamamlamış PU sünger, Şekil 3.1 b)'de otomobil koltuğu üretiminde kullanılan PU sünger ürün gösterilmektedir.



Şekil 3.1. PU Koltuk a) Al kalıp ve reaksiyonunu yeni tamamlamış PU sünger b) otomobil koltuğu üretiminde kullanılan PU sünger ürün [19]

Poliüretanın kalıptan çıkarılması sırasında süngerin zarar görmemesi çok önemlidir. Kalıp yüzeyleri genellikle kaplamasızdır. Geleneksel yöntemlerde yapışma sorunu giderebilmek için PU' nın 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 sorunu tam olarak giderilememekle birlikte, malzeme ve iş gücü kaybı ortaya çıkmakta bu da ek bir maliyeti beraberinde getirmektedir.

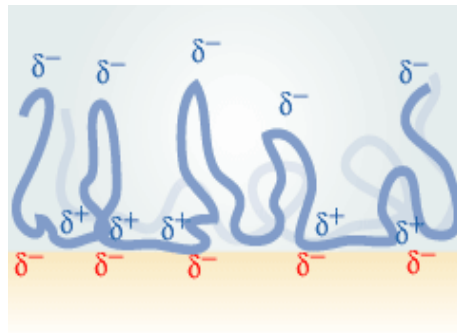
3.3. Al Kalıp Yüzeyinde Bağlanma Mekanizmaları

Fiziksel kimyada, bir katı faz ile ikinci bir faz arasında oluşan çekime adhezyon denilmektedir. Adhezyon elektrostatik kuvvetlerden, van der wals kuvvetlerinden veya kemisorpsiyon (katı yüzey üzerine kimyasal bağlanma)' dan dolayı oluşabilmektedir [20]. 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 [21]. Şekil 3.2' de pürüzlü yüzey üzerinde yapışma mekanizması verilmektedir.



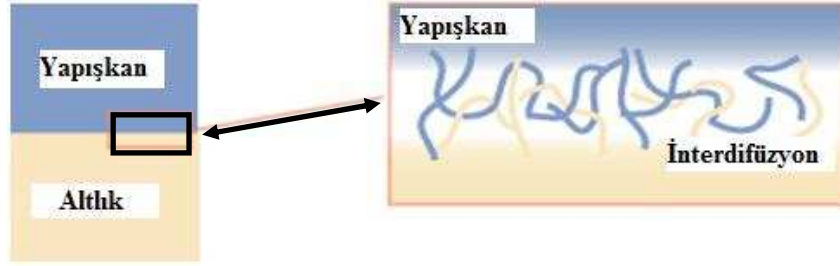
Şekil 3.2. Pürüzlü yüzey üzerinde yapışma mekanizması [21]

Elektrostatik teoriye göre yapışkan-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 sahiptir yüksek elektronegativiteye sahip olana doğru gerçekleşmektedir. Bu transfer, arayüzey de şarjın geçtiği bir çift tabaka oluşturmaktadır. Şekil 3.3 ' de elektrostatik bağlanma teorisi verilmektedir [21].



Şekil 3.3. Elektrostatik bağlanma teorisi [21]

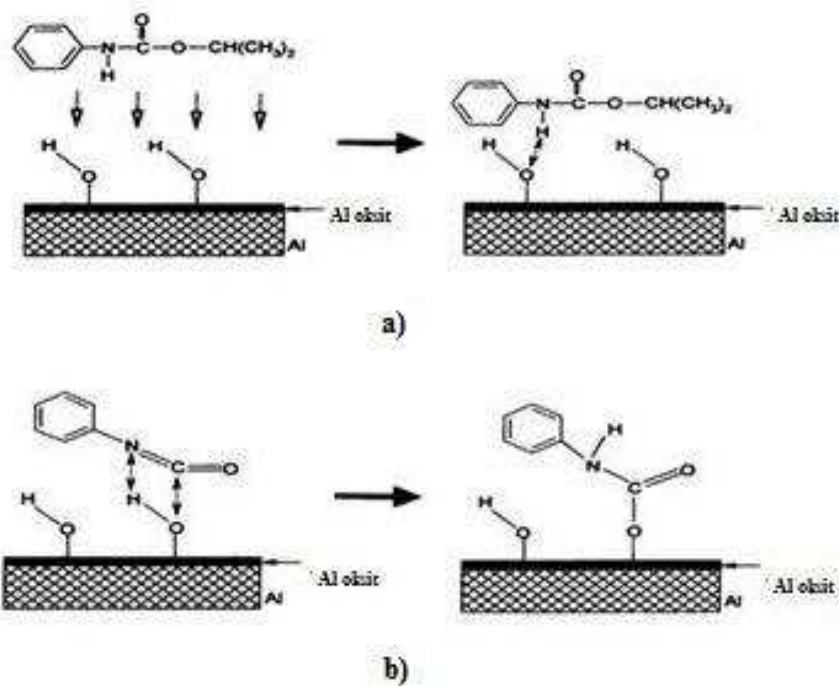
Difüzyon teorisi ise arayüzey bağ mukavemetini belirleyen polimerin difüzyonunu tanımlamaktadır. Yüzey ıslatması kendi başına yeterli değildir. Difüzyonun oluşması için gerekli şartlar, bu teorinin difüzyonun olabildiği sistemlere uygulanabilirliğini sınırlamaya yeterli olmaktadır. Aslında bunun anlamı, bu teorinin 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 3.4' de difüzyon ile bağlanma teorisi gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Difüzyon ile bağlanma teorisi [21]

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 [22].

Poliüretan ile alüminyum arasındaki bağlanmada iki etkili mekanizma bulunmaktadır. Şekil 3.5 a)' da Alüminyum hidroksit ile üretan arasındaki H bağları, 3.5 b)' de ise Al ve $-NCO$ ter-polimer arasındaki kimyasal bağlanma verilmektedir.



Şekil 3.5. Poliüretan' ın Al yüzeye bağlanma mekanizmaları a) Al hidroksit ile Üretan arasındaki H bağları, b) Al ve $-NCO$ ter-polimer arasındaki kimyasal bağlanma [23]

Polar üretan ve/veya üre, Al yüzey üzerinde havadaki su moleküllerinin absorpsiyonuyla oluşan $-OH$ ile etkileşime girmektedir. Hidrojen bağı, üretan

fonksiyonel grupları ve OH içeren alüminyum hidroksit arasında oluşmaktadır. Eğer poliüretan çok sayıda –NCO gruplarına sahipse bu gruplar, hidroksit gruplarıyla reaksiyona girerek metal yüzeyinde üretan –NHCOO- oluştururlar. Bu oluşum, -NCO grubuyla H atomu içeren herhangi bir organik bileşim arasındaki genel ve hızlı kimyasal reaksiyon mekanizmasına dayanmaktadır. Al bir altlık üzerinde, katı parçalara ayrılmış fazlar, H bağı ile bir arada tutulurlar. Ara fazın, polimer ve altlık arasında zayıf bir sınır tabakası oluşturması sebebiyle, çok sayıda bağ hasarlarının bulunduğu, poliüretan kristalin ara fazı oluşmaktadır [24].

BÖLÜM 4. POLİMERİK KAPLAMALAR

1938 yılında DuPont kimyagerlerinden Roy Plunkett'in Teflon kaplamaların temel yapılarından biri olan Politetrafloroetilen (PTFE)'i bir rastlantı sonucu bulmasıyla Teflon dönemi başlamıştır. Global ölçekte birçok şirket artık teflonun üretimine ve kullanımına her alanda hız vermektedir. Polimer sektörün gelişmesiyle birlikte çok farklı kaplama malzemesi üretilmeye başlanmıştır. Polietereterketon (PEEK) katkılı PTFE ve katkısız PEEK kullanılan diğer kaplamalardan bazılarıdır.

Teflon kaplamalar, herhangi bir malzeme yüzeyine uygulandığında kimyasal ve solvent direncini artırması, dielektrik kararlılığı göstermesi, sürtünme katsayısını düşürmesi, sıcaklık direncini artırması, ısıyı sabitlemesi bakımından önemli rol oynamaktadırlar [4].

4.1. Kaplamaların Gelişim Süreci

Teflon kaplamalar yüksek yapışkanlık özellikleri nedeniyle erime sürecine dayanan bir yöntemle üretilmemektedirler. Ancak yapışmayan bir yüzeye sahip kaplamaların üretimi Tetrafloroetilen (TFE) yapısının kopolimerizasyonunun geliştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. TFE' nin kopolimeri olan Florinatenetilenpropilen (FEP); PTFE 'ye oranla daha düşük kullanım sıcaklığına sahiptir. Burada etken olarak mekanik özelliklerinin zayıflığı gösterilebilir. Perfloralkol (PFA), FEP' e benzer şekilde malzeme yüzeyinde ürünün erime ve akmasına izin veren, yapışmaya dayanıklı bir yüzey tabakası oluşturmaktadır. PFA, 260 °C maksimum kullanım sıcaklığına sahiptir [25].

Etilentetrafloroetilen (ETFE), hem FEP hem de PFA' dan mekanik olarak daha sağlamdır. Çünkü FEP ve PFA düşük kimyasal dirence ve sıcaklık kullanımına, yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Herhangi bir biçimde oluşmamış TFE

kopolimeri özel halojen bir sıvı içinde çözülür ve polimerik çözelti olarak ince kaplama yüzeylerine uygulanabilir [26].

4.2. Floropolimerlerin Yapısındaki Monomerlerin Oluşumu

İlk güvenilir ve detaylı sentez çalışmaları 1933 yılında Ruff ve Bretschneider yapmıştır. Ortaya koydukları yöntemlerle, Tetrafloretülenin yüksek basınçta serbest radikal başlatıcıları polimerleştirilmesiyle oluştuğu sonucuna varmışlardır. Tetrafloretülen, bromun halojenik tepkimeye uğratılması ve diğer tepkime sonucu açığa çıkan ürünlerden ayrıştırılarak elde edilmesine dayanmaktadır. Çinkonun halojenik tepkimeye uğratılması sonucunda da saf tetrafloretülen meydana gelmiştir. Hidroklorik asit, Florspar ve kloroformun tepkimeye uğratılarak tetraflor elde edilmesi ticari alanda öne çıkan tekniklerdendir [27].

Sherratt, tetrafloretülenin elde edilmesine yönelik bir süreç belirlemektedir. Buna göre tetrafloretülenin elde edilmesi proliz (ateş yükselmesiyle ya da ısı etkisiyle erime) tepkimelerine bağlıdır. Proliz sonucu ortaya çıkan ürünler soğutulur ve içeriklerinde bulunan Hidrojen Klorürü arıtmak için sulandırılmış bir çözelti içinde iyice ovulur ve en sonunda kurumaya bırakılmaktadır. Yüksek oranda saf tetrafloretülen elde etmek için yukarıdaki sürecin sonunda ortaya çıkan gaz sıkıştırılarak tepkime dışı bırakılmaktadır. Tetrafloretülenin yüksek molekül içeren polimerik yapısı saf olarak elde edilmesini gerektirmektedir. Bu yüzden hidrojen ve klorün meydana getirdiği telojenik etkiler ortadan kaldırılmaktadır.

4.2.1 HFP oluşumu (Hexafluoropropylene)

HFP ilk olarak Benning tarafından proliz (Ateş yükselmesiyle ya da ısı etkisiyle erime) süreciyle hazırlanmıştır. Tam olarak sentezinin yapılması ve marka olarak ortaya çıkarılması Henne tarafından gerçekleştirilmiştir. 6 aşamalı tepkime sürecinin ilk üç aşamasını florun, sonraki iki aşamasını triklorpropanın ve diğer aşamasını DCHF₂'nin tepkimeye sokulması oluşturmaktadır. HFP elde etmenin son aşamasını ise yüksek sıcaklıktaki etanolün içindeki çinkonun dehalojenleştirilmesi oluşturmaktadır.

4.2.2 PFAVE oluşumu (Perfluoroalkylvinylethers)

PFAVE tıpkı PFVE gibi işlemlerden geçerek meydana getirilir. Bunun yanı sıra PF2APF elde etmek için elektrokimyasal işlemlerde uygulanmaktadır.

- 1) HFP, 50-250 °C sıcaklığa ulaşabilen hareketsiz seyreltici bir ortamda oksijen ya da basit bir çözeltide bulunan hidrojen peroksit ile tepkimeye girmekte ve HFPO'ya dönüşmektedir.
- 2) HFPO, PF2 APF meydana getirmek için PAF ile tepkimeye girmektedir.
- 3) PF2APF, yüksek sıcaklıktaki alkalik metal ya da alkalik tuz içeren oksijen ile tepkimeye girer. Bu tuzlara örnek olarak sodyum karbonat, lityum karbonat ve sodyum tetraborat verilebilmektedir.

4.2.3. CFE oluşumu (Klorotrifloroetilen)

Bu monomer, perflor monomerlerle karşılaştırıldığında üretimi daha kolay olmaktadır. CFE'nin endüstriyel üretim süreci trikloro ve trifloreten (TCTFE) aşamalarıyla başlamaktadır. 500-600 °C proliz (ateş yükselmesiyle ya da ısı etkisiyle erime) yöntemi kullanılarak klor atomlarından ayrıştırılmış gaz haline dönüşür.

Oluşan tepkime sonucu meydana gelen gaz ya da sıvı durumda oluşan kirlenmeleri ortadan kaldırmak için arıtma ve damıtma aşamalarından geçmektedir. Teflon CFE, metil klorid, dimetil eterden ve sülfürik asit ile tepkimeye girmiş sudan arıtılarak daha da saf hale gelmektedir. Su ve hidroklorik asit, CTFE yapısındaki tuz, sıvı ortamda yoğunlaşmadan arıtılmaktadır.

4.2.4. VDF oluşumu (Vinylidene Fluoride)

Teflon VDF'nin hazırlanmasında birçok yol bulunmaktadır. Aşağıda belirtilen iki yol endüstriyel üretimde öne çıkmaktadır. Dönüşüm işlemi trifloraetan gazının 1200 °C derecede ısıtılmış olan platinyum yapılı Inconel tüpten geçişiyle başlamaktadır. 0.01

saniye civarında temas gerçekleşmektedir. Ortaya çıkan gazlar hidroklorik asiti ortaya çıkarmak için sodyum floridli ortamdan geçerler ve sonra sıvı nitrojen içinde birikirler. VDF düşük sıcaklıktaki damıtma işlemiyle ayrıştırılmaktadır.

Tepkimeye uğramayan TFE - 47,5 °C derecede açığa çıkar ve yeniden dönüşüme uğramaktadır. Endüstriyel yöntemde HFA'nın hazırlanışı klor, hidroklor ve trifloreten tepkimeleriyle ya da VDC'nin hidroklor tepkimesiyle başlamaktadır. Her iki durumda da ortaya çıkan son ürün VDF'yi oluşturan hidroklorik asit molekülüdür [27].

4.2.5. VF oluşumu (Vinyl Fluoride)

VF ilk olarak 1 difloro ve 2 bromotanın çinko ile tepkimeye girmesiyle elde edilmektedir. VF oluşturulmasına yönelik geliştirilen yaklaşımlar ışığında asetilenin doğrudan hidrojen florid ile tepkimeye girmesi ya da çözeltilerin kullanılması ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra etilenin hidrojen florid ile asetilenin difloroetilenle tepkimeye girmesi diğer alternatifleri oluşturmaktadır.

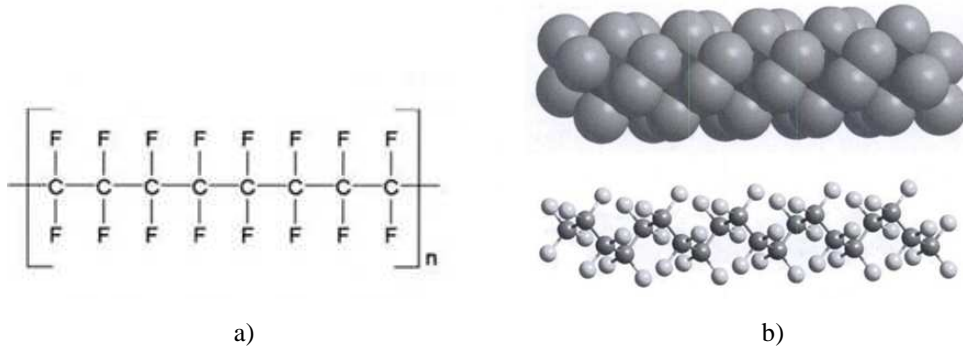
4.3. Floropolimer Kaplama Çeşitleri

Floropolimer endüstriyel kaplamalar, cam, cam fiber kompozitler, bazı kauçuklar ve plastikler gibi metalik olmayan malzemelere uygulanabildiği gibi çelik, alüminyum, paslanmaz alaşımlar, pirinç ve magnezyum üzerine de uygulanabilmektedir. Optimum yapışma, kaplamanın uygulandığı malzeme yüzeyinin pürüzlülüğüne bağlı olmaktadır.

4.3.1. PTFE

Teflon adı verilen günümüzde de bu isimle tanınan PTFE, flor atomları ile doymuş uzun bir lineer karbon zincirinden oluşan molekül yapısı ve flor atomlarının karbon atomları ile çok kuvvetli bağlar oluşturması sonucu meydana gelmektedir. PTFE, kimyasal dayanım, yüksek ve düşük değerlerde sıcaklık direnci, elektriksel özellikleri, düşük sürtünme katsayısı ve değişken sıcaklık değerlerindeki yapışmazlık

özelliği ile mükemmel bir polimer yapısına sahip olmaktadır. Şekil 4.1' de PTFE'nin kimyasal ve moleküler yapısı verilmektedir [27].



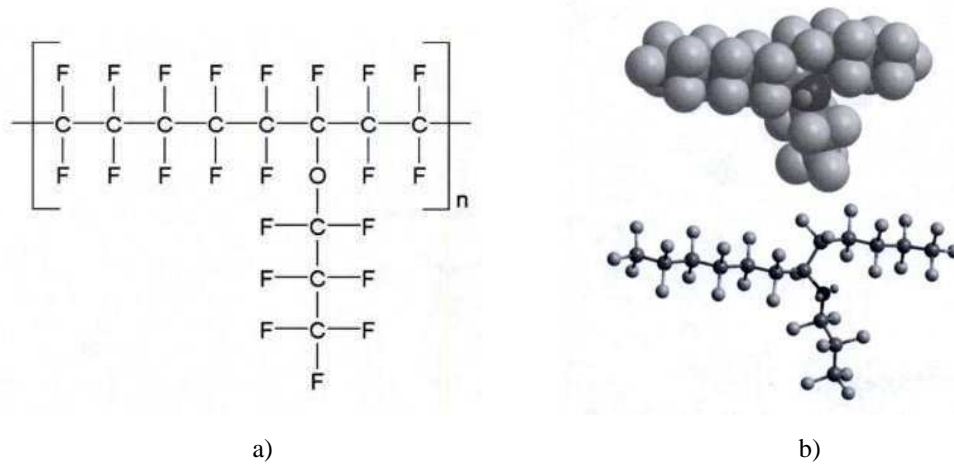
Şekil 4.1. PTFE yapısı a) kimyasal b) moleküler [28]

PTFE 340 °C sıcaklığın üzerine ısıtıldığında, saydam ve amorf yapıda bulunmaktadır. Bu plastikler basınçlı kaplama için granüler toz, yağlama ekstrüzyon için toz ve daldırılmalı kaplama için sulu çözelti halinde bulunmaktadır.

PTFE'nin sürtünme katsayısı yük arttıkça azalır, hız arttıkça artar, ancak sıcaklık ve çevre koşullarından etkilenmemektedir. PTFE eğer güçlendirilmemişse sürtünme özelliği kayma hızı tarafından etkilenmektedir, ancak sıcaklık daha az etkili olmaktadır. Bu plastiklerde az rastlanan bir ısıl genleşme özelliğine rastlanılmaktadır. Bu nedenle ısıl genleşme sıcaklığının üstünde veya altında üretilen bir parça soğutulduğu veya ısıtıldığı durumda bu sıcaklıktan geçerken boyutsal olarak değişikliğe uğramaktadır.

4.3.2. PFA

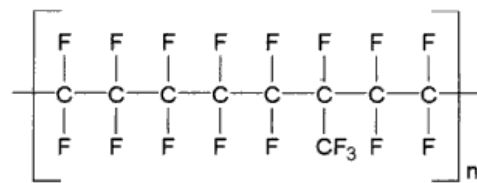
PFA mükemmel kimyasal dayanım, şeffaflık, düşük sürtünme katsayısı ve mükemmel dielektriksel özellikleri bakımından PTFE'nin kullanımının zorlaştığı durumlarda etkin bir rol oynamaktadır. Özellikle karmaşık parçaların kaplanması, korozif ortamlar ve laboratuvar malzemeleri önemli kullanım alanlarını oluşturmaktadır. PFA reçineler, ekstrüzyon ve kalıplamada kullanılabilirler gibi, elektrik- elektronik alanında tel ve kablo izolasyonunda kullanılmaktadır [27]. Şekil 4.2' de PFA'nın kimyasal ve moleküler yapısı verilmektedir.



Şekil 4.2. PFA yapısı a) kimyasal b) moleküler [28]

4.3.3. FEP

PTFE' ye benzer şekilde fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması, karbon ve flor atomlarını yapısında barındırması, hammadde olarak kullanım alanını oldukça genişletmiştir. PTFE' ye oranla daha şeffaf olması ve aynı sıcaklık değerlerinde kullanılabilmesi ön plana çıkmaktadır. FEP reçineleri sulu dispersiyon şeklinde bulunabilmektedir. FEP çok iyi elektriksel özelliğe sahip olması nedeniyle elektrik-elektronik alanda tel ve kablo izolasyonunda kullanılabilir. Bant ve film şeklinde diğer malzeme yüzeylerine yapıştırılabilir özelliğine sahiptir [27]. Şekil 4.3' te PFA'nın kimyasal yapısı verilmektedir

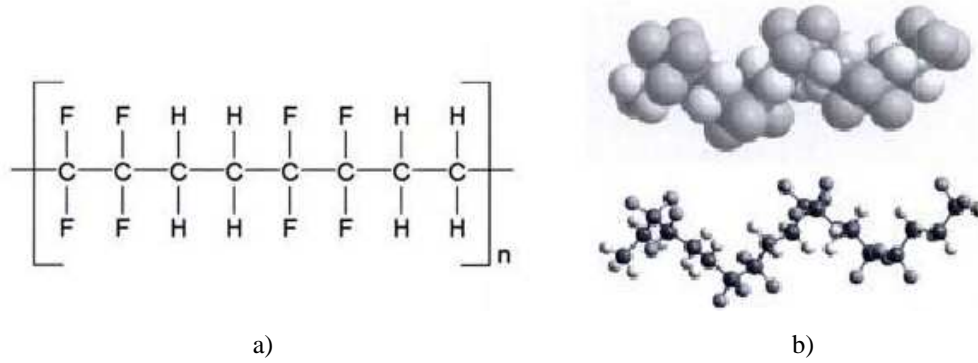


Şekil 4.3. PFA kimyasal yapısı [28]

4.3.4. ETFE

ETFE özelliklerinin tamamının belli bir değerin üzerinde olması ve yüksek radyoaktif ışınlar dayanımı ile dikkat çekmektedir. ETFE'nin molekül yapısının

%75' inin PTFE olması, buna karşılık hem daha hafif, hem de daha kolay şekillendirilebilir olması, ayrıca aşınma ve radyoaktivite dayanımının PTFE 'den daha iyi olması avantajlarından bazılarıdır. Korozif ortam uygulamalarında da sıkça kullanılmaktadır. ETFE, etilen ve PTFE 'nin kopolimeridir. ETFE 200 °C dereceye kadar birçok çözücü tarafından etkilenmemektedir [27]. Şekil 4.4' te ETFE' nin kimyasal ve molekül yapısı verilmektedir.



Şekil 4.4. ETFE yapısı a) kimyasal b) moleküler [28]

4.4. Floropolimer Kaplamaların Özellikleri

Tetraflor, etilenin yüksek basıncında serbest radikal başlatıcılarla, 75-80 °C sıcaklıklarda polimerleşmesinden oluşmaktadır. Tetrafloretilende -760 °C' de bir gaz olup teknikte daha çok aşağıdaki tepkimelerde elde edilmektedir.

Politetrafloretilen, lineer kristallenme derecesi çok yüksek (%93-98) 327 °C' de eriyen, kimyasal ve çözücülere dayanıklı (300 °C dolaylarında bazı çözücülerden etkilenmektedir) nem absorpsiyonu min, elektrik yalıtıcılığı çok iyi bir polimerdir. Zincir yapısı yönünden incelendiğinde politetrafloretilen, kristalize yapıya sahiptir. Kristalde ana zincir üzerindeki dallar önem arz etmektedir. PTFE, karbonlardan oluşma iskelet üzerinde simetrik olarak yer alan küçük atomlardan meydana gelmektedir ve bu zincirler kolayca yan yana gelerek yüksek derecede kristalleşmeye sebep olmaktadır [29].

PTFE, çeşitli takviye ve dolgu malzemeleri içerebilmektedir. Aşınma özellikleri, yük taşıma kabiliyeti ve yüksek mukavemeti, içerdiği malzemeler ile kontrol

edilebilmektedir. Düşük sürtünme katsayısı, yağlayıcılık, şok ve titreşim absorpsiyonu, düşük sesle çalışması floropolimerlerin avantajlarından bazılarıdır.

Teflon yüzeye, çok az sayıda katı madde uzun süre yapışmaktadır. Hemen hemen tüm maddeler yüzeyde yapışmadan kolayca hareket edebilmektedir. PTFE yüzeylerine farklı sıvılar damlatıldığında kontak açısı değişmektedir. Farklı sıvıların PTFE yüzey üzerindeki kontak açısı değerleri Tablo 4.1' de verilmektedir [30].

Tablo 4.1. PTFE kaplama üzerinde farklı sıvıların kontak açıları [30]

Sıvı	Kontak Açısı (derece)
Karbon tetraklorür	36
Toulen	43
Benzen	46
Gliserol	100
Su	108
Civa	150

Teflonun sürtünme katsayısı uygulanan yüke, kayma hızına ve kısmen kullanılan Teflon kaplama tipine bağlı olarak genellikle 0,05 ile 0,20 aralığında olmaktadır.

Yüzeyler Teflon ile kaplandığında hidrofobik olmakta ve ıslanmaya direnç göstermektedir. Kolay ve mükemmel şekilde temizlenebilmekte hatta birçok uygulamada yüzeyler kendi kendini temizlemektedir.

Teflon endüstriyel kaplamalar sürekli olarak 220 °C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Aralıklı çalışma zamanı ve yeterli havalandırma ile 315 °C' de bile kullanılabilir.

Geniş bir frekans aralığında Teflon, yüksek bir dielektrik mukavemete, düşük yayılma faktörüne ve çok yüksek yüzey direncine sahiptir. Özel teknikler kullanılarak elektriksel olarak yalıtkan olduğu kadar, yeterli antistatik özelliğe de sahip bir kaplama üretilebilmektedir. Tablo 4.2' de floropolimer kaplamaların bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 4.2. Floropolimer kaplamaların bazı özellikleri [31]

Kaplama Bazı Özellikleri					
Özellik		PTFE	FEP	PFA	ETFE
Yoğunluk	gr/cm ³	2.15	2.15	2.15	1.76
Sertlik	Shore D	50-65	56	60	72
Kontak Açısı (Su)	Derece	104-111	95-105	104-111	90-100
Erime Noktası	°C	327	260	305	267
Kürleme Sıcaklıkları	°C	380-430	360-390	380-400	300-325
Mak. Kullanım Sıc. Sürekli Süreksiz	°C	290	205	260	150
	°C	315	230	290	200
Salt Sprey (ASTMB117) Alüminyum yüzeyde Çelik yüzeyde	Saat	744+	744+	1000	1000
	Saat	192	-	-	-

Teflon, normalde kimyasallardan etkilenmemektedir. Teflon endüstriyel kaplamaları etkileyen yegâne kimyasalların erimiş alkali metaller ve yüksek reaktif flor katkıları olduğu bilinmektedir.

Çok sayıda Teflon kaplama, fiziksel özelliklerinde değişim meydana gelmeksizin geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilir. -270 °C Teflonun kullanılabilmesi en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır.

4.5. Floropolimerlerin Kullanım Alanları

PTFE plastikleri, içerdikleri katkıları sayesinde çeşitli kimyasal ortamlarda, - 200 °C ile + 260 °C derece sıcaklık aralığında kullanılabilirler. İyi elektriksel yalıtkanlık ve yapışmazlık özellikleri göstermektedirler. Organik çözücülerde çözünmezler, sıcak asit ve baz gibi kimyasal maddelerden etkilenmemektedirler. 150 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda mekanik ve elektriksel özellikleri bozulmadan kullanılabilirler.

Bir polimer ailesi olarak düşük dielektrik sabitine, iyi gerilme dayanımına, yüksek hacimsel ve yüzeysel dirence sahiptirler. Floroplastiklerden özellikle perflorluların sürtünme katsayısı diğer maddelerden daha düşük olduğundan bu polimerler daha iyi yapışmazlık özeliği göstermektedirler. Birçok floroplastiklerin oksijen indisleri 30'

dan büyüktür. Bu nedenle bu maddelerden yapılan ürünler, yanmayı artırıcı yönde etki göstermedikleri gibi yakıldıkları zaman alev almamaktadırlar.

Floroplastiklerin benzer özellikleri kaplama ve kimyasal ekipmanlarında sorunsuz kullanılmalarını sağlamaktadır. Her türlü dişli, musluk ve vana bağlantıları, hidrolik ve pnömatik ekipmanları, kimya, petrol, gıda, ilaç sanayilerinde bütün bağlantılar, valfler, pompalar, boru ve fittingler, yüksek sıcaklık tel ve kabloların izalasyonları, priz ve bağlantılar, tencere kaplamaları, uçak iç bölümündeki ateşe dayanıklı laminasyonlar, mekanik mühürler, endüstriyel aletler, çiftlik makineleri ve bisiklet yapımında kullanılmaktadırlar [29].

4.6. PEEK

Polimer kimyacıları, basit yapılardan yararlı polimerler geliştirmek için 1930' larda atağa kalmışlardır. Carother, bu çalışmaların ilk ürünü olarak naylonu elde etmiştir. Bu çalışmalar yıllarca sürdürülmüş ve 1970' lerde Rose ve arkadaşları daha önceki çalışmaların sonuçlarından faydalanarak yardımcı polimerler geliştirmişlerdir. Rose ve arkadaşlarının çalışmaları polisülfatlara dayanmakta olup, elde edilen ilk ürünleri polieter keton familyasıdır.

PEEK sahip olduğu birçok üstün özellikler sebebiyle, termoplastiklerin en gözde üyesi olmaktadır. Isı dayanımındaki yüksek performansı nedeniyle ticari uygulamalarda yer alan bir termoplastiktir. PEEK, genellikle %35 yarı kristal yapıda bir malzemedir. Kristalizasyon derecesi değiştirilerek ve proses parametrelerine etki edilerek farklı özelliklere sahip son ürünler elde edilebilir. PEEK, darbe dayanımı, düşük aşınma hızı ve yüksek sürtünme katsayısı dahil olmak üzere çok iyi mekanik özelliklere sahiptir. Fakat en önemlisi, bu özellikleri geniş bir sıcaklık aralığında gösteriyor olmasıdır.

PEEK, önemli derecede kimyasal bir dirence sahiptir. Çok sayıda organik ve inorganik kimyasallara karşı son derece dirençli olmaktadır. Sadece konsantre anhidritler ve kuvvetli oksitleyiciler karşısında bozulmaktadırlar. PEEK malzemeler sıcak suda da çok iyi dirence sahip olmaktadır. 250°C' de basınçlı suda binlerce

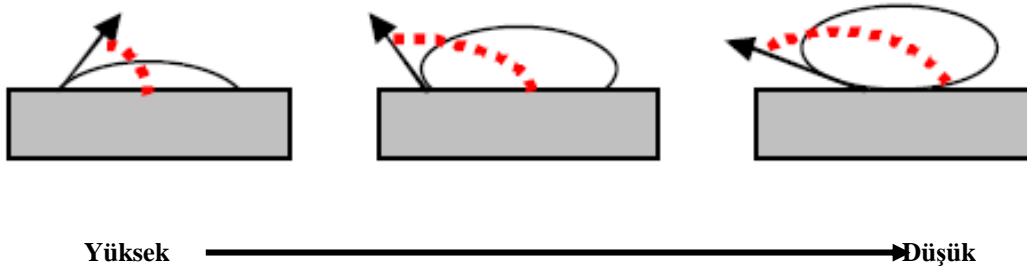
saat bekletilseler bile etkilenmemektedirler. PEEK, UV ışınlarına yeterince dirençli olmamakla beraber; Beta ve X ışınlarına oldukça dirençlidir. Fakat en iyi direnç Gama ışınlarına karşı görülmektedir. Bu özellikleri sebebiyle kolay sterilizasyon uygulanmaktadır. Biyokimyasal maddelerle temasında olumsuzluk ortaya çıkmamaktadır. Bu da PEEK' i medikal uygulamalar içinde güçlü bir aday yapmaktadır.

Yüksek maliyetlere rağmen, yüksek sıcaklıklardaki elverişli mekanik özellikleri sebebiyle PEEK en çok tercih edilen termoplastiklerden biri olmaktadır. Kullanım alanları açısından, otomotiv (piston parçaları, mil yatağı), elektrik mühendisliği (tel izolasyonu, priz), yemek pişirme gereçleri, tıbbi gereçler (protez) ve diğer alanlar(uçak parçaları, filtre, dokuma ürünleri, kaplama malzemesi) olmak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.7. Yüzeylerin Yapışmazlık Özellikleri

Yapışmazlık, ıslatma halinde olan iki yüzeyin birbirileriyle bağlanmama özelliği olarak tanımlanmaktadır. Yapışmaz veya yapışmaya dayanıklı polimerik yüzeylerden en iyi bilineni ticari adıyla Teflon' dur. 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 [18].

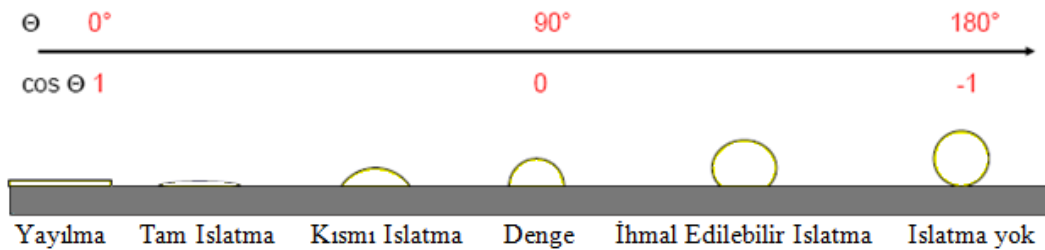
Yapışmazlık kavramını incelerken yüzey enerjisinin ne olduğunu iyi bilmemiz gerekmektedir. Yüzey enerjisi, yüzeye herhangi bir maddenin yapışmasına karşı gösterilen dirençtir. Yapışmazlık, yüzeyin sahip olduğu enerji ile sağlanmaktadır. Yapışmazlığın aksine adezyon ise iki farklı malzemenin ara yüzeylerinin oluşturduğu bağlar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.5' de yüksek enerjili yüzeylerden, düşük enerjili yüzeylere doğru geçişteki bir sıvı damlasının yüzeydeki davranışı gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Yüksek enerjili ve düşük enerjili yüzeylerin karşılaştırılması [18]

Şekil 4.5’ de yüzey ıslatılabilirliği ve yapışmazlık etkilerinin yüzey açısı ile değişimi görülebilmektedir. Islatılabilirlikler kabiliyeti, kontak açısı ölçümü ile tespit edilmektedir. Islatma açısı, sıvının ve katının yüzey enerjisine bağlı olmaktadır. Islatma açısı sıfır olduğu zaman katılar için kritik yüzey enerjisi elde edilmiş olmaktadır. Bu açıda, katı yüzeyin enerjisi sıvı yüzeyin enerjisine eşit olur ve tam ıslatma gerçekleşir. Bir sıvının yüzey enerjisi kritik yüzey enerjisinden düşükse, ıslatma etkin olarak gerçekleşmektedir.

Yüzey enerjisi, polimerlerde moleküller arası kuvvetler tarafından belirlenmektedir. Malzemelerin kaynama ve ergime noktaları gibi diğer özellikleri de benzer kuvvetlerin oluşumunda etkili olmaktadır. Bu nedenle, ergime noktası yüksek malzemelerin (metaller gibi) yüzey enerjilerinin de yüksek olması beklenmektedir. Şekil 4.6’ da aynı sıvının farklı enerjili yüzeylerdeki kontak açılarının değişimi şematik olarak verilmektedir [25].



Şekil 4.6. Farklı enerjili yüzeylerde enerjilerinde aynı sıvının kontak açılarının değişimi [25]

Sıvı 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 4.3' de bazı malzemelerin yüzey enerjileri verilmektedir [18].

Tablo 4.3. Bazı malzemelerin yüzey enerjileri [21]

Malzeme	Yüzey Enerjisi (mJ/m ²)
PTFE	18.5
PE	31
PS	34
PP	29
PMMA	39
PVC	40
Polyester	43
Poliamid	46
Alüminyum	840
Paslanmaz çelik	700-100

Tablo 4.3' den görüldüğü üzere teflonun Al' un ve suyun yüzey enerjileri sırasıyla 18,5 mJ m⁻², 840 mJ m⁻² ve 73 mJ m⁻² dir. En düşük enerjiye sahip yüzeyin politetrafloretillen olduğu söylenebilir bulunmaktadır.

4.7.1. Kontak (Islatma) açısının ölçülmesi

Makroskobik kontak açısı θ , kontak açısı çalışmalarında kolay ölçüm özelliğinden dolayı büyük bir öneme sahip olmaktadır. Prensip, kontak açısı ölçümü için dört metot bulunmaktadır. Bunlar;

- 1- Direkt geometrik ölçüm,
- 2- İnce boru şeklindeki sistemin özelliklerinin ölçümlerinden hesaplayarak,
- 3- Yüzey gerilimi ile kuvvet dengesini karşılaştırmasını kullanarak ölçüm,
- 4- Moleküller arası kuvvetlerden hesaplamadır.

İlk üç metot makroskobik açı tespitini, dördüncü metot ise mikroskobik açı ölçümünü kapsamaktadır. Histerisiz problemleri ilk üç metotla ilgilidir ve yüzeyinin aynı parçasını üzerinde ileri ve geri gitme açılarının birkaç kez ölçülmesini gerektirmektedir. Bir de, ıslatmadan veya yayılmadan önce ve sonra yayılan sıvının

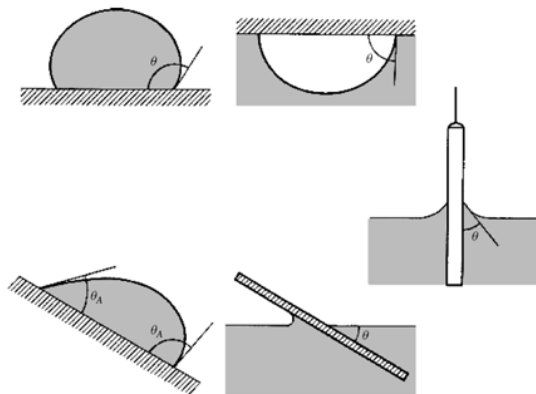
yüzey gerilimi ölçülmelidir. Böylece katıyla sıvının etkileşimi sonucu bir kirlilik oluşup oluşmadığından emin olunabilmektedir.

4.7.1.1. Direkt geometrik ölçüm

Direkt ölçümde, üçlü faz sistemindeki üç yüzeyin resimleri çekilmektedir. Çok sık, katı yüzeyindeki sıvı-akışkan ara yüzeyinin yansıyan bir resmi gösterilmektedir ve ölçülen açı sıvı-sıvı yüzeyi arasında olduğu için katı yüzeyindeki düzlemin tespitini gereksiz kılmaktadır. Başlıca problem, eğri yüzeyinde üretilmiş girişim çizgisi olan üçlü faz bağındaki eğri yüzey (meniscus) tatmin edici bir şekilde çözülmüştür. Bu problem özellikle kontak açısı küçük olduğunda ($< 25^\circ$) zordur. Kontrollü girişim metotları ve Moire çizgisi yüksek duyarlılık elde etmek için kullanılabilir. Lahooti ve arkadaşları damla büyüklüğünün kontak açısı ölçümü üzerindeki etkisini ve zamana bağımlılığını tartışmışlardır.

4.7.1.2. Kapiler şekilli metotlar

Yüksek hızda bilgisayarla hesaplama ve veri işlemenin varlığı, kapiler şeklin geometrik ölçümünden direkt olmayan metotların gelişimine yol açmıştır. Ayrıca, bu metotların bazıları kapiler sabitin veya onu hazır hale getiren özelliklerin bilinmesini gerektirmektedir. Şekil 4.7' de kontak açısı ölçüm metotları verilmektedir.



Şekil 4.7. Kontak açısı ölçüm metotları [32]

Bu metoda iyi bilinen bir örnek ise; yerleşmiş damlanın yüksekliğinin ve yarıçapının ölçümü ve kapiler sabitin bilinmesiyle Bashfort ve Adam tabloları kullanılarak kontak açısı tahmin edilmektedir [32].

4.7.1.3. Güç Denge Metodu

Wilhelmy kuvvet dengesi metoduyla bir sıvının yüzey geriliminin ölçümü geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı sistem, ıslatılacak sıvıdan yapılmış benzer bir plakayla Wilhelmy plakasının ($\theta = 0^\circ$) direkt olarak değişimiyle ıslatma enerjisi ölçümü için kullanılabilir. Üçlü faz çizgisi boyunca plakanın çevresi L ve kuvvet F olur, buradan ;

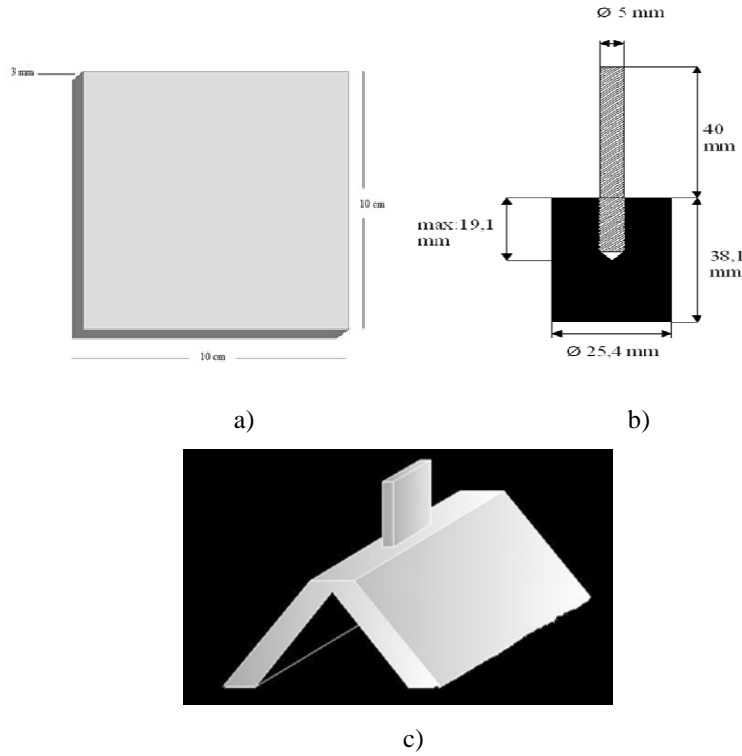
$$F = \gamma_{23} L \cos \theta \quad (4.1)$$

Deneysel olarak, yüzey gerilimi ilk kez temiz bir platin plaka kullanılarak ölçülmüştür. Daha sonra, sınırlı kontak açılı deneysel yüzey için F tayin edilmektedir ve son olarak ise yüzey gerilimi bir kez daha belirlenmektedir. Eğer değerlerin tamamlanması gerekirse, plakanın serbest yüzeyi sıvınıninkinden daha az olduğu için kabarmayı gidermek maksadıyla batmazlık yapılmalıdır [32].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Altlık Malzemelerinin Üretimi

Altlık malzemesi olarak PU koltuk süngerini üretiminde kullanılan kalıp malzemesi ile aynı özelliklere sahip Etial 150 Al-Si alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan Etial 150 Al-Si alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 5.1’ de görülmektedir. Yapılması planlanan deneysel çalışmalar doğrultusunda üç farklı boyut ve şekilde altlık malzemesi hazırlanmıştır. Mikroyapı incelemeleri, kontak açısı ve cross-cut testi için 10x10 cm levhasal, adezyon testi için, 25.4 mm çapındaki silindirik numuneler, PU süngerin çekme deneyi ile yapışma özellikleri tespiti için üçgen kalıp numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin teknik çizimleri Şekil 5.1’ de verilmektedir.



Şekil 5.1. Hazırlanan numunelerin teknik çizimleri a) Levhasal b) Silindirik c) Üçgen Kalıp

Tablo 5.1. Kullanılan Etial 150 Al-Si alaşımının kimyasal bileşimi

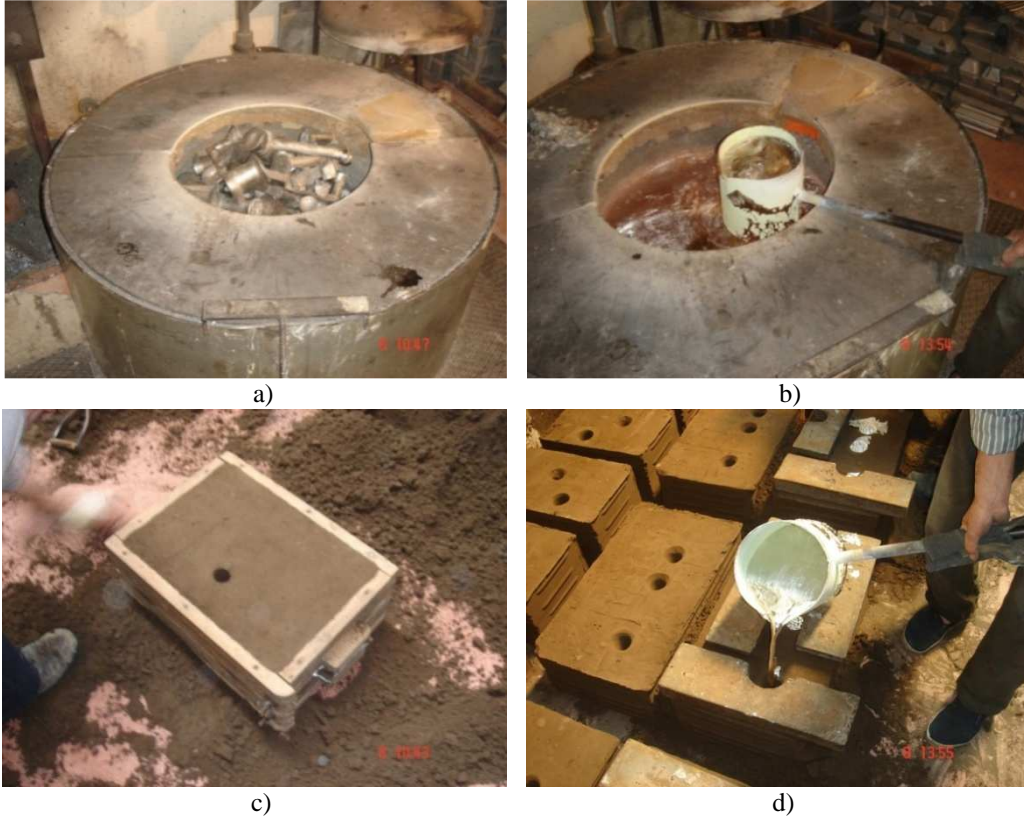
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb
Bileşim (%)	11.663	0.73	2.25	0.0795	0.0578	0.65	0.0357	0.0173	0.0453
Element	Ti	Ag	B	Be	Bi	Ca	Cd	Na	Sr
Bileşim (%)	0.0290	0.0014	0.0014	0.0001	0.0035	0.0008	<0.0003	<0.00	0.0002
Element	Li	Zr	Co	V	Ga	Al			
Bileşim (%)	0.0002	0.0033	<0.0011	0.0066	0.0109	<84.40			

PU sünger üretiminde kullanılan Al kalıplar döküm yolu ile üretilmektedir. Kaplama uygulanacak altlık malzemelerinin, kullanılan kalıplar ile yakın özelliklere sahip olması için aynı yöntem ve üretim şartları seçilmiştir. Öncelikle dökümü yapılacak kalıp ve levha parçalarının modelleri hazırlanmıştır. Şekil 5.2' de döküm için kullanılan modeller verilmektedir.



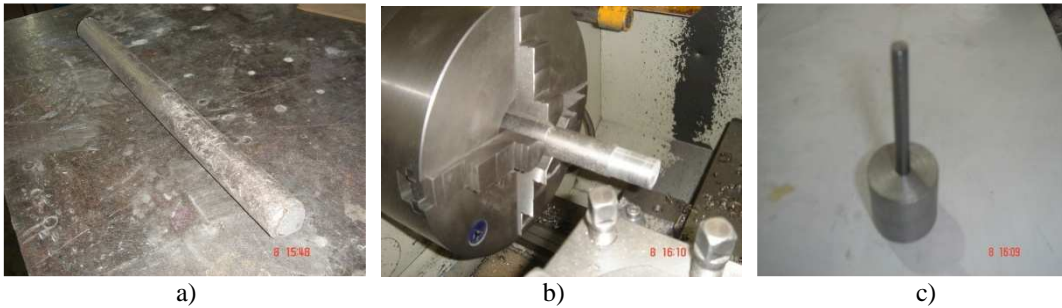
Şekil 5.2. Dökümü yapılacak altlık malzemelerinin ahşap modelleri a) kalıp numunelerin döküm modeli b) levhasal parçaların döküm modeli

Modeller hazırlandıktan sonra döküm işleminde geçilmiştir. Ocakta eritilen Al külçeler kum kalıba dökülmüştür. Şekil 5.3' de kullanılan altlık malzemelerinin dökümü gösterilmektedir.



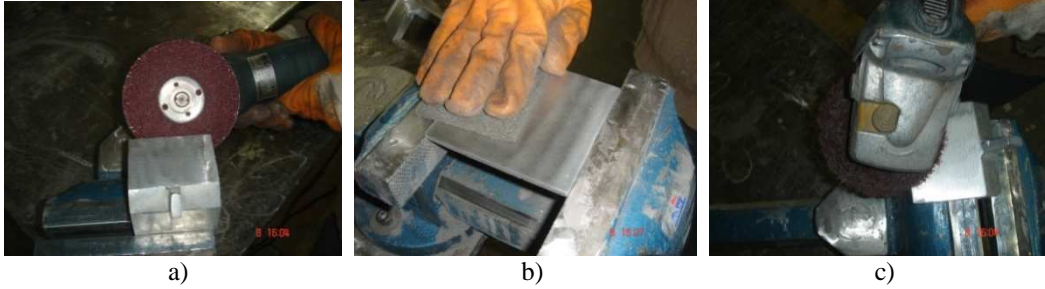
Şekil 5.3. Altlık malzemelerinin üretimi a) Al külçeler ve ergitme fırını b) erimiş Al'un alınması c) kum kalıpların hazırlanması d) döküm işlemi

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. Şekil 5.4' te bu talaş kaldırma işlemi ve silindirik numunenin son hali verilmektedir.



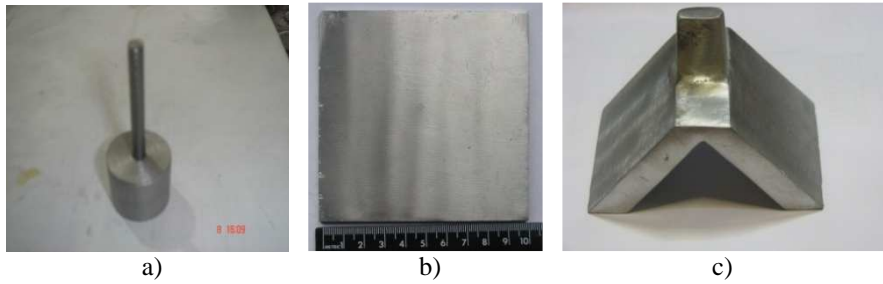
Şekil 5.4. Talaş kaldırma işlemi ve silindirik numunenin son hali a) döküm sonrası Al profil b) talaş kaldırma işlemi c) silindirik numune

Altlık malzemelerinin dökümleri tamamlandıktan sonra en son olarak çapak alma işlemi yapılarak altlıkların üretimi tamamlanmıştır. Şekil 5.5’ te döküm sonrası çapak alma işlemi verilmektedir.



Şekil 5.5. Döküm sonrası çapak alma işlemi a) taşlama b) zımparalama c) tel fırçalama

Çapak alma işleminin bitmesi ile altlık malzemelerinin üretimi tamamlanmıştır. Şekil 5.6’ da altlık malzemelerinin son halleri verilmektedir.



Şekil 5.6. Altlık malzemeleri son halleri a) silindirik b) levhasal c) üçgen kalıp

5.2. Kaplama İşlemi

5.2.1. Altlıkların 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 artırmak 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.

Yağların ortamdaki uzaklaştırılabilmesi için kimyasal çözücüler kullanılmalı veya ısıtma işlemi ile yüzeydeki yağlar yakılmaktadır. Hazırlanan altlık numuneleri 400-420 °C'de, 15 dk. yakılarak yağ giderme işlemine tabi tutulmuşlardır. Şekil 5.7' de yakma işlemi ve kullanılan fırın gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Yakma işlemi ve kullanılan fırın a) numuneler b) fırın

Kaplama uygulanacak yüzeye yağ giderme işleminden sonra uygulanacak ikinci işlem kumlama (aşındırıcı yardımıyla yüzey pürüzlendirme) dır. Aşındırıcı malzeme olarak Si kumu toz halinde kullanılarak kumlama yapılmıştır. Maksimum yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için kumlama esnasında tabanca, numune yüzeyine 90° lik bir açı ile tutulmuş ve tüm numunelere 7.5 MPa 'lık kumlama basıncı uygulanmıştır.

5.2.2. Kaplama işlemi ve parametreler

Deneylerde kaplama malzemesi olarak, 10 farklı kaplama malzemesi kullanılmıştır. Bunlar 3 çeşit PTFE, 3 çeşit PFA, 2 çeşit FEP, 1 çeşit ETFE ve son olarak 1 çeşit de PTFE katkılı PEEK' dur. Kaplamalar birbirleri içerisinde astarlı veya astarsız, toz halinde veya solvent olarak, tek katlı veya çok katlı olmak üzere ayrılmaktadırlar. Toz halinde olanlar elektrostatik biriktirme yöntemi ile solvent halinde olanlar ise direk sıvı püskürtme yöntemi ile üretilmişlerdir. Her iki yöntemden sonra kaplamalar farklı sıcaklıklarda bir pişirme işlemine tabi tutulmuşlardır.

Astarlı kaplamalar öncelikle bir astarlama işleminden geçip daha sonra 20 dk. 120 °C'de elektrikli fırında kurutularak kendi kaplamaları uygulanmıştır. Kullanılan astar malzemelerinin hepsi solvent halindedir ve sprey yöntemi ile uygulanmışlardır.

PFA(1) ve PFA(3) kaplamaları için aynı astar malzemesi kullanılmıştır. Tablo 5.2’ de kullanılan kaplama çeşitleri verilmektedir.

Tablo 5.2. Kullanılan kaplama çeşitleri

Kaplama	Astar	Kaplama	Tek Kath	Çok Kath
PTFE (1)	Greblon basecoat	Greblon topcoat	-	Astar + Kaplama
PTFE (2)	Greblon basecoat	Greblon non-stick	-	Astar + Kaplama
PTFE (3)	-	Greblon non-stick	Kaplama	-
PFA (1)	Teflon primer	Teflon Powder	-	Astar + Kaplama
PFA (2)	Xylan 4018	Dykor Powder	-	Astar + Kaplama
PFA (3)	Teflon primer	Teflon Powder	-	Astar + Kaplama
FEP (1)	Xylan 4289	Xylan 1756	-	Astar + Kap. + Kaplama
FEP (2)	-	Xylan 8840	Kaplama	-
ETFE	Dupont primer	Dupont topcoat	-	Astar + Kaplama
PEEK/PTFE	-	Victrex F814	Kaplama	-

Sprey ile kaplama işleminde basınç 1.5 bar, tabanca mesafesi 30 cm ve nozzle çapı 1.6 mm’ dir. Sprey ile kaplanan numunelerin hepsi havada soğutulmuşlardır. Tablo 5.3’ de sprey yönteminde kullanılan kaplamaların kurutma ve kürlenme sıcaklıkları verilmektedir.

Tablo 5.3. Sprey yönteminde kullanılan kaplamaların kurutma ve kürlenme sıcaklıkları

Kaplama	Astar	Orta Kat	Son Kat
	Kurutma süresi (dk) ve sıcaklığı (°C)	Kürleme süresi (dk) ve sıcaklığı (°C)	Kürleme süresi (dk.) ve sıcaklığı (°C)
PTFE (1)	5/120	YOK	10/400
PTFE (2)	10/100	YOK	10/420
PTFE (3)	YOK	YOK	10/400
FEP(1)	5/120	10/375	10/400
FEP (2)	YOK	YOK	10/400
PEEK/PTFE	YOK	YOK	10/400

Şekil 5.8’ de sprey ile kaplama işleminde kullanılan sıvı püskürtme tabancası ve kaplama işlemi verilmektedir.



Şekil 5.8. Sprey ile kaplama işlemi a) kullanılan tabanca b) kaplama işlemi

Elektrostatik toz kaplama solvent içermeyen bir yüzey kaplama metodudur. Kaplayıcı malzeme, kaplama tabakasını oluşturan çok ince toz partikülleridir. Toz kaplama malzemesi, kaplama kabinde özel kaplama tabancaları vasıtasıyla atılır. Tabancadan geçerken elektrostatik yüklenen toz partikülleri kabin içinde kaplanacak malzemeye yapışır ve kaplama işlemi gerçekleşmiş olur. Tablo 5.4’ de Elektrostatik yöntem de kullanılan tozların kürleme sıcaklıkları ve parametreler verilmektedir.

Tablo 5.4. Elektrostatik yöntem de kullanılan tozların kürleme sıcaklıkları ve parametreler

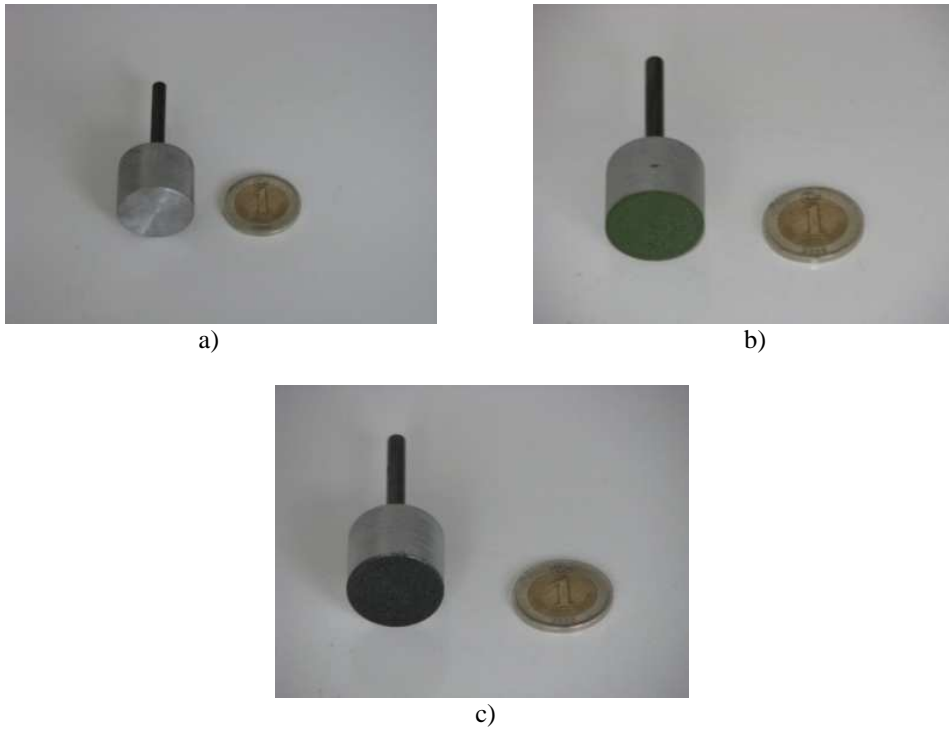
Kaplama	Astar	Son Kat	Uygulama voltajı (kV)	Akım şiddeti (µA)	Partikül yoğunluğu (%)	Hava basıncı (Nm ³ /h)
	Kurutma Süresi (dk) ve Sıcaklığı (°C)	Kürleme Süresi (dk) ve Sıcaklığı (°C)				
PFA(1)	5/160	10/400	100	10	40	2,3
PFA(2)	5/120	10/400	100	10	40	2,3
PFA(3)	5/160	10/400	100	10	40	2,3
ETFE	5/80	10/340	100	10	40	2,3

Şekil 5.9’ da elektrostatik kaplama işleminde kullanılan tabanca ve kaplama işlemi gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Elektrostatik kaplama işlemi a) kullanılan tabanca b) kaplama işlemi

Şekil 5.10' da kaplama yapılan silindirik numuneler verilemektedir.

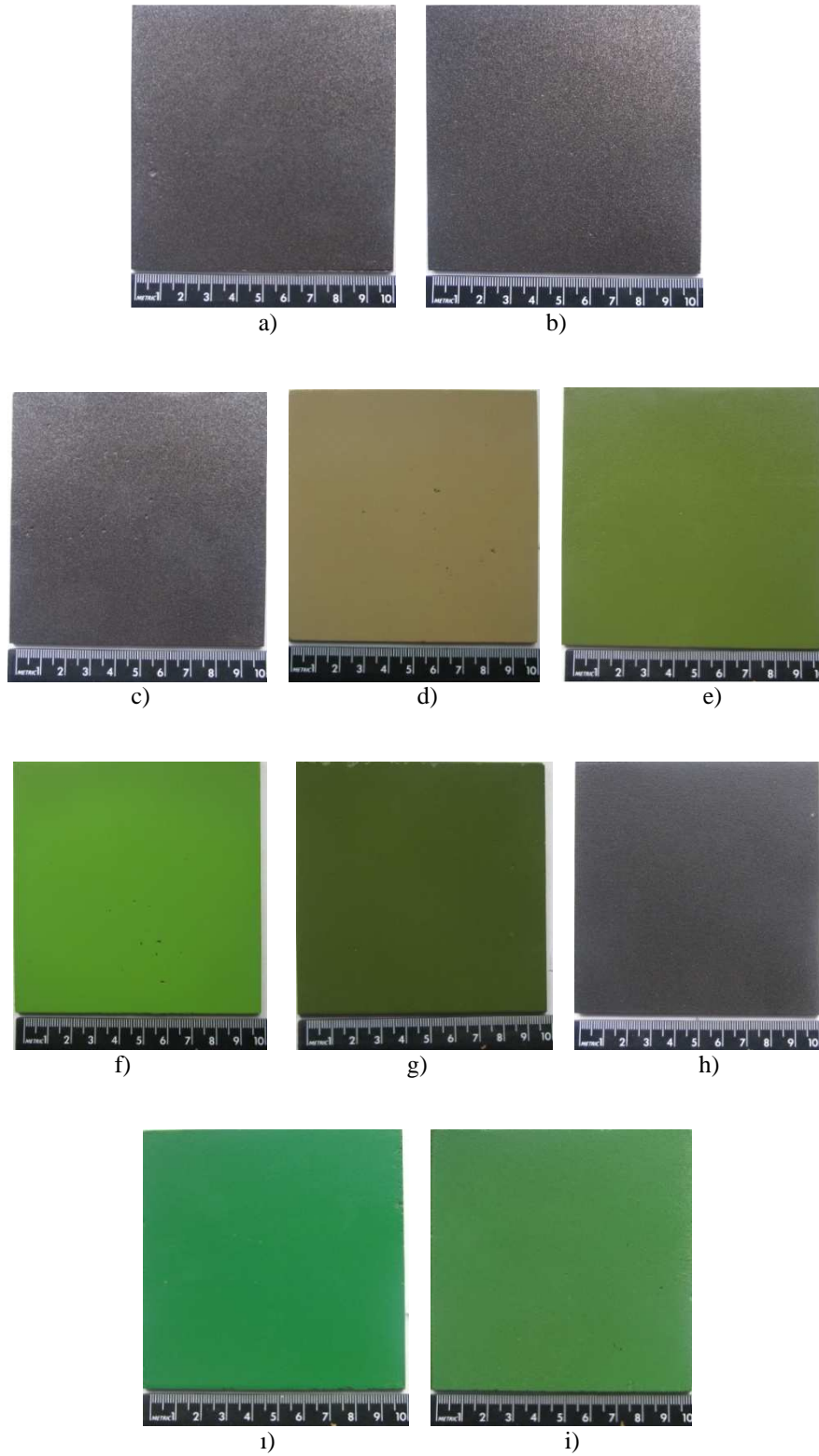


Şekil 5.10. Kaplama yapılan silindirik numuneler a) Kaplanmamış b) FEP (1) c) ETFE

Şekil 5.11' de işlem görmemiş, kumlanmış ve kaplama öncesi astarlı levhasal numuneler verilmektedir. Şekil 5.12' de kaplama işlemi uygulanmış levhasal numuneler görülmektedir.

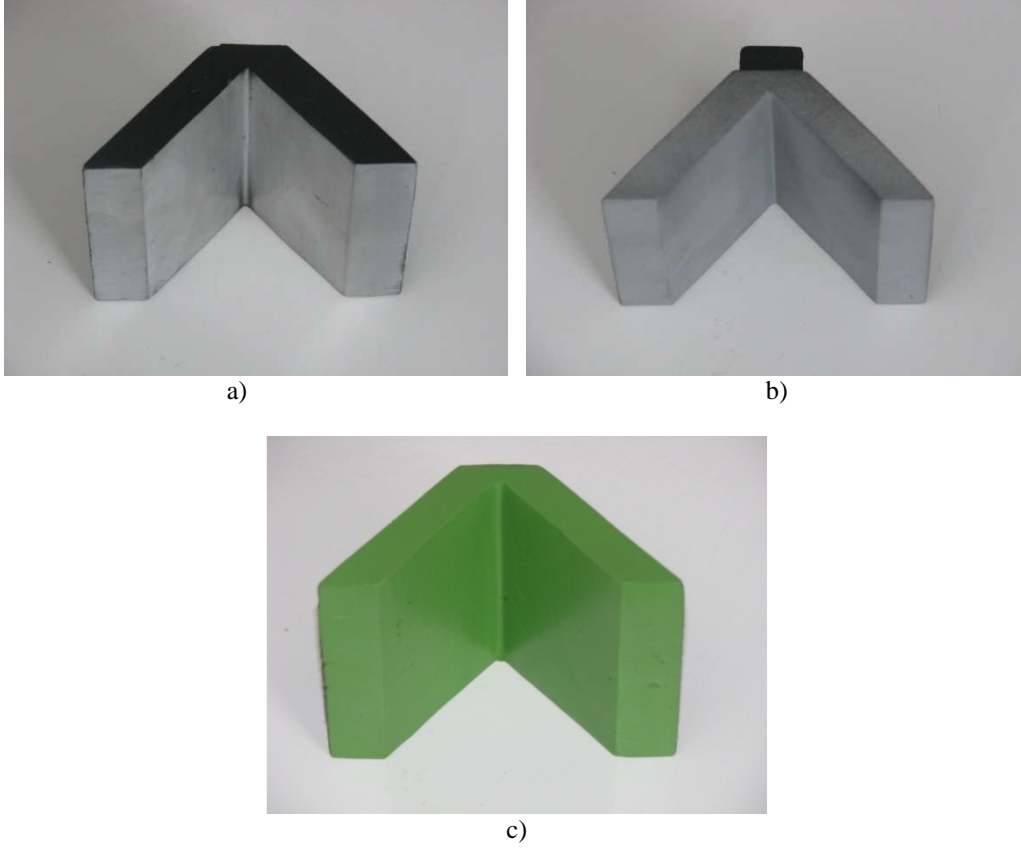


Şekil 5.11. Kaplama öncesi astarlı numuneler a) İşlem görmemiş b) kumlanmış c) PFA (1) PFA (3) astar d) FEP (1) astar e) PFA (2) astar f) PTFE (2) astar g) ETFE astar

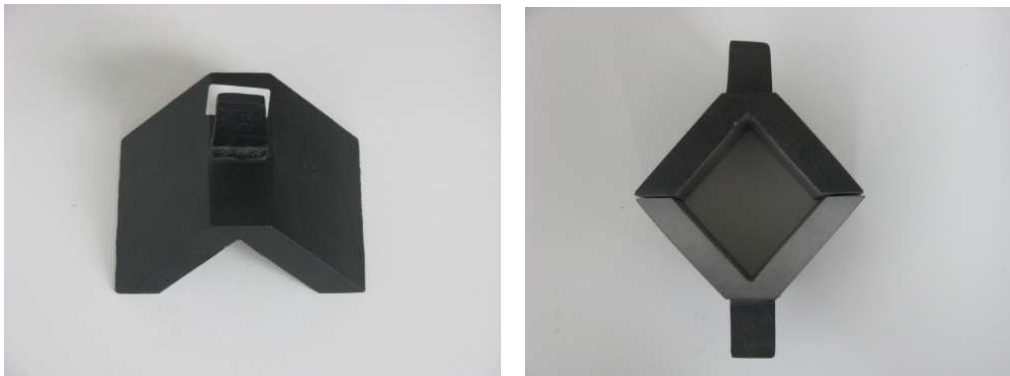


Şekil 5.12. Kaplama yapılan levhalar a) PTFE(1) b) PTFE(2) c) PTFE(3) d) PEEK/PTFE e) PFA (1) f) PFA (2) g) PFA (3) h) ETFE i) FEP (2) j) FEP (1)

Şekil 5.13' de kumlanmış, sade ve kaplama yapılan kalıp numuneleri ve Şekil 5.14' de üçgenel numunenin üstten görünüşü ve PU dökümü yapılacak kalıp verilmektedir.



Şekil 5.13. Kalıp numuneleri a) kumlanmış b) sade c) PFA (2) kaplama uygulanmış



Şekil 5.14. Kalıp numunenin üstten görünüşü ve PU dökümü yapılacak kalıp

Kalıp numunelerinin dış kısımları PU sünger dökümü sırasında yapışma olmaması ve kalıptan kolay çıkması için PTFE ile kaplanmışlardır.

5.3. Kaplamaların Karakterizasyonu

Üretilen kaplamaların karakterizasyon çalışmaları çerçevesinde;

1. Metalografik numune hazırlama işlemi
2. Kaplama kalınlığı ölçümü,
3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü,
4. Mikrosertlik deneyi,
5. Stereo mikroskop incelemeleri,
6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM),
7. AFM incelemeleri
8. Kontak açısı tespiti (orijinal kaplamalar ve izosiyanürat ile işlem görmüş kaplamalar)
9. Adezyon testi
10. Çekme deneyi ile yapışmazlık

5.3.1. Kalınlık ölçümü

Kalınlık ölçmek için Deflesko positector 6000 FNS model cihaz kullanılmıştır. Üretilen numunelerin 10 farklı bölgesinden kaplama kalınlığı ölçümü yapılmıştır ve daha sonra bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 5.15' de kullanılan kalınlık ölçüm cihazı verilmektedir.



Şekil 5.15. Kullanılan kalınlık ölçüm cihazı

5.3.2. Yüzey pürüzlülüğü

Kaplama öncesi orijinal döküm, kumlanmış ve astarlanmış yüzeylerin ve kaplama sonrası polimerik yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra), TR 200 TIME marka cihaz kullanılarak μm cinsinden ölçülmüştür. Şekil 5.16' da kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı verilmektedir.



Şekil 5.16. Kullanılan pürüzlülük ölçüm cihazı

5.3.3. Mikrosertlik ölçümü

Kaplamaların sertlikleri parlatılmış yüzeyde kaplama kesiti üzerinde bir FUTURE-TECH FM-700 marka cihazla mikro sertlik ölçme yöntemi kullanılarak 15 saniye süre ile belirlenmiş, sertlik ölçümü için 1 gr yük uygulanmıştır. Sertlik izleri ve çatlak boyları aynı cihaza bağlı kalınlık ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Sertlik ölçüm değerleri, yüzeyden itibaren yaklaşık $30 \mu\text{m}$ aralıklarla ve her kaplamadan 3'er sıra halinde ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 5.17' de kullanılan sertlik ölçüm cihazı verilmektedir.



Şekil 5.17. Kullanılan sertlik ölçüm cihazı

5.3.4. Metalografik numune hazırlama

Yarı otomatik bir patlatma cihazı ile 180-4000 arasındaki boyutlarda SiC zımparalar kullanılarak zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra parlatma kademesinde, parlaticı olarak 1 mikron tane boyutunda alümina kullanılmıştır.

5.3.5. Stereo mikroskop incelemeleri

Hazırlanan numunelerin metalografik incelemesi, Leica MZ 75 marka bir stereo mikroskop yardımıyla gerçekleştirilmiş ve metalografik inceleme ile kaplamanın yapısı, kaplama kalınlığı, kaplamanın porozitesi hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Şekil 5.18' de kullanılan stereo mikroskop verilmektedir.



Şekil 5.18. Kullanılan stereo mikroskop

5.3.6. SEM incelemeleri

Üretilen kaplamalar parlatılmış ve yüzey görüntüleri JEOL JSM-6060LV marka taramalı bir elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Şekil 5.19' da kullanılan SEM cihazı verilmektedir.



Şekil 5.19. Kullanılan SEM cihazı

5.3.7. AFM ölçümleri

Atomik kuvvet mikroskobu, hassas nano boyutlu bir C-C iğnenin yüzeyi taramasıyla, yüzeyin yüksek çözünürlüklü üç boyutlu görüntü vermektedir. Analiz ile üç boyutlu yüzey görüntüsü elde edilmiş ve kaplamanın yüzey topografyası görüntülenmiştir. Ölçümlerde non-contact cantilever kullanılmıştır. Şekil 5.20' de kullanılan AFM cihazı verilmektedir.



Şekil 5.20. Kullanılan AFM cihazı

5.3.8. Kontak açısı tespiti

5.3.8.1. İşlem görmeyen kaplanmış yüzeyin kontak açısı tespiti

Kontak açısı ölçümleri Krüss DSA 100 marka cihazda 5µl saf su kullanılarak kaplamaların 10 farklı bölgesinden ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Numune olarak 1.5 x 1.5 mm boyutunda numuneler kullanılmıştır. Şekil 5.21' de kontak açısı ölçümü yapılan cihaz gösterilmektedir.



Şekil. 5.21. Kontak açısı ölçümü yapılan cihaz

5.3.8.2. İzosiyonat ile işlem görmüş kaplamaların kontak açısı tespiti

Kaplamalar 360 saat (15 gün) izosiyonat içinde bekletilmiştir. Daha sonra tekrar kontak açısı ölçümü uygulanmış ve açıda değişimin gözlemlenmesi ile yüzey özelliklerindeki değişim belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 5.22' de izosiyonat içine daldırılan kaplama numuneleri ve temizleme işlemi verilmektedir.



Şekil 5.22. İzosiyonat testi a) izosiyonat içindeki kaplama b) temizleme işlemi

Üretilen kaplamaların tümü poliüretan sünger üretim kalıplarında kullanıldıklarından poliüretanın temel hammaddeleri olan izosiyanat ve poliöl ile direk temas halindedirler. Üretilen kaplamalar, ürün ve ürünü oluşturan tüm malzemeler polimer grubunda olduğundan bunların birbirleri ile etkileşiminin incelenmesi gerekmektedir. Poliölün korozif bir malzeme olmadığı ama izosiyanatın korozif bir kimyasal hammadde olması sebebi ile kaplamaların bozulabileceği düşünülmüştür. Bundan dolayı izosiyanat korozif çözücü olarak tümüne uygulanmış ve açıda değişimleri incelenmiştir. İzosiyonat çok zehirli bir kimyasaldır. Bu tür bir kimyasalla çalışmak çok dikkat gerektirmektedir. İzosiyonat ile ilgili deneysel çalışmalarda özel koruyucu ekipman, teçhizat ve cihazlar kullanılmıştır. Şekil 5.22 b'de verilen temizleme işleminde, izosiyonattan çıkarılan numuneler öncelikle saf su içinde bekletilip daha sonra aseton ile temizlenmiş ve açı ölçümüne geçilmiştir.

5.3.9. Kaplama adezyonu ve ölçümü

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 ölçümler yapılmaktadır.

5.3.9.1. Kaplamanın altlığa yapışma mukavemetinin ölçümü

Kaplama yapışma mukavemeti ölçümü testlerinden biri çekme testidir. Bu test normal çekme testinde yapılmaktadır. Kaplanmış numune üzerine yapıştırıcı sürülmüş sıkıştırılmıştır. Test için üç farklı yapıştırıcı kullanılmıştır ve iki yapıştırıcı ile değer alınabilmektedir. Bu yapıştırıcılar, LOCTITE 406- LOCTITE 770 primer, LOCTITE 3430 epoksi, LOCTITE 317- LOCTITE 734' dür. Daha sonra numuneler çekme cihazına konularak çekme yükü uygulanmıştır. Deney sonucunda yapıştırıcı koparsa adezyon kuvveti yüksek demektir ve koptuğu yük değeri kritik değer alınarak servis şartlarına sokulur. Kopan taraf kaplamada ise kaplama yapışma mukavemetinin düşük olduğunu ve kopmanın meydana geldiği yük altında kullanılması gerektiğini gösterir.

Kaplama/altlık yapışma mukavemeti ölçümü ASTM C633 çekme testlerine göre yapılmıştır. Bunun için kaplama standartta belirtilen 25,4 mm çapa sahip silindir parçaya uygulanmıştır. Bu nicel test, kaplamanın ayrılması için gerekli gücü ölçmektedir. Şekil 5.23' de ASTM C 633 yapışma testi verilmektedir [33].



Şekil 5.23. ASTM C633 yapışma mukavemeti a) şematik çizimi b) test sırasındaki görünümü

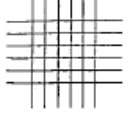


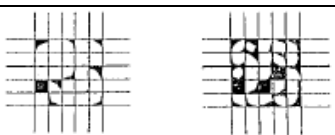
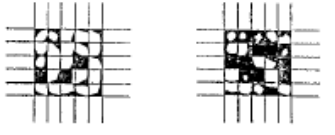
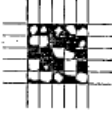
Teflon yapışmaya direnç gösteren malzeme olduğundan adezyon ölçümlerinde teflon yüzeye yapışan yapıştırıcı bulmada sıkıntı yaşanmıştır. Yurtdışı ve yurt içindeki yapıştırıcı satan büyük şirketlerle görüşülmüş ve teflon yüzey ıslatma açısını düşüren bir yüzey modifiye edici kimyasal ile güçlü yapıştırıcılara ulaşılmıştır. Adezyon ölçümleri testleri, her bir tür kaplamadan sadece birer adet numuneye uygulanmıştır.

Yani PTFE, PFA, ETFE, FEP ve PEEK/PTFE olmak üzere 5 adet kaplama üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Adezyon ölçümlerinde kaplanmış yüzeyler üzerinde farklı yapıda birkaç çeşit yapıştırıcı kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

5.3.9.2. Cross- cut adezyon testi

Deney ASTM D 3359 göre yapılmıştır. Test için özel metalden yapılmış ucunda 1 mm aralıklı 6 bıçak yuvası olan Adezyon Ölçme Cihazı (Cross-Cut Tester), özel nitelikli 1.5 cm eninde saydam yapışkan band ve yumuşak fırça kullanılmıştır. Tablo 5.5' de ASTM D 3359 değerlendirme tablosu verilmektedir [34].

Tablo 5.5. Yüzeze yapışma (adezyon) değerlendirme tablosu [34]

Adezyon testi sonuçlarının sınıflandırılması		
Sınıflama	Yüzde çıkan alan	Test sonrası çizik yüzeyin görünümü
5B	%0	
4B	%5	
3B	%5-15	
2B	%15-35	
1B	%35-65	
0B	%65-100	

Cross-Cut cihazı film yüzeyine elle bastırılarak, 1 mm genişliğinde yaklaşık 6-8 cm boyunda 6 adet düz çizgi verecek şekilde, çapraz işlemle küçük karelere kesilmiştir.

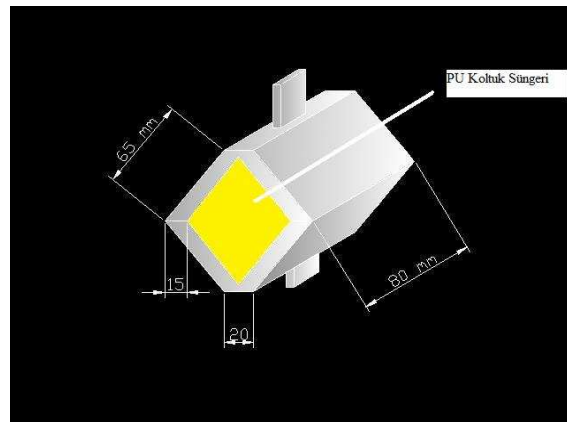
Kesme sonucu oluşan fazlalıklar yumuşak fırçayla temizlenmiştir. Oluşan kare kafesi tam kaplayacak şekilde, yapışkan bant iyice yapıştırılmış ve bant hızlıca çekilerek hasarlı bölgelerin yüzeyden uzaklaşması sağlanmıştır.

Değerlendirme sonrasında Tablo 5.5' e uygun olarak çizik yüzeyin görünümüne göre sınıflama yapılmıştır. Örnek olarak kaplama yüzeyinde %65-100 arasında bir kalkma ya da kopma gözlenmiş ise bu standart gereği kaplama 0B değerini alırken, eğer kaplama yüzeyinde % 0 hata gözlenmekte ise en iyi değer olan 5B değerinin almaktadır.

5.3.10. Kaplama ile PU köpük arasındaki yapışmanın belirlenmesi

Bu test metodu, belirlenen sıcaklık, nem ve deney makinesi hızı altında test numunesi hücreli malzemelerin adezyon özelliklerini belirlemeyi kapsamaktadır. Kaplama ile PU köpük arasındaki yapışmanın belirlenmesi için üretilen kalıp numuneler bu test için kullanılmıştır.

İç yüzeylerine kaplama uygulanan iki üçgen parça bir araya getirilerek bir kalıp oluşturulmuş ve içerisine PU köpük dökümü yapılmıştır. Daha sonra çekme işlemi uygulanarak PU köpüğün kaplamaya yapışma kuvveti ölçülmeye çalışılmıştır. Şekil 5.24' de bu test için kullanılan kalıp verilmektedir. Şekil 5.25' de üçgen kalıp numunesine PU sünger dökümü işlemi aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 5.24. Test için kullanılan kalıbın CAD tasarımı

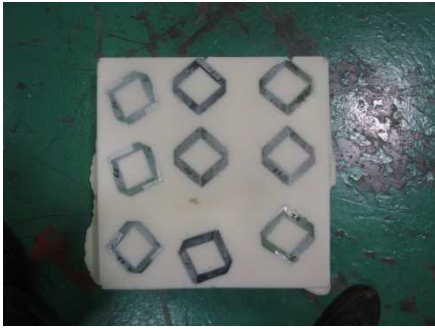
Şekil 5.25' de kalıp numunesine PU sünger dökümü işlemi gösterilmektedir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 5.25. Kalıp numunesine PU sünger dökümü işlemi a) Numunelerin kalıba dizilmesi b) PU süngerin dökümü ve kürlenmesi c) kalıptan alınmış numuneler d) kesilerek ayrılmış test numunesi

Şekil 5.25 a)' dan görüldüğü üzere kalıp numunelerinin PU dökümü sırasında açılmadan kalmalarını sağlamak için öncelikle numuneler Al bant ile sarılmıştır. Bantlana sonrası bütün numunelerin içerisi sünger dolacak şekilde döküm yapılacak kalıp içerisine dizilmişlerdir (Şekil 5.25 b) ve daha sonra döküm işlemine geçilmiştir (Şekil 5.25 c ve d). Tek bir sünger içerisinde yer alan numuneler daha sonra falçata yardımı ile temizlenerek çekme testine hazır hale getirilmişlerdir.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

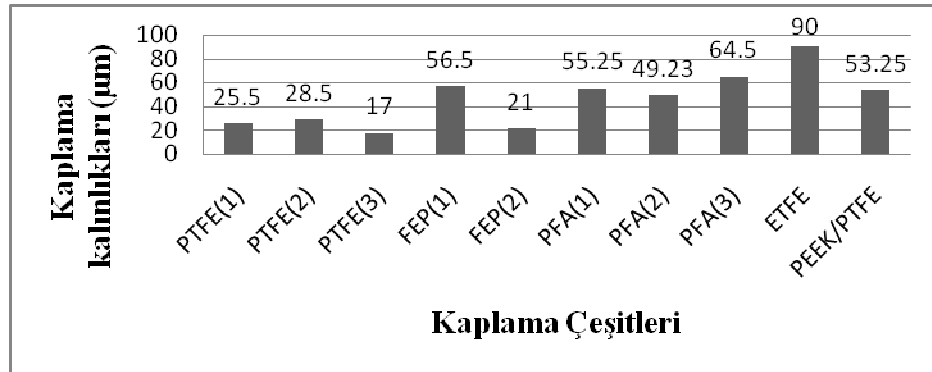
6.1. Kaplamaların Karakterizasyonu

6.1.1. Kalınlık Ölçümü

Tablo 6.1’de kaplamaların 10 ölçüm sonucu ortalama kalınlıkları, Şekil 6.1’ de kaplama kalınlığı değerleri sütun grafik halinde verilmektedir.

Tablo 6.1. Kaplamaların ortalama kalınlıkları

Kaplama Çeşiti	Ortalama Kalınlık (µm)	Kaplama Çeşiti	Ortalama Kalınlık (µm)
PTFE (1)	25.50	PFA (1)	55.25
PTFE (2)	28.50	PFA (2)	49.23
PTFE (3)	17.00	PFA (3)	64.50
FEP (1)	56.50	ETFE	90.00
FEP(2)	21.00	PEEK/PTFE	53.25



Şekil 6.1. Kaplama kalınlığı değerleri sütun grafiği

Yapılan kaplama kalınlığı ölçümleri ile en kalın kaplamanın, astar ve kaplamadan oluşan ETFE’ ye ait olduğu görülmektedir. En ince kaplama ise astarsız tek kat kaplama olan PTFE(3)’ dür. FEP(1), PFA(2) ve PEEK/PTFE kaplamalarının kalınlıkları birbirlerine yakın değerler vermektedir.

Yan Chen ve arkadaşları da ürettikleri çok katlı PTFE kaplamaların kalınlık ölçümlerin de 70 μm değerini elde etmişlerdir [35]. Leivo ve arkadaşları ürettikleri farklı teflon kaplamalarda 100 μm ve üzerinde kaplama kalınlıkları elde etmişlerdir. Burada kaplama kalınlığının fazla olmasının nedeni olarak kullandıkları termal spreyci yöntemi gösterilebilir. Bu yöntemde kaplama birikerek oluşmakta ve daha kalın bir yapı meydana gelmektedir [36].

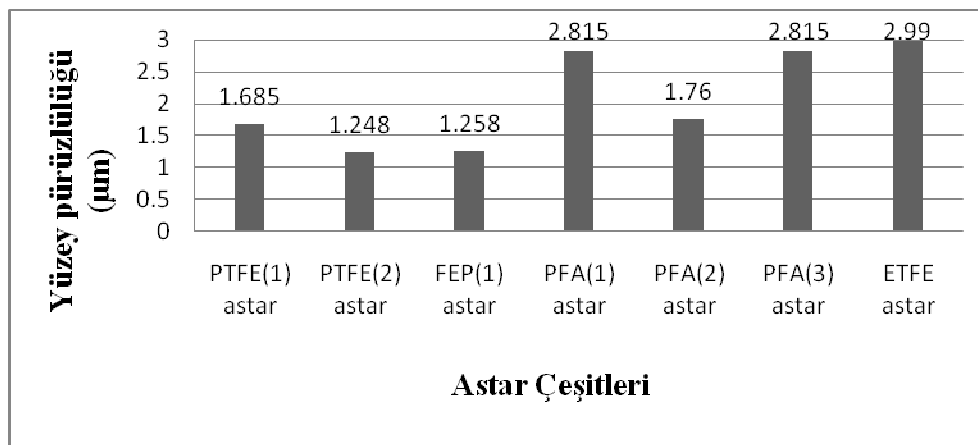
6.1.2. Yüzey pürüzlülüğü

Tablo 6.2’ de astar ve kaplamaların yüzey pürüzlülükleri R_a değerleri verilmektedir.

Tablo 6.2. Astar ve kaplamaların yüzey pürüzlülükleri

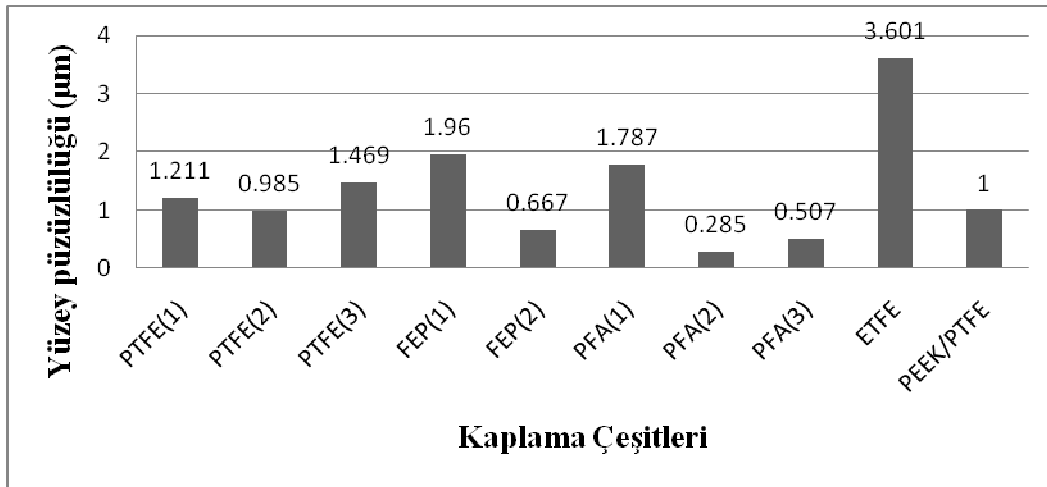
Kaplama	Astar Pürüzlülük (R_a) (μm)	Kaplama Pürüzlülük (R_a) (μm)
PTFE(1)	1.685	1.211
PTFE(2)	1.248	0.985
PTFE(3)	-	1.469
FEP(1)	1.258	1.960
FEP(2)	-	0.667
PFA(1)	2.815	1.787
PFA(2)	1.760	0.285
PFA(3)	2.815	0.507
ETFE	2.990	3.601
PEEK/PTFE	-	1.000

Şekil 6.2’ de astar kaplamaların pürüzlülük değerleri sütun grafik halinde verilmektedir.



Şekil 6.2. Astar kaplamaların pürüzlülük değerleri sütun grafiği

Şekil 6.3' de kaplamaların pürüzlülük değerleri sütun grafik halinde verilmektedir.

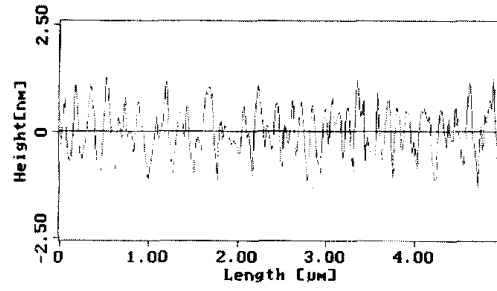


Şekil 6.3. Kaplamaların pürüzlülük değerleri sütun grafiği

Döküm yapılmış sade Al altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğü 0.960 µm olarak ölçülmüştür. Kumlanmış yüzey ise 2.708 µm' dir. Kumlama işlemi sonucu yüzey pürüzlülüğündeki artış görülmektedir. Yapılan pürüzlülük ölçümleri sonucu; PTFE(1) astar, PTFE(2) astar, FEP(1) astar ve PFA(2) astar uygulamaları ile yüzey pürüzlülüklerinde bir azalma gözlenmektedir. PFA(1) astar, PFA(3) astar ve ETFE astarlarda ise yüzey pürüzlülüklerinde bir artış belirlenmiştir.

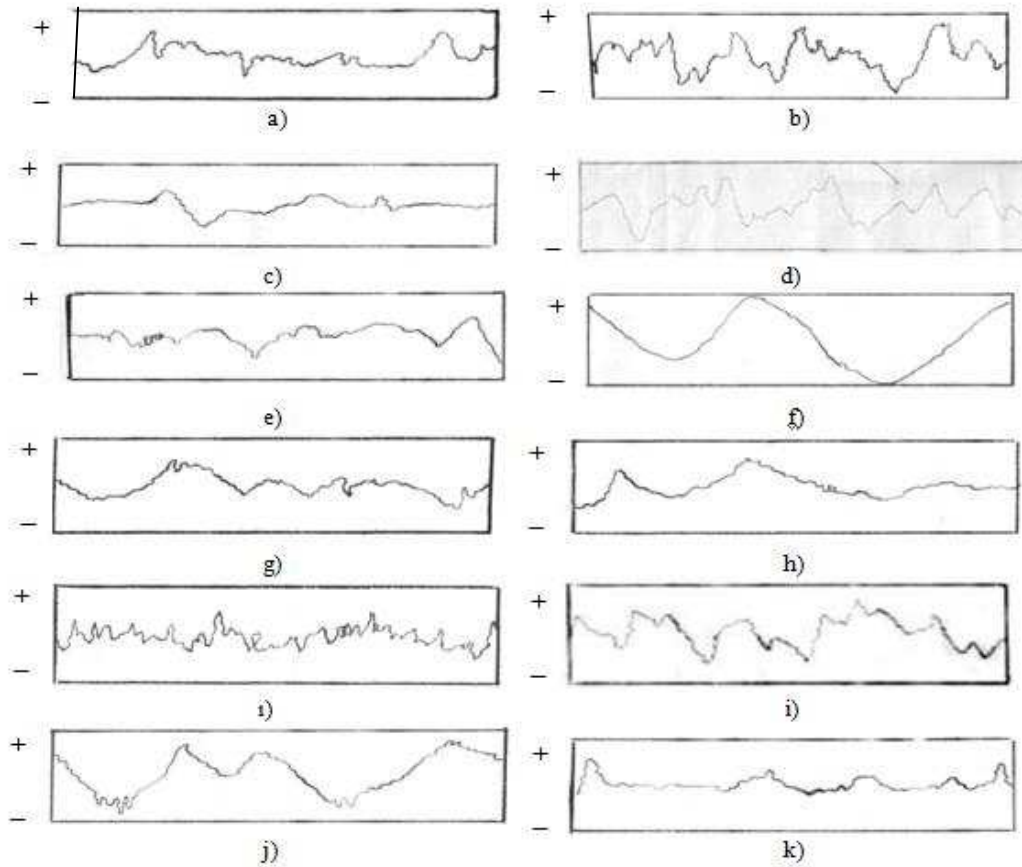
Üst kaplamalarda ise ETFE haricindeki bütün kaplamaların pürüzlülüklerinde azalma meydana gelmiştir. PTFE(3), FEP(2) ve PEEK/PTFE kaplamaları astarsız olarak direk kumlanmış yüzeye uygulanmışlardı. Burada her üç kaplamada da yüzey pürüzlülükleri değerlerinde bir azalma görülmektedir. Sonuç olarak en az pürüzlülük değerini 0.285 µm ile PFA(2) vermektedir. En pürüzlü yüzey ise 3.601 µm ile ETFE kaplamaya aittir.

Critchlow ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ürettikleri PTFE kaplamanın yüzey pürüzlülüğünü 1.498 µm olarak belirlemişlerdir. Bu değer, çalışmada bulunan değerler ile uyum göstermektedir [37]. Veeramasuneni ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ürettikleri PTFE kaplamanın yüzey pürüzlülüğü değerini 1.25 µm olarak belirlemişlerdir [38]. Şekil 6.4' te çalışma sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.4. PTFE kaplama yüzey pürüzlülüğü eğrisi [38]

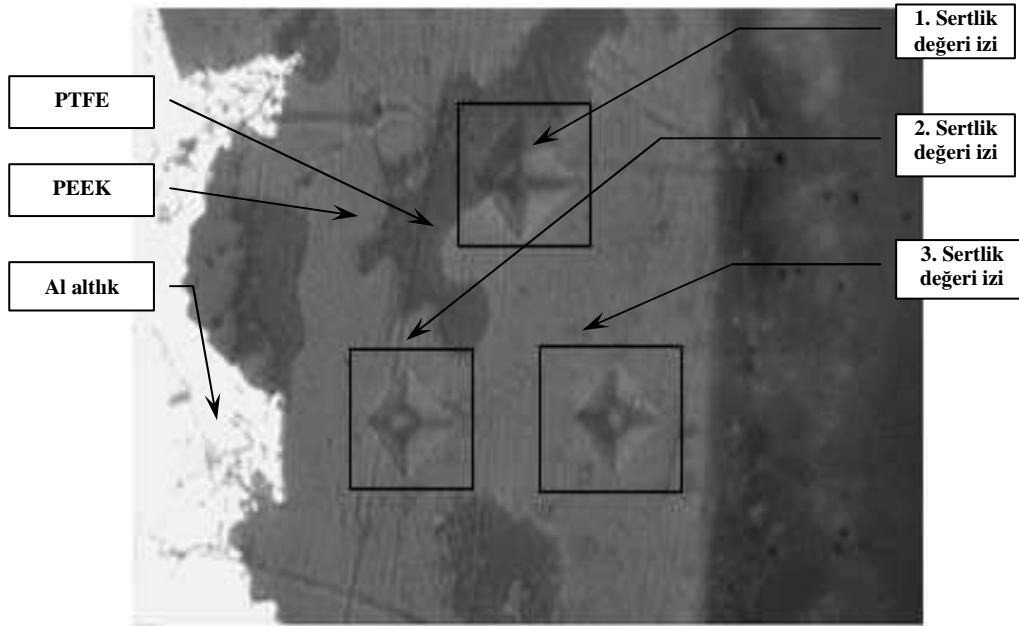
Şekil 6.5' de sade Al, kumlanmış Al ve kaplamaların pürüzlülük ölçümü sonucu elde edilen eğrileri verilmektedir.



Şekil 6.5. Pürüzlülük ölçümü sonucu elde edilen eğriler a) sade Al, b) kumlanmış Al c) PTFE(1) d) PTFE(2) e) PTFE(3) f) FEP (1) g) FEP (2) h) PFA (1) i) PFA (2) i) PFA (3) j) ETFE k) PEEK/PTFE

6.1.3. Mikrosertlik ölçümleri

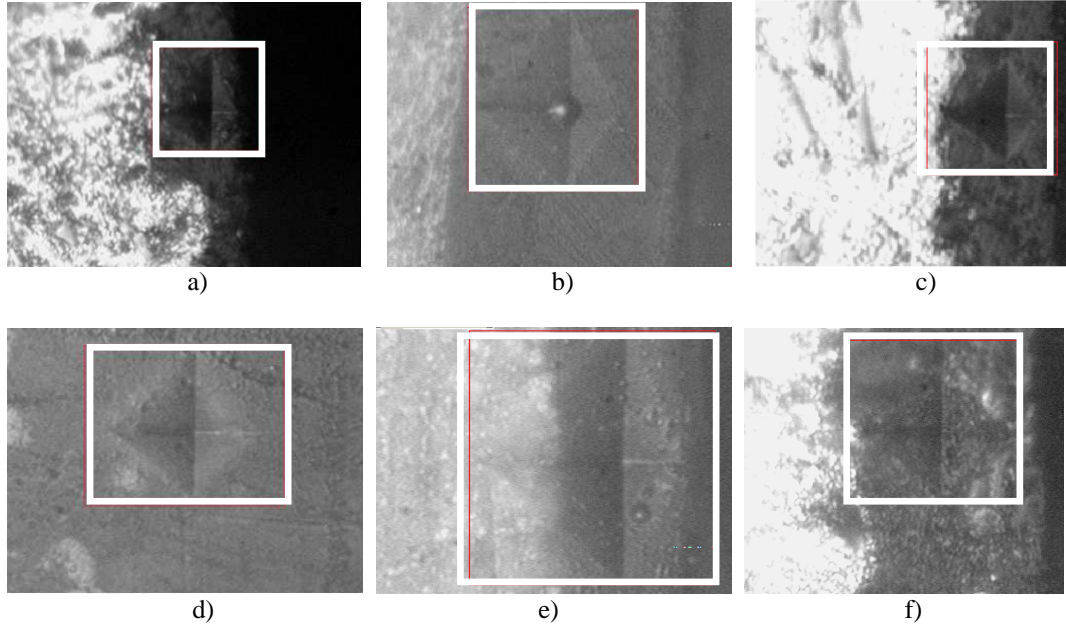
1 gr. yük altında 15 saniye yapılan sertlik ölçümleri sonucu sadece PEEK/PTFE kaplamadan sertlik değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.6' da sertlik alınan PEEK/PTFE kaplama bölgeleri verilmektedir.



Şekil 6.6. Sertlik alınan PEEK/PTFE kaplama bölgeleri

PEEK/PTFE kaplamasının üç farklı bölgesinden alınan sertlik değerleri şöyledir. Birinci sertlik ölçümü 13.2 HV, ikinci sertlik ölçümü 19.5 HV ve üçüncü sertlik ölçümü 20.5 HV olarak elde edilmiştir. Sadece PTFE yüzeyinden elde edilen sertlik değeri 17.2 HV'dir. PTFE yapısı PEEK yapısına göre daha yumuşak bir yapı göstermektedir. Birinci sertlik ölçümü yapılan bölgede PTFE ve PEEK yapısının ortasından alınan sertlik değeri 13.2 HV'dir. Buradaki sertlikte bir düşüş gözlenmektedir.

Şekil 6.7' de sırası ile PTFE(1), PFA(3), FEP(2), ETFE, FEP(1), PTFE(1) kaplamalarının sertlik alma işlemi sonrası yüzeylerinde oluşan sertlik izleri görülmektedir.



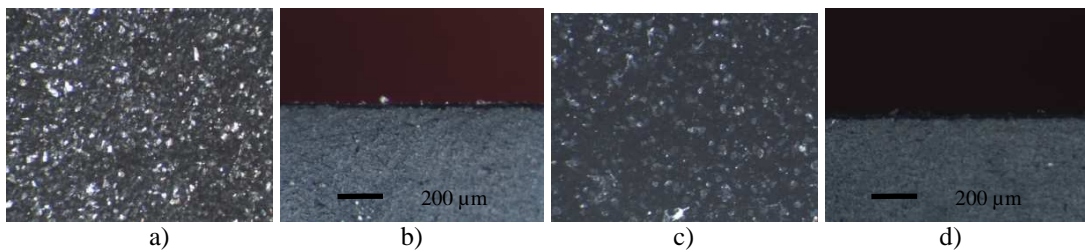
Şekil 6.7. Kaplamalarının sertlik alma işlemi sonrası yüzeylerinde oluşan sertlik izleri a) PTFE(1) b) PFA(3) c) FEP(2) d) ETFE e) FEP(1) f) PTFE(1)

PEEK/PTFE dışında yapılan sertlik ölçümlerinde, konik uç kaplama yüzeyine gömülmüş ve herhangi bir sertlik değeri alınamamıştır.

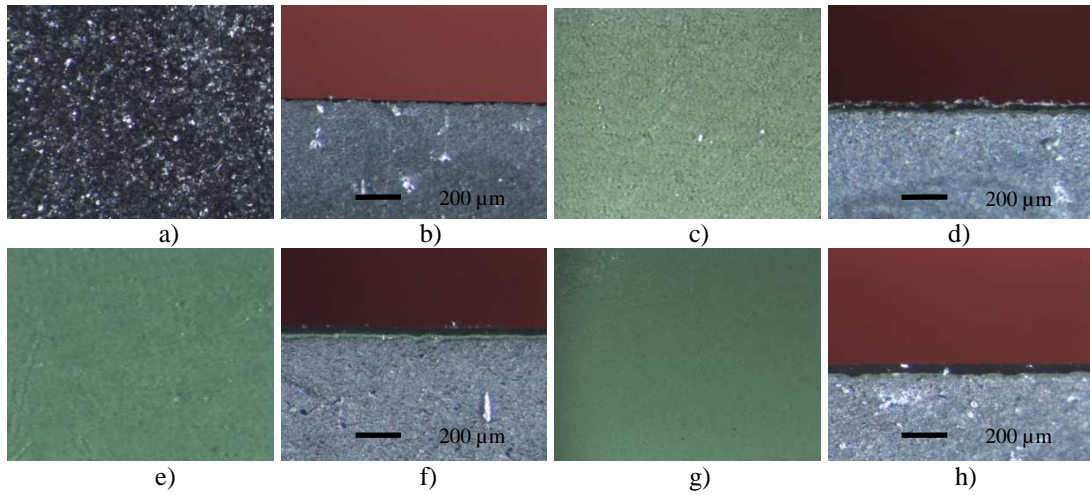
6.1.4. Stereo mikroskop incelemeleri

Yapılan stereo mikroskop çalışması ile üretilen değişik kaplamaların üst ve kesit yüzeyleri X100 büyütmede incelenmiştir.

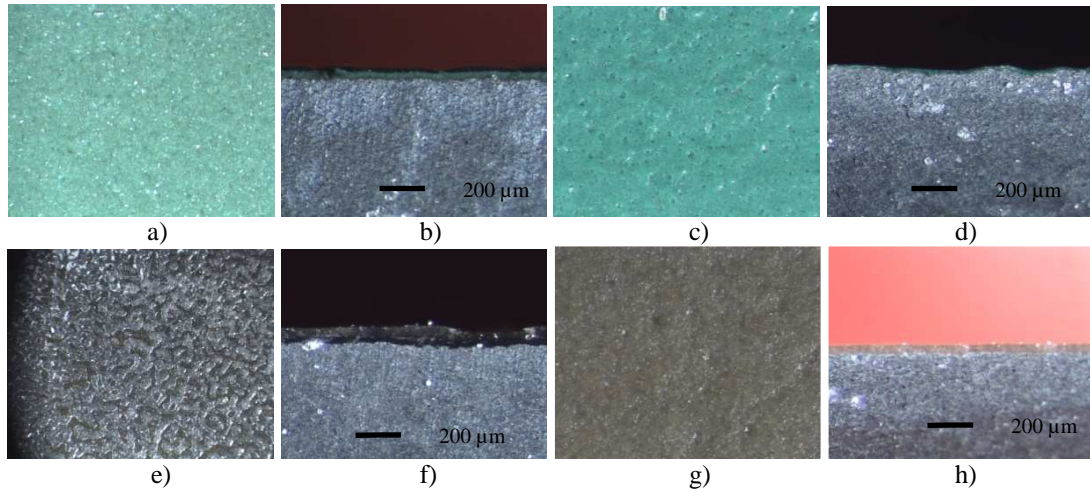
Şekil 6.8 - Şekil 6.10'da kaplamaların yüzey ve kesit fotoğrafları görülmektedir.



Şekil.6.8. Kaplamaların yüzey ve kesit fotoğrafları a)PTFE(1) yüzey b) PTFE(1) kesit c) PTFE(2) yüzey c) PTFE(2) kesit



Şekil.6.9. Kaplamaların yüzey ve kesit fotoğrafları a) PTFE(3) yüzey b) PTFE(3) kesit c) FEP(1) yüzey d) FEP(1) kesit e) FEP(2) yüzey f) FEP(2) kesit g)PFA(1) yüzey h) PFA(1) kesit



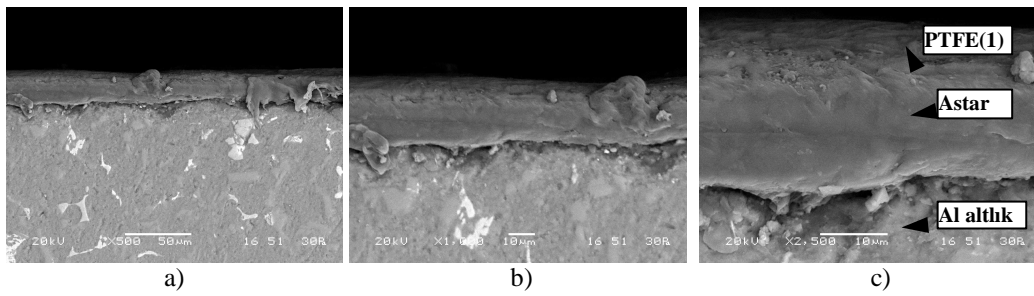
Şekil 6.10. Kaplamaların yüzey ve kesit fotoğrafları a) PFA(2) yüzey b) PFA(2) kesit c) PFA(3) yüzey d) PFA(3) kesit e) ETFE yüzey f) ETFE kesit g) PEEK/PTFE yüzey h) PEEK/PTFE kesit

Yapılan stereo mikroskop çalışmasında, kumlamadan dolayı altlık malzemesinin homojen bir pürüzlülüğe sahip olmadığı ve buna bağlı olarak kaplama kalınlıklarının bazı bölgelerde farklılık gösterdiği görülmektedir. Astar kaplamalar ile üst kaplamalar arasındaki renk farkı görülmektedir ve kaplayama rengini astar kaplama vermektedir. ETFE kaplamanın yüzeyi incelendiğinde diğer kaplamalara göre daha pürüzlü bir yüzey sahip olduğu görülmektedir ve bu gözlem pürüzlülük ölçümleri sonuçları ile uyum göstermektedir. Pürüzlülük ölçümü sonucu en pürüzlü yüzey ETFE olarak bulunmuştu. En ince kaplama olan PTFE(3) kaplamanın stereo mikroskop görüntülerinde de en ince yapıyı gösterdiği görülmektedir. Aynı şekilde

en kalın kaplama olan ETFE' nin stereo mikroskop görüntüleride kaplama kalınlığı ölçümü ile uyum göstermektedir.

6.1.5. SEM incelemeleri

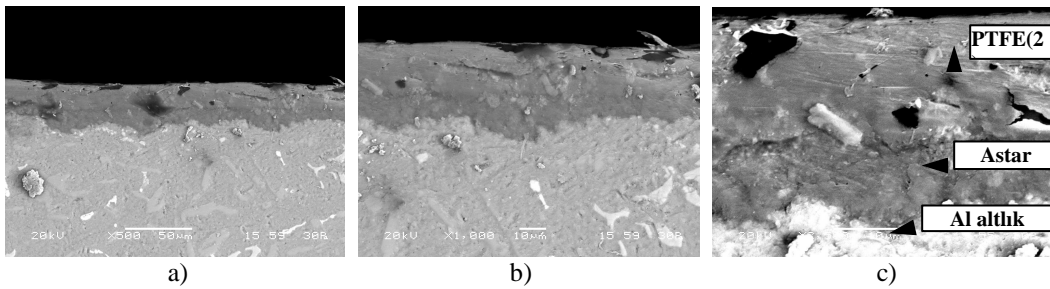
Yapılan SEM çalışmaları ile kaplamaların kalınlıkları ve genel yapıları incelenmiş, X500, X1000, X2500 büyütmede görüntüler alınmıştır. Şekil 6.11' de PTFE(1) kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.11. PTFE (1) kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X2500

Ortalama kaplama kalınlığı $25 \mu\text{m}$ dur ve bu değer ölçülen değer ile uyum göstermektedir. Kumlama hatasından dolayı kaplama kalınlığının düzensiz olduğu görülmektedir. Astar ile PTFE(1) kaplaması arasındaki bağlanmanın iyi olduğu fakat astar ile Al altlık arasında bazı bölgelerde delaminasyon görülmektedir.

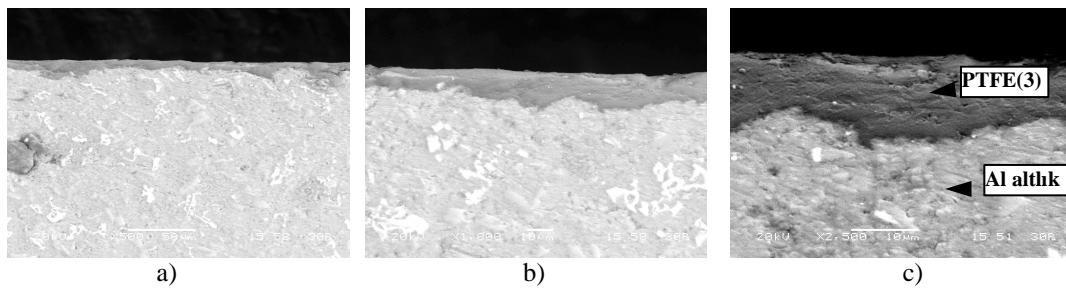
Şekil 6.12' de PTFE(2) kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir



Şekil 6.12. PTFE (2) kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X2500

Kaplama kalınlığının yaklaşık 30 μm 'dur ve bu değer ölçülen değer ile uyum göstermektedir. PTFE(2), astar ve Al altlık arasında bağlanmanın iyi olduğu görölmüştür. X2500 büyütmede ısınmadan dolayı PTFE(2) kaplama üzerinde deformasyonlar oluşmuştur. Kaplamanın homojen ve porozitesiz olduğu görölmektedir.

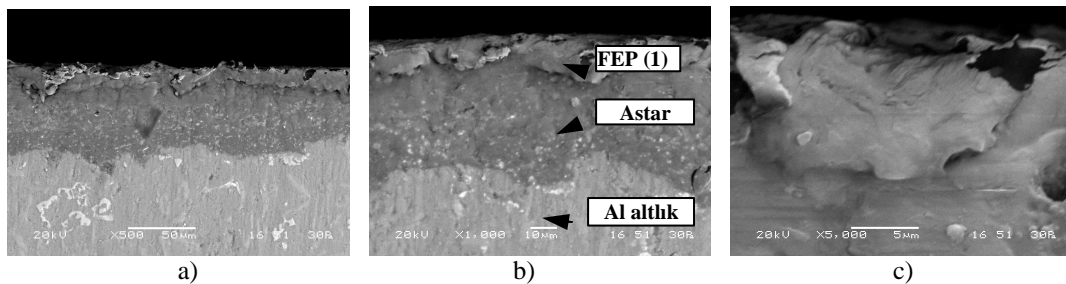
Şekil 6.13' de PTFE(3) kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.13. PTFE (3) kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X2500

PTFE(3) ve Al altlık görölmektedir. PTFE(3) astarsız ve tek bir kat kaplama olarak uygulanmıştır. Kumlama hatasından dolayı kaplama kalınlığını çok düzensiz olduğu gözlemiştir ve ortalama kaplama kalınlığı 14 μm olarak tespit edilmiştir. Kaplama ile Al altlık arasındaki bağlanmanın iyi olduğu görölmektedir.

Şekil 6.14' de FEP(1) kaplamasının X500, X1000 ve X5000 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir.

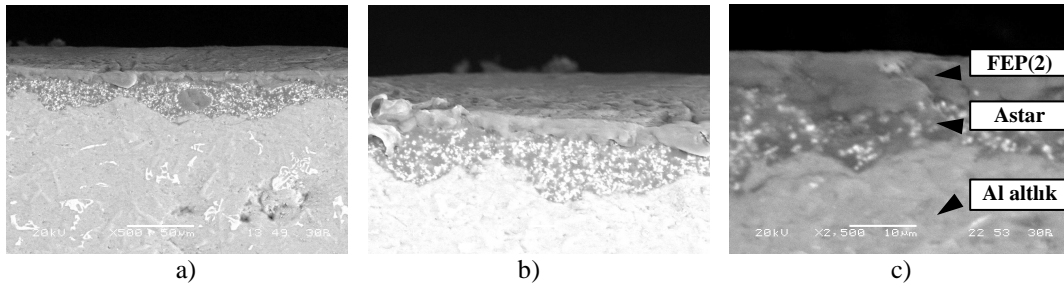


Şekil 6.14. FEP (1) kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X5000

FEP(1) kaplamanın yüzeye iyi tutunduğu görölmektedir. Diğer kaplamalara göre astar ile FEP(1) arasında belirginlik daha azdır tek bir kaplama gibi görölmektedir.

Ortalama kaplama kalınlığı $55 \mu\text{m}$ ' dir ve bu değer cihaz ile ölçülen değer ile uyum göstermektedir. Kaplamanın parlatma sırasında yüzeye sıvandığı görülmektedir. Astar kaplama içerisindeki pigmentlerde görülmektedir. Bu pigmentler astara ve kaplamaya yeşil rengi vermektedir

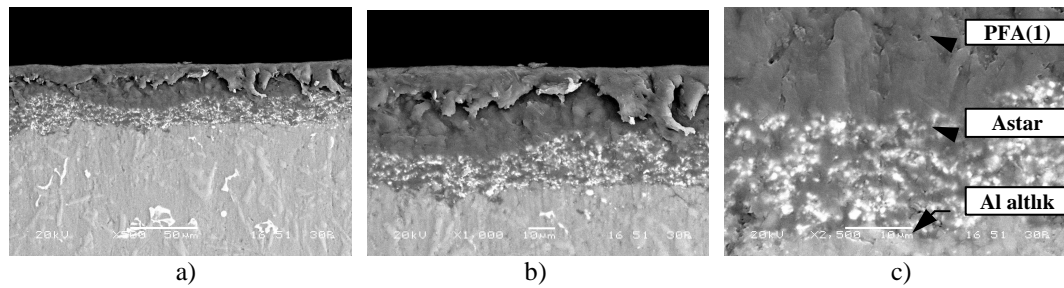
Şekil 6.15' de FEP(2) kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir



Şekil 6.15. FEP (2) kaplamasının SEM mikroyapıları a) 500X b) 1000X c) 2500X

Al altlık ve tek kat kaplanan FEP(2) kaplaması görülmektedir. Altlık yüzeyinin çok bozuk olduğu ve kaplama kalınlığının bazı bölgelerde $10 \mu\text{m}$ ' ye kadar düştüğü görülmektedir. Ortalama kaplama kalınlığı $20 \mu\text{m}$ ' dur. Astar içerisindeki pigmentler beyaz taneler şeklinde görülmektedir.

Şekil 6.16' da PFA(1) kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir

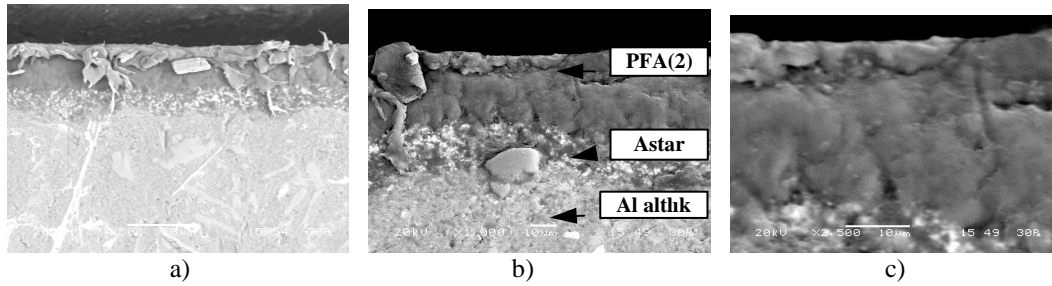


Şekil 6.16. PFA (1) kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X2500

PFA(1), PFA(1) astar ve Al altlık görülmektedir. PFA(1) astar içerisindeki yeşil rengi veren pigment kaktılar görülmektedir. Ortalama kaplama kalınlığı $50 \mu\text{m}$ ' dur.

Yapılan kaplama kalınlığı ölçümünde ise bu değer ortalama olarak 55.23 μm olarak belirlenmiştir. SEM incelemeleri için yapılan parlatma işleminde kaplamanın parlatma yönüne bağlı olarak dıştan içe doğru (üst kaplamadan Al altlığına doğru) sıvandığı görülmektedir.

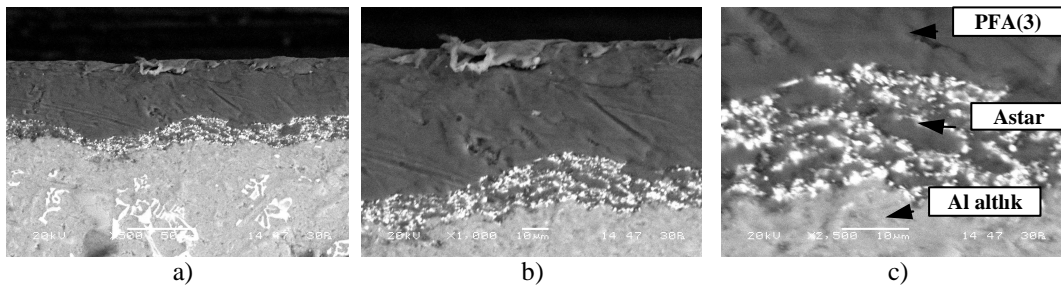
Şekil 6.17’ de PFA(2) kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.17. PFA (2) kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X2500

PFA(2), PFA(2) astar ve Al altlığı görülmektedir. Ortalama kaplama kalınlığı 50 μm 'dur. Astar ile kaplama arasında bazı bölgelerde boşluklar bulunmuştur. Parlatma işlemi sırasında kaplama kesit üzerine sıvanmıştır. Kaplama yapısında genel olarak porozitelere rastlanmaktadır. Astar içerisindeki renk verici pigmentler görülmektedir.

Şekil 6.18’ de PFA(3) kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir.

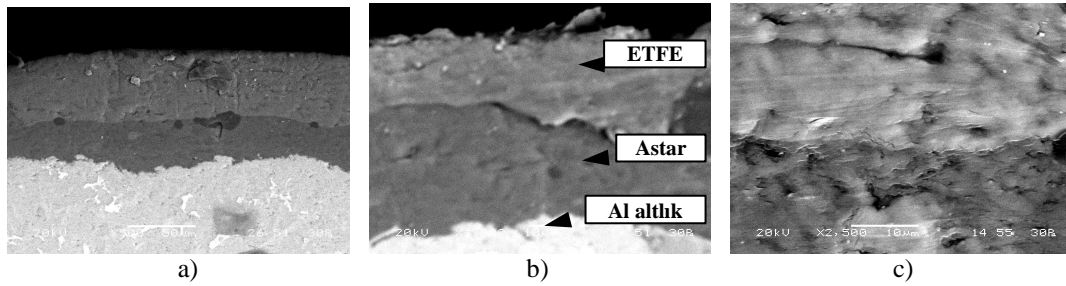


Şekil 6.18. PFA (3) kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X2500

PFA(3), PFA(3) astar ve Al altlığı görülmektedir. Ortalama kaplama kalınlığı 65 μm 'dur. Astar kaplamanın kalınlığı 10 μm olarak görülmektedir. Kumlama işlemi

elle yapıldığı için Al altlık homojen bir yüzey topografyası göstermemektedir, buda kaplama kalınlığında yer yer değişikliklere neden olmaktadır.

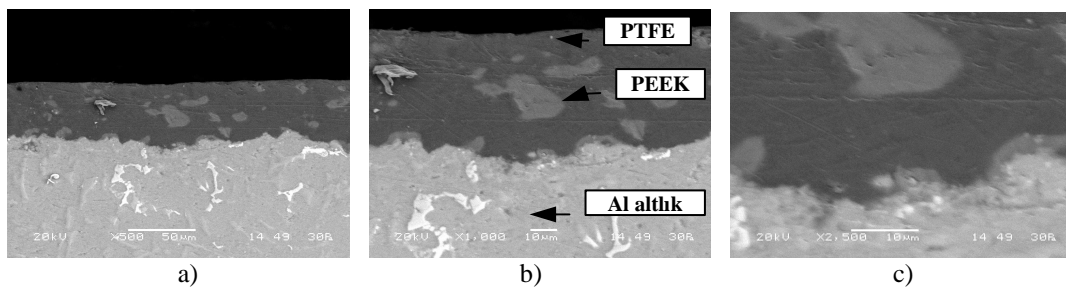
Şekil 6.19' da ETFE kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir.



Şekil 6.19. ETFE kaplamasının SEM mikroyapıları a) X500 b) X1000 c) X2500

ETFE, ETFE astar ve Al altlık arasındaki bağlanmanın iyi olduğu görülmektedir. Ortalama kaplama kalınlığı $90 \mu\text{m}$ 'dur ve kaplamaların arasında en kalın kaplamadır. Elde edilen değer yapılan kaplama kalınlığı ölçümü ile uyum göstermektedir. Kumlamadan kaynaklanan kaplama kalınlığı değişikliği görülmektedir. Kalınlık bazı bölgelerde $60 \mu\text{m}$ 'a kadar düşmektedir.

Şekil 6.20' de ETFE kaplamasının X500, X1000 ve X2500 büyütmedeki SEM mikroyapıları verilmektedir.



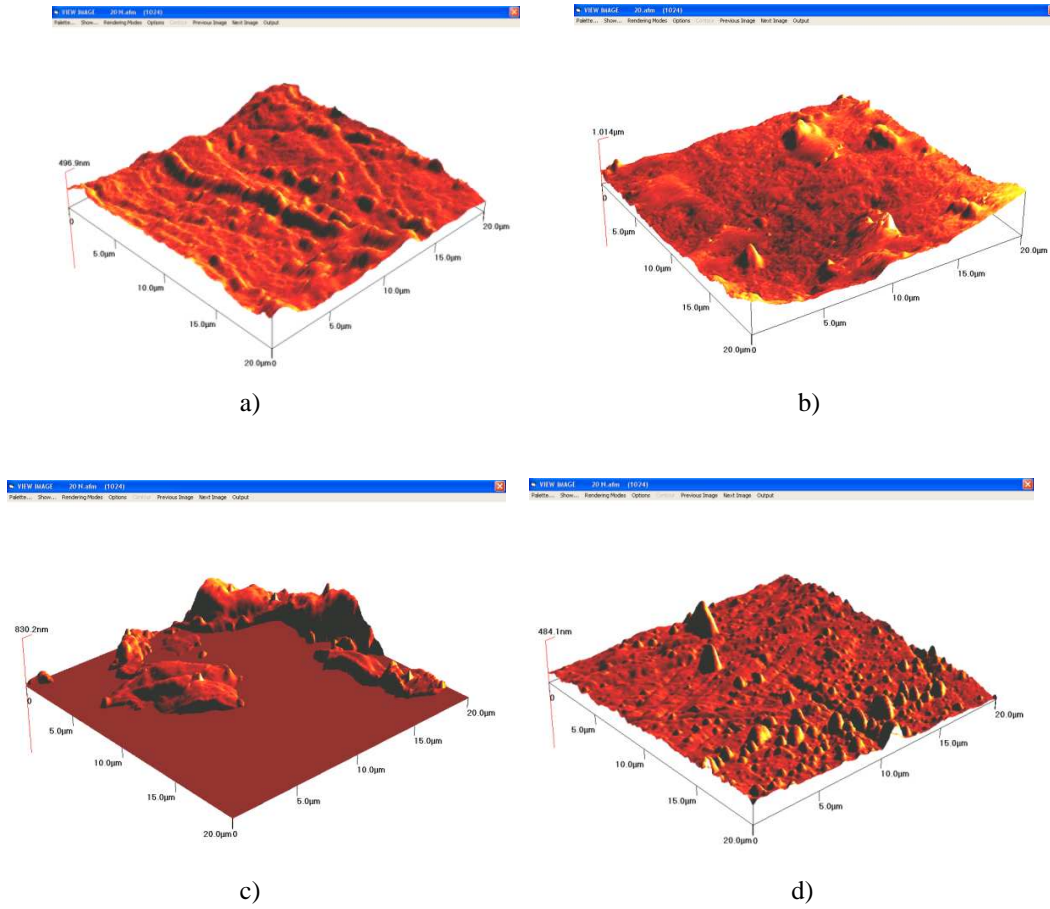
Şekil 6.20. PEEK/PTFE kaplamasının SEM mikroyapıları a) 500X b) 1000X c) 2500X

Tek kat PEEK/PTFE kaplama ve PEEK içerisindeki PTFE taneleri görülmektedir. Ortalama kaplama kalınlığı $50 \mu\text{m}$ 'dur ve ölçülen değer ile uyum içerisinde. Kaplama porozitesiz ve düzgün bir yapı göstermektedir. Kaplama ile Al altlık

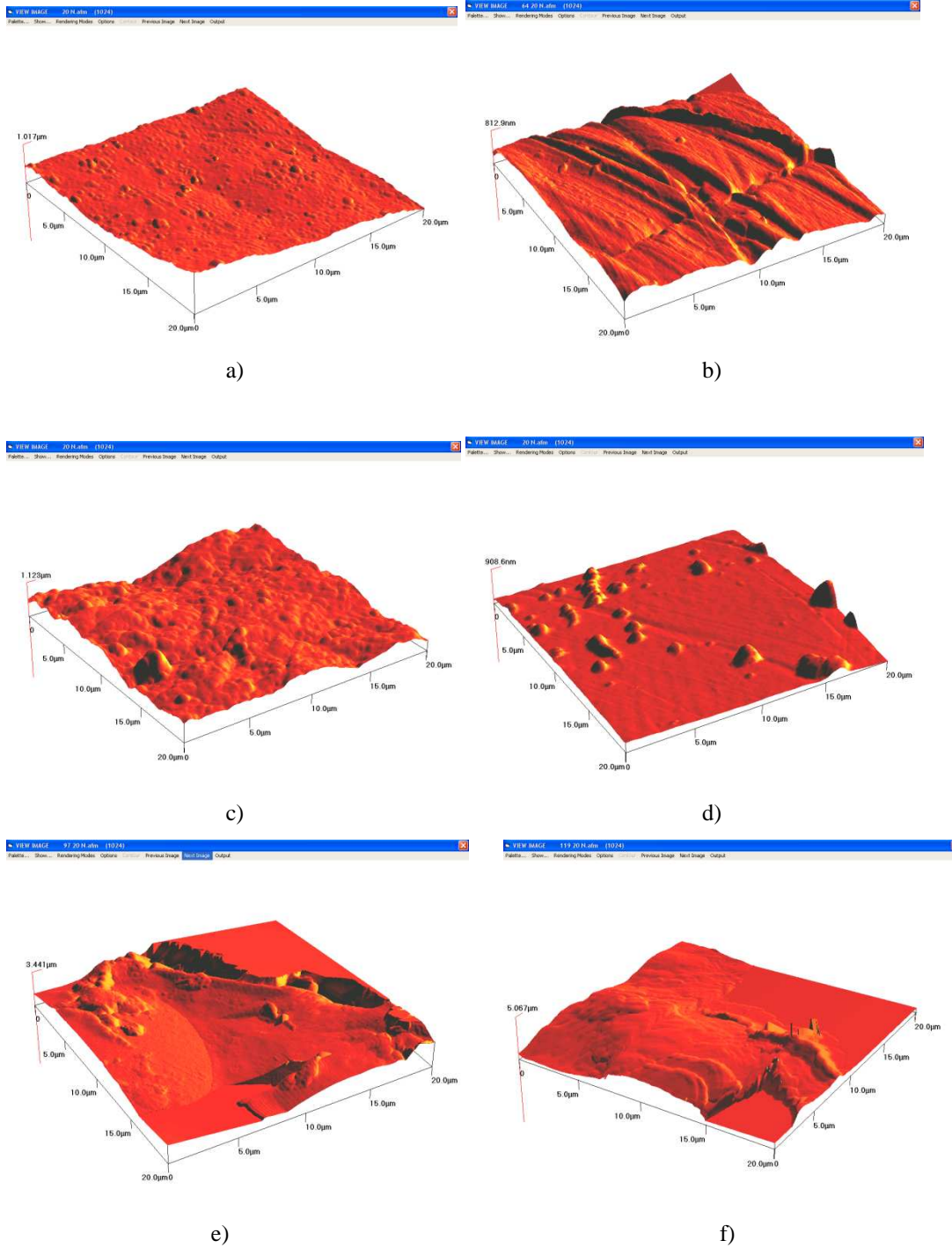
arasındaki bağlanmanın iyi olduğu tespit edilmiştir ve delaminasyon gözlenmemektedir.

6.1.6. AFM ölçümleri

Üretilen bütün kaplamalar için $20 \times 20 \mu\text{m}$ alandan alınan AFM analizi sonuçları Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’de verilmektedir.

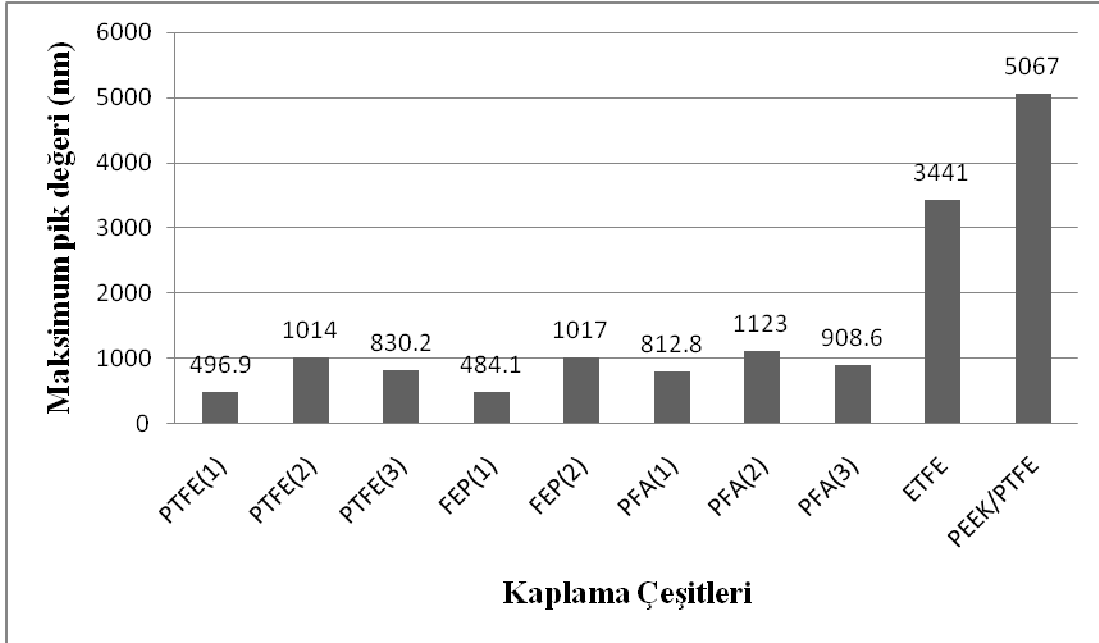


Şekil 6.21. AFM analizi sonuçları a) PTFE(1) b) PTFE(2) c) PTFE(3) d) FEP (1)



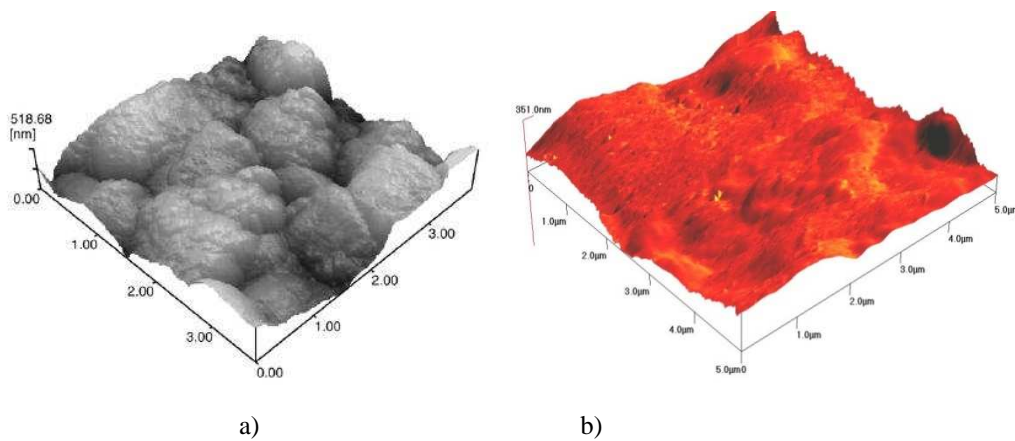
Şekil 6.22. AFM analizi sonuçları a) FEP (2) b) PFA(1) c) PFA (2) d) PFA (3) e) ETFE f) PEEK/PTFE

Bütün kaplamaların alüminyum altlıklar üzerine iyi yapıştığını ve altlık üzerindeki pürüzlü yapıların arasına iyi penetre olduğunu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de düşük olduğu görülmektedir. Şekil 6.23' de kaplamalara ait AFM analizi maksimum pik değerleri sütun grafik halinde verilmektedir.



Şekil 6.23. Kaplamalara ait AFM analizi maksimum pik değerleri

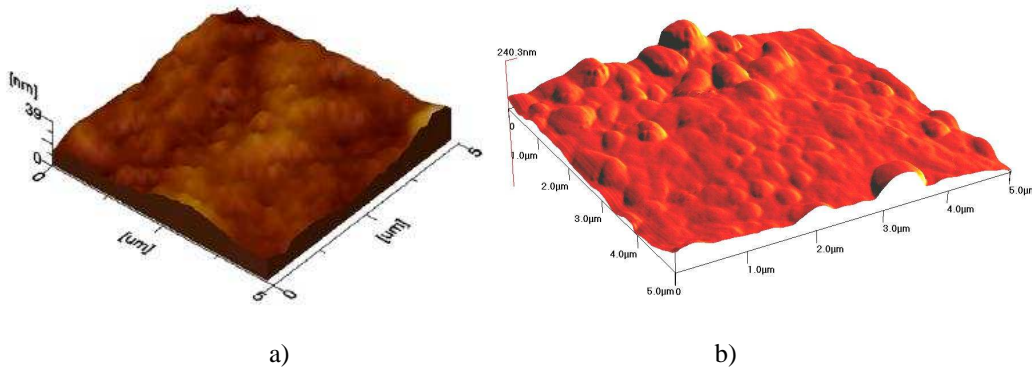
Burkarter ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, PTFE kaplama yüzeyinde $3.75 \times 3.75 \mu\text{m}^2$ alandan AFM ile yüzey topografyası analizi yapmışlardır. Maksimum pik değeri olarak ortalama 394 nm değerini elde edilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise 114 nm olarak bulmuştur [39]. Şekil 6.24' te PTFE kaplamaya ait AFM analizleri verilmektedir.



Şekil 6.24. PTFE kaplamaya ait AFM analizleri a) Burkarter ve arkadaşlarının PTFE kaplama AFM görüntüsü b) üretilen PTFE kaplamanın AFM analizi [39]

Bizim çalışmamızda incelediğimiz PTFE(1) kaplamasına ait $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ alandaki AFM analizi sonucu maksimum pik değeri 351 nm olarak belirlenmiştir. Bu değer Burkarter ve arkadaşlarının elde ettiği değer ile uyum göstermektedir.

Riyadh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada $15 \times 15 \text{ mm}^2$ altlık üzerinde $50 \mu\text{m}$ kalınlığında FEP levhalar üretilip $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ lik alanda AFM görüntülerini incelemiştir. Şekil 6.25' de Riyadh ve arkadaşlarının AFM analizi sonucu ve bu çalışmada elde edilen FEP(2) kaplamanın AFM sonucu verilmektedir [40].



Şekil 6.25. FEP kaplamaya ait AFM analizi a) Riyadh ve arkadaşlarının FEP levha AFM analizi sonucu b) üretilen FEP(2) kaplamanın AFM analizi

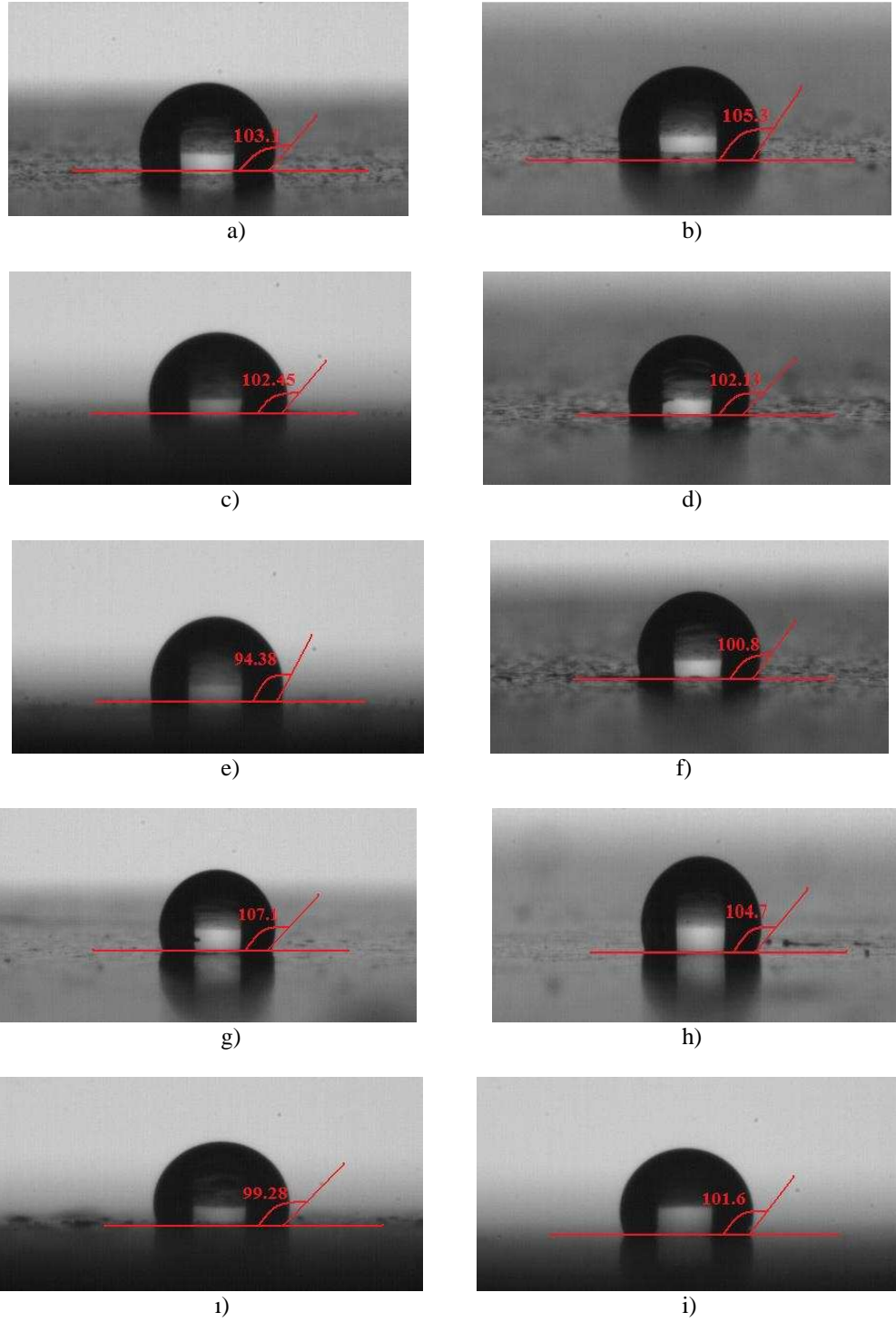
6.1.7. Kontak açısı tespiti

6.1.7.1. İşlem görmeyen kaplanmış yüzeyin kontak açısı tespiti

Şekil 6.26' da kumlanmış Al ve işlem görmemiş Al, Şekil 6.27' de kaplamaların kontak açısı ölçümü sonuçları verilmektedir.

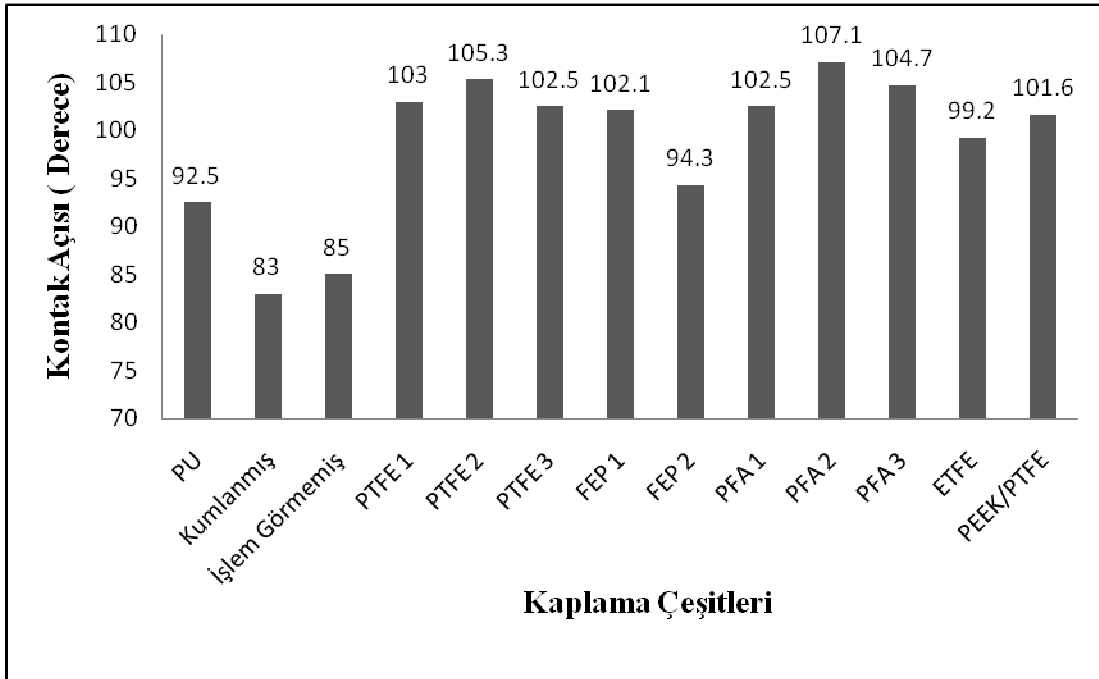


Şekil 6.26. Kumlanmış Al ve işlem görmemiş Al yüzeylerin kontak açıları a) kumlanmış b) işlem görmemiş



Şekil 6.27. Kontak açısı ölçümü sonuçları a) PTFE(1) b) PTFE (2) c) PTFE (3) d) FEP (1) e) FEP (2) f) PFA (1)g) PFA (2) h) PFA (3) i) ETFE j) PEEK/PTFE

Şekil 6.28' de kontak açısı değerleri sütun grafik halinde verilmektedir.



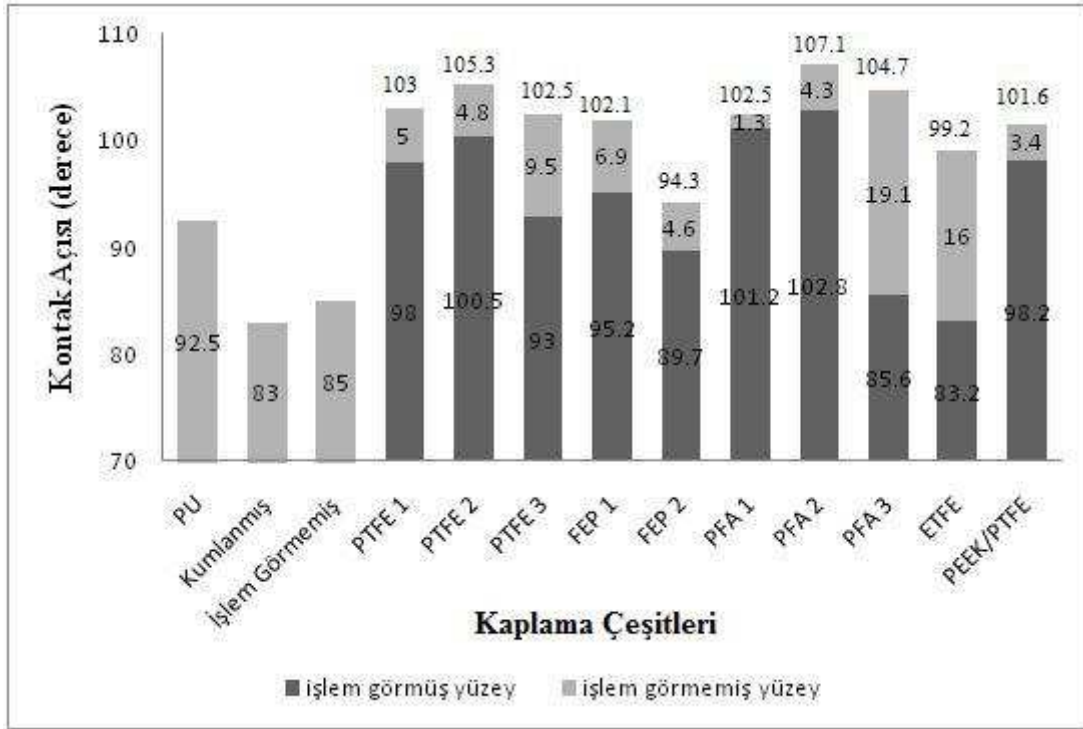
Şekil 6.28. Kontak açısı değerleri sütün grafiği

Kumlanmış Al, işlem görmemiş Al ve kaplamalara yapılan kontak açısı ölçümleri sonucu, en düşük kontak açısı değeri 83° ile kumlanmış Al yüzeyine, en yüksek kontak açısı değeri ise 107.1° ile PFA (2) kaplamasına aittir.

İşlem görmemiş Al yüzeyi 85° lik bir açıya sahiptir ve kumlama işlemi ile kontak açısında azda olsa bir değişiklik olduğu görülmektedir. Kaplamalar arasında en düşük açı değerine FEP (2) kaplama sahiptir.

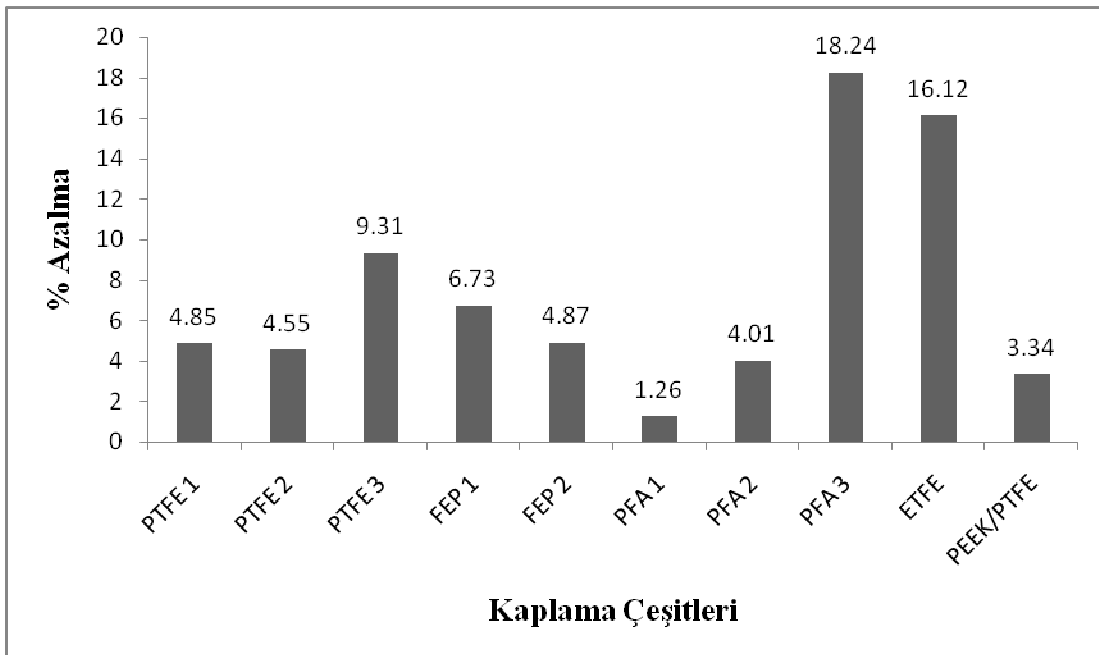
6.1.7.2. İzosiyonat ile işlem görmüş kaplamaların kontak açısı

Şekil 6.29' da izosiyonat içinde bekletilen numunelerin kontak açısı sonuçları ve işlem görmemiş kaplama yüzeylerine göre açıdaki azalma değerleri verilmektedir.



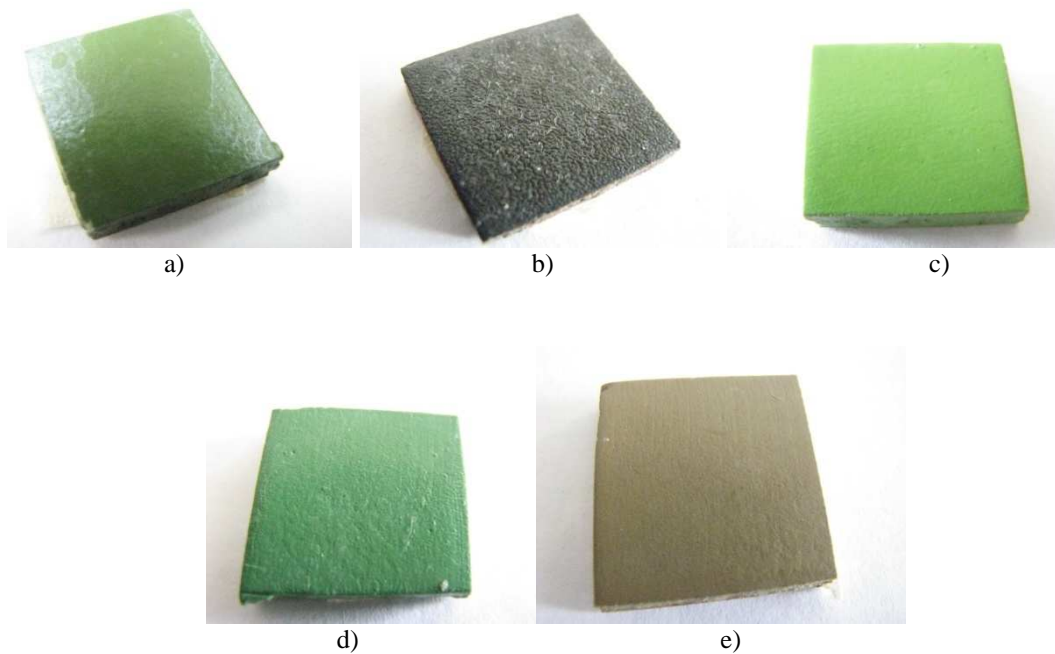
Şekil 6.29. İzosiyonat içindeki kaplamaların kontak açısı ölçümü sonuçları

Şekil 6.30' da işlem görmeyen kaplanmış yüzeyin kontak açısı değerindeki azalma yüzde olarak verilmektedir.



Şekil 6.30. İşlem görmeyen kaplanmış yüzeyin kontak açısı değerindeki % azalma

İzosiyonatta bekletme sonrası kaplama yüzeylerinden ölçülen kontak açıları incelendiğinde bütün kaplamaların açı değerinde bir azalma görülmektedir. Özellikle PFA (3) ve ETFE kaplamalarında büyük bir düşüş vardır ve yüzeyleri incelendiğinde kaplamaların yer yer kalktığı yerini astar kaplamaya bıraktığı görülmektedir. Açıdaki bu azalmanın nedeni kaplamaların izosiyonattan etkilendiği ve yapışmazlık özelliklerinin bir kısmını kaybettikleri olarak yorumlanabilir. En düşük açı kaybını PFA (1) kaplamada göstermektedir. Test sonrası açı değeri en büyük kaplama PFA(2) kaplaması olarak görülmektedir. Şekil 6.31' de işlem görmüş bazı kaplamaların yüzey görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.31. İşlem görmüş kaplama yüzeyleri a) PFA(3) b) ETFE c) PFA(2) d) FEP(1) e) PEEK/PTFE

Yan Chen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ürettikleri kaplama kalınlığı 70 μm olan ticari bir PTFE filmi kullanmışlar ıslatma açısı ölçümünü yapmışlardır. 2 μl saf su ile ölçüm yapmışlar ve 146 derece değerini bulmuşlardır. Açıdaki değerin yüksek olmasının nedeni, kaplama üzerine bırakılan su damlacığının hacminin çok az olması olarak gösterilebilir [35]. Şekil 6.32' de PTFE kaplama üzerindeki su damlası gösterilmektedir.



Şekil 6.32. PTFE kaplama üzerine su damlasının bırakılması [41]

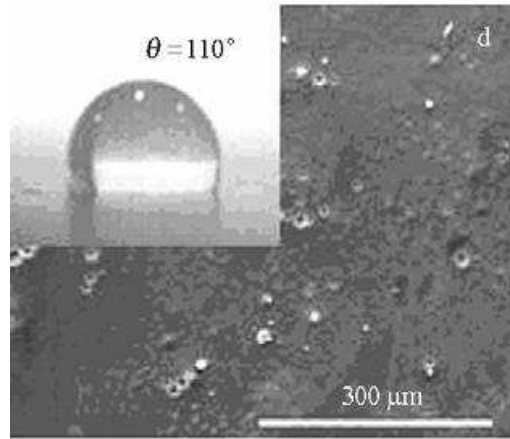
Veeramasuneni ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ürettikleri PTFE kaplamanın üzerinde saf su kullanarak 23 °C' de 3 mm çapında damla oluşturmuşlar ve kontak açısı ölçümü yapmışlardır. Deney sonucu ıslatma açısı değerini 114° olarak tespit edilmişlerdir [38].

Yu Fu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada paslanmaz çelik üzerine yaptıkları Ag-PTFE kaplamanın kontak açısı değerini 114° olarak ölçmüşlerdir [41]. Şekil 6.33' de Ag-PTFE kaplama üzerindeki su damlası görülmektedir.



Şekil 6.33. Ag-PTFE kaplama üzerindeki su damlası [41]

Ying Chen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 2 cm x 3cm Al levha üzerinde spreyle püskürtme yöntemi ile PTFE kaplamalar üretmişler ve kontak açısı özelliklerini incelemişlerdir. Kaplama işlemi öncesinde Al altlık malzemeler 90 °C' de 20 dakika kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Kontak açısı ölçümünde 5 µl saf su kullanılmıştır. Yapılan ölçüm sonucu PTFE kaplamanın kontak açısı değeri 110° olarak bulunmuştur [42]. Şekil 6.34' de Al altlık üzerindeki PTFE kaplama ve kontak açısı değeri verilmektedir.



Şekil 6.34. Al altlık üzerindeki PTFE kaplama ve kontak açısı değeri [42]

Makohliso ve arkadaşları Si altlık üzerinde ürettikleri Teflon AF floropolimer kaplamanın 20 μ l saf su kullanarak kontak açısı ölçümünü yapmış ve 105° değerini elde etmişlerdir. Numunesi boyutu 1 x 1 cm olarak belirlenmiş ve 3 farklı açı ölçümü değeri alınmıştır [43].

Riyadh ve arkadaşları 50 μ m kalınlığındaki FEP levhanın kontak açısı değerini 92° olarak tespit etmişlerdir [40]. Şekil 6.35' de bu ölçüm sonucu elde edilen su damlası gösterilmektedir.



Şekil 6.35. FEP levhanın kontak açısı [40]

6.1.8. Kaplama adezyonu ve ölçümü

6.1.8.1. Kaplamanın altlığa yapışma mukavemetinin ölçümü testi

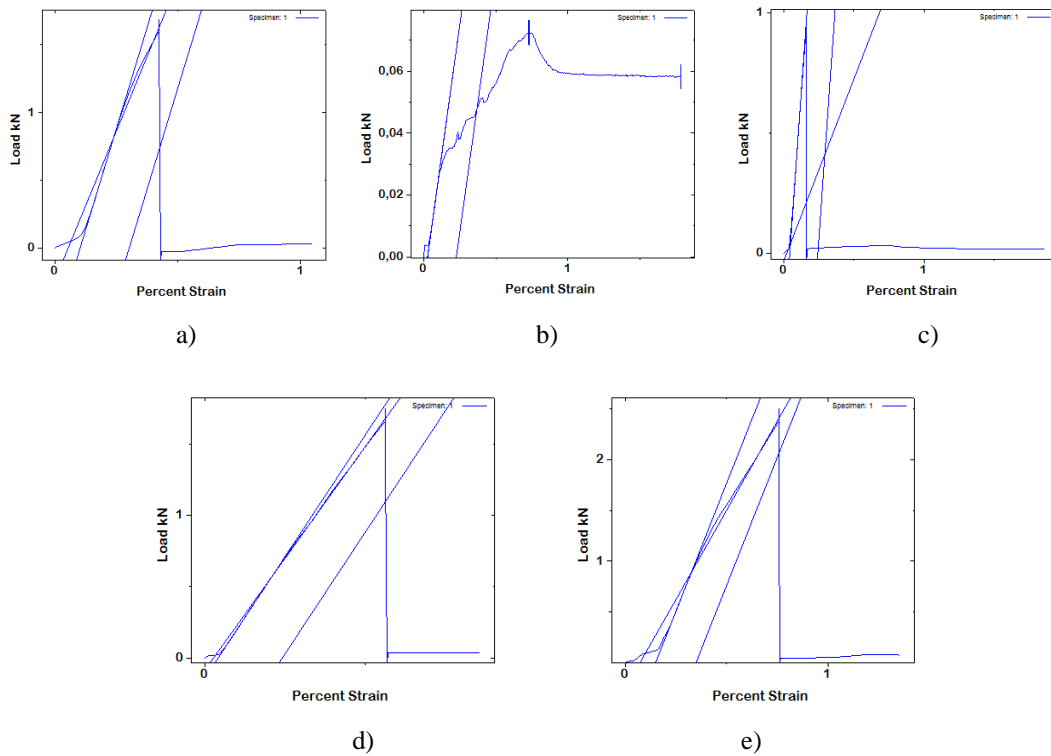
Kaplamalara yapılan ASTM C633 testi sonrası kaplamalar arasında sadece ETFE üst kaplama sökülerek astar kaplamadan ayrılmıştır. PTFE(1), FEP (1), PFA(1) ve PEEK /PTFE kaplamalarda ise herhangi bir kopma veya ayrılma görülmemiştir. Bu kaplamalardan elde edilen kopma gerilmesi değerleri kullanılan yapıştırıcın kopması

için gerekli kopma değeridir. Tablo 6.3' de silindirik numunelerin çekme deneyi sonuçları tablo halinde verilmektedir.

Tablo 6.3. Silindirik numunelerin çekme deneyi sonuçları tablosu

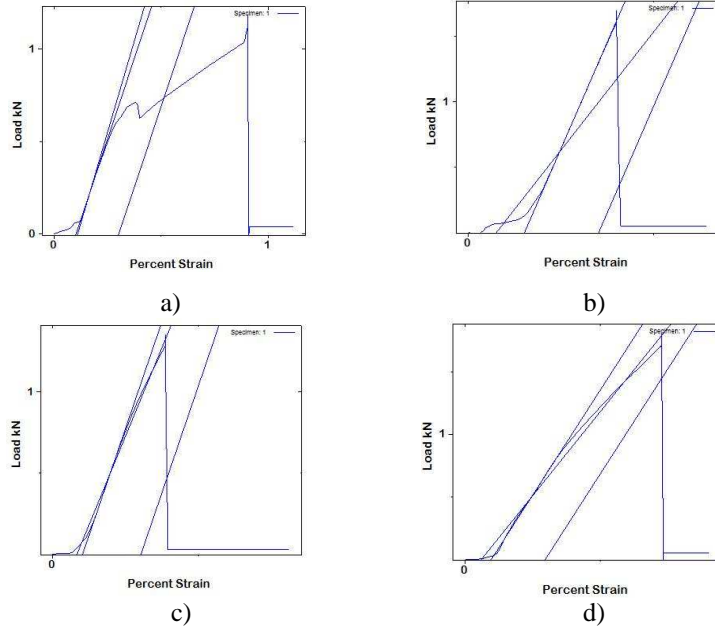
Kaplamlar	Kopma gerilmesi (LOCTITE 406) (MPa)	Kopma gerilmesi (LOCTITE Epoksi) (MPa)	Kaplamanın bağlanma tipi	
			Adezyon(%)	Kohezyon(%)
PTFE (1)	3.25	2.279	-	100
FEP(1)	0.148	3.280	-	100
PFA(1)	1.876	2.609	-	100
ETFE	3.37	-	50	50
PEEK/PTFE	4.83	3.480	-	100

Tablo 6.3 incelendiğinde ETFE kaplama yüzeyinden %70' lik bir alanın koptuğu görülmektedir. %30' luk kısımda ise herhangi bir hasar görülmemektedir. Şekil 6.36' da kaplamaların LOCTITE 406 ile yapılan test sonrası elde edilen yük - % uzama eğrileri verilmektedir.



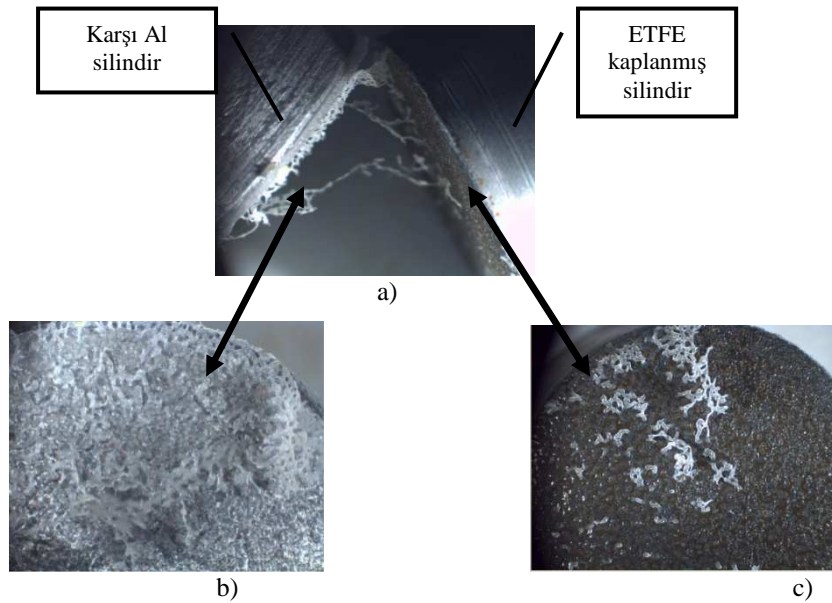
Şekil 6.36. Kaplamaların LOCTITE 406 ile yapılan test sonrası elde edilen yük- % uzama eğrileri
a) PTFE(1) b) FEP(1) c)PFA(1) d) ETFE e) PEEK/PTFE

Şekil 6.37' de kaplamaların LOCTITE Epoksi ile yapılan test sonrası elde edilen yük - % uzama eğrileri verilmiştir.



Şekil 6.37. Kaplamaların LOCTITE epoksi ile yapılan test sonrası elde edilen yük- % uzama eğrileri a) PTFE(1) b) FEP(1) c) PFA(1) d) PEEK/PTFE

Şekil 6.38' de ETFE kaplamanın test sonrası görüntüleri verilmektedir.

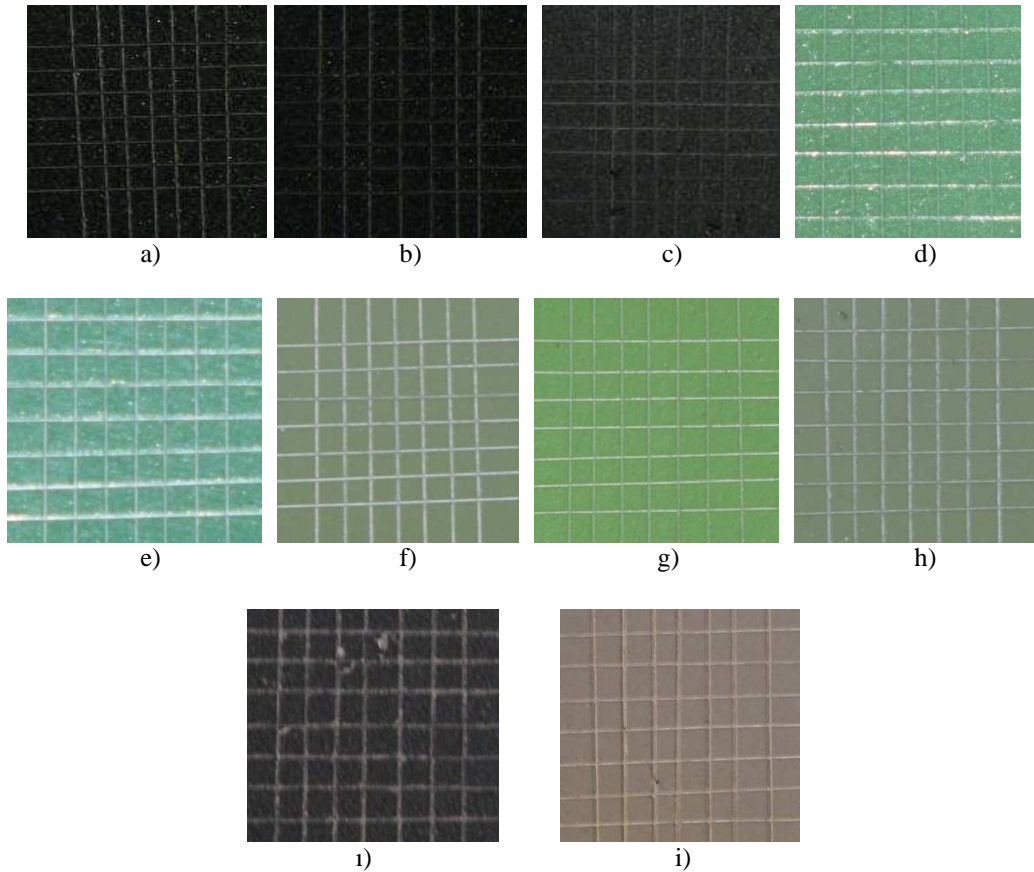


Şekil 6.38. ETFE kaplamanın test sonrası görüntüleri a) Ayrılma sonrası numune kesiti b) Karşı Al silindir yüzeyi c) kaplama yüzeyi

Test sonrası ETFE kaplama yüzeyi incelendiğinde üst kaplamanın 3.37 MPa'lık gerilme ile büyük bir kısmının ayrıldığı ve karşı Al parçada kaldığı görülmektedir. Şekil 6.38 a)'da çekme testi sonrası ayrılan yüzeyler görülmektedir. Şekil 6.38 b) incelendiğinde yapıştırıcı tarafında ETFE üst kaplamanın söküldüğü ve Al karşı parça üzerinde kaldığı görülmektedir. Şekil 6.38 c)'de ise hasarlı kaplama yüzeyi görülmekte, kopma sonucu yüzeyden sökülen fakat kopmayan kaplama yüzeyi ve üst kaplaması tamamen kopmuş astar tabakası görülmektedir.

6.1.8.2. Cross- cut adezyon testi

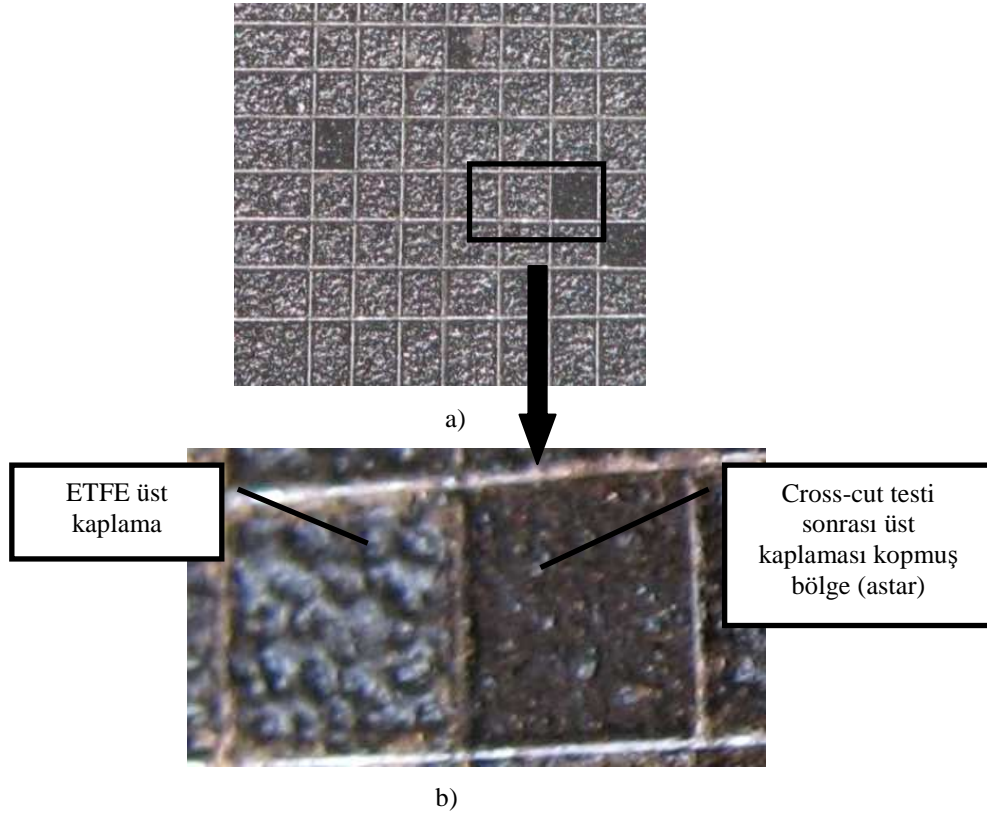
Şekil 6.39'da cross-cut testi sonrası kaplama yüzeyleri verilmektedir.



Şekil 6.39. Cross-cut testi sonrası kaplama yüzeyleri a) PTFE(1) b) PTFE(2) c) PTFE(3) d) FEP (1) e) FEP (2) f) PFA (1) g) PFA (2) h) PFA (3) i) ETFE j) PEEK/PTFE

Cross-cut adezyon testi sonrası, ETFE kaplama dışındaki bütün kaplamalarda bıçağın kestiği yerler tümüyle düzgündür ve kafesin karelerinden hiçbiri çıkmamıştır. Bu kaplamaların hepsi ASTM D 3359'a göre 5 B değerini almışlardır. Test sonrası

ETFE kaplama yüzeyindeki kareler kenarları boyunca ve bazı karelerin tamamından dökülmüştür. ASTM D 3359'a göre ETFE kaplama 3 B değerindedir. Şekil 6.40'da ETFE kaplama yüzeyinden kopan ve kopmadan kalan bölgeler gösterilmektedir.

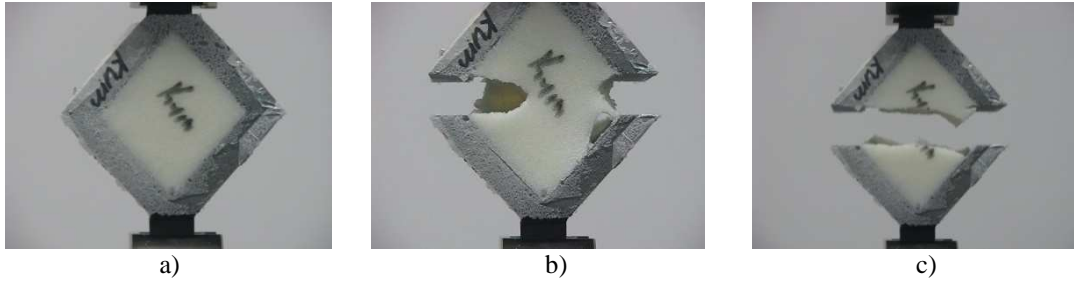


Şekil 6.40. Cross-cut testi sonrası ETFE kaplama yüzeyinden kopan kaplama bölgesi a) üst yüzey b) kopan bölge

Şekil 6.40 incelendiğinde ETFE kaplama üzerinde oluşturulan kafesteki kareden ETFE üst kaplama tamamen kopmuş ve o bölgede sadece astar tabakası kalmıştır.

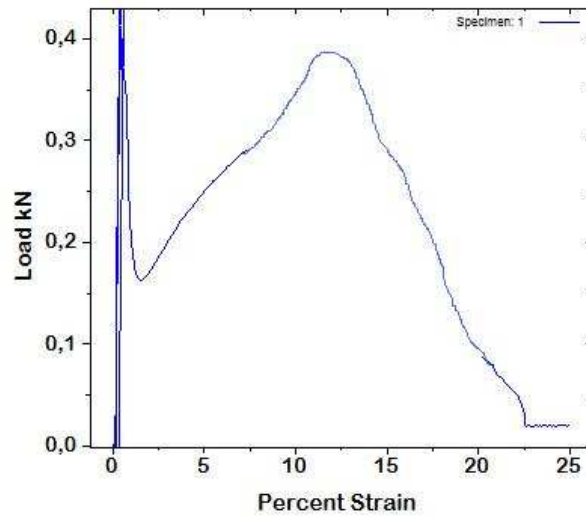
6.1.9. Kaplama ile PU köpük arasındaki yapışmanın belirlenmesi deneyi sonuçları

Şekil 6.41'de PU dökümü yapılan kumlanmış kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.41. Kumlanmış kalıp numunelerinin çekme testi görüntüleri a) test öncesi b) test sırası c) test sonrası

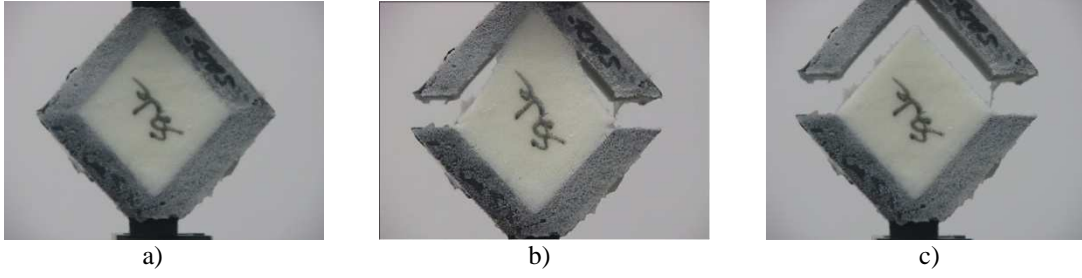
İç yüzeyleri kumlanmış kalıp numunelerine yapılan çekme testi sonrası PU sünger kumlanmış yüzeyden ayrılamamış ve yapışmadan dolayı kopmuştur. Şekil 6.42' de kumlanmış numunenin çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil.6.42. Kumlanmış kalıp numunesi yük- yüzde uzama grafiği

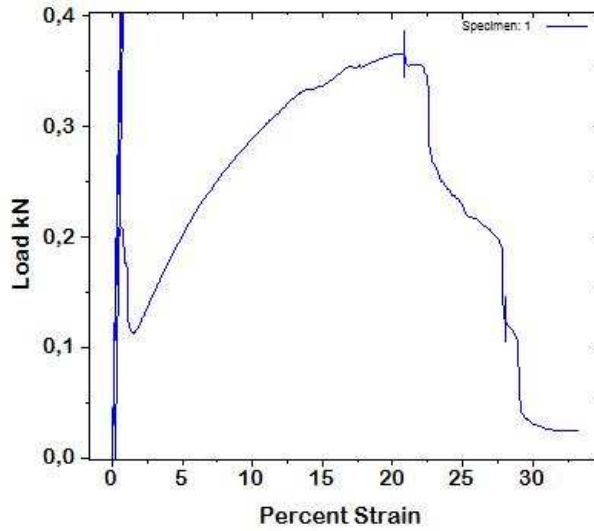
Şekil 6.42'deki yük-yüzde uzama grafiği incelendiğinde maksimum yük 0.39 kN olarak belirlenmektedir. Kumlanmış yüzeyden PU sünger ayrılmadığı ve koptuğu için bu değer PU süngerin kopması için gerekli yükü vermektedir. PU süngerin kumlanmış yüzeyden ayrılması için bu değerın daha üstünde bir yüke ihtiyaç vardır.

Şekil 6.43' de PU dökümü yapılan işlem görmemiş kalıp numunesinin çekme testi öncesi, test sırasındaki ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.43. İşlem görmemiş kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sırasındaki c) Test sonrası

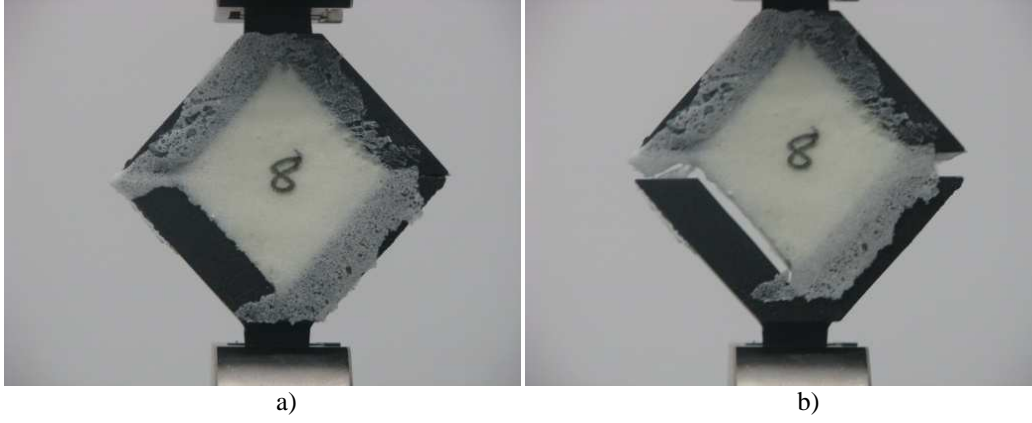
Şekil 6.44' de işlem görmemiş numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 6.44. İşlem görmemiş numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği

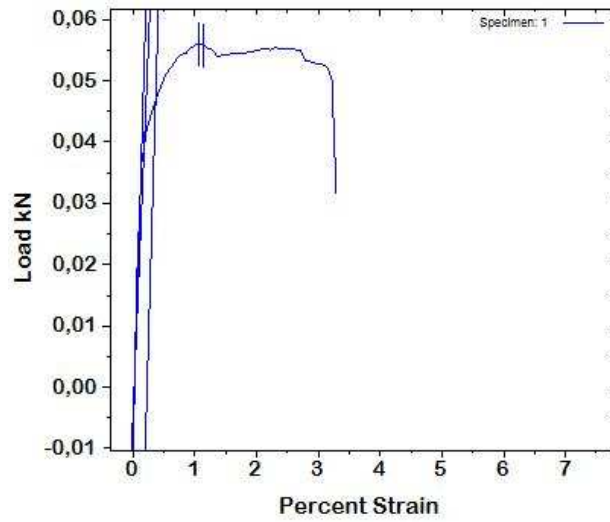
İşlem görmemiş kalıp yüzeyi kullanılmakta olan kalıplar ile aynı yüzey özelliklerine sahiptir. Test sırasında PU sünger kopmamış ve kalıptan ayrılmıştır. Fakat Şekil 6.43 b' den görüldüğü üzere, PU süngerde yüzeyden sıyrılmadan önce üst kalıbın açılı keskin köşesine yapışmıştır. Aynı zamanda bu olay Şekil 6.44 'deki grafiğin % uzama oranının diğer numunelere göre fazla olduğundan da anlaşılmaktadır. Şekil 6.44' deki yük-yüzde uzama grafiği incelendiğinde maksimum yük 0.367 kN olarak belirlenmektedir. Saf Al kumlanmış yüzeye göre daha az pürüzlü bir yüzeye sahiptir ve bu nedenle mekanik bağlanma daha az olduğu için 0.367 kN' luk bir yük ile sünger kalıptan ayrılmıştır.

Şekil 6.45' de PU dökümü yapılan PTFE (1) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.45. PTFE(1) kaplı kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

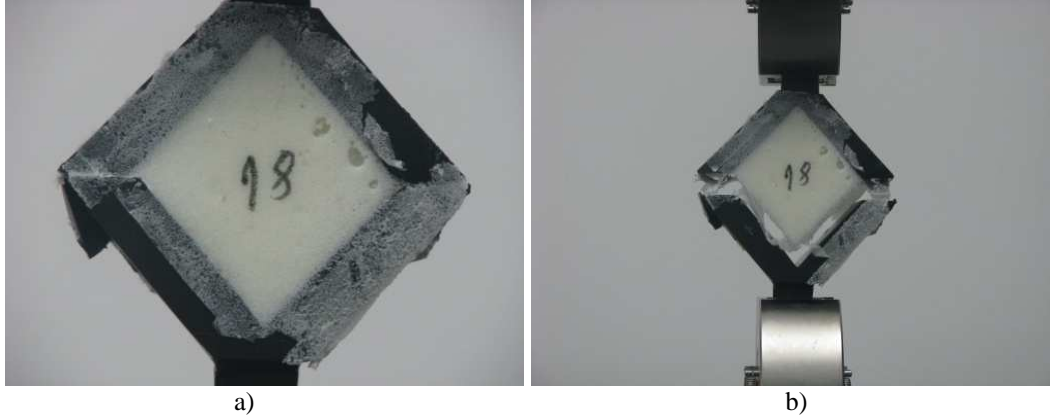
Şekil 6.46' da PTFE (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.46. PTFE (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği

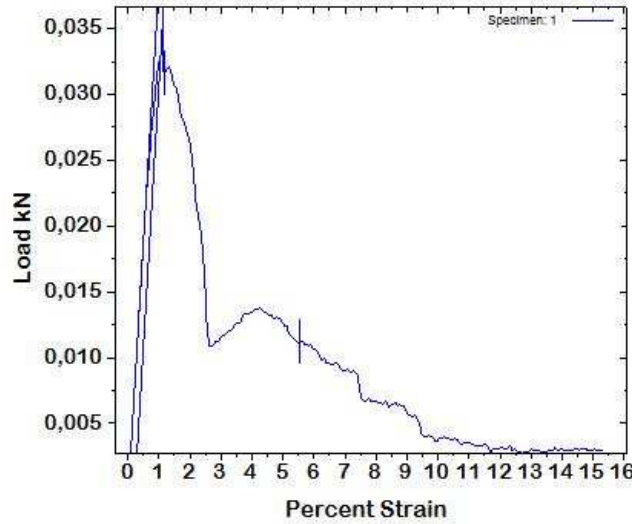
Şekil 6.46' daki yük-yüzde uzama grafiği incelendiğinde maksimum yük 0.052 kN olarak belirlenmektedir. PTFE (1) kaplanmış kalıp yüzeyi, kumlanmış ve işlem görmemiş yüzeylere göre çok daha az bir yapışma göstermektedir.

Şekil 6.47' de PU dökümü yapılan PTFE (2) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.47. PTFE (2) kaplı kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

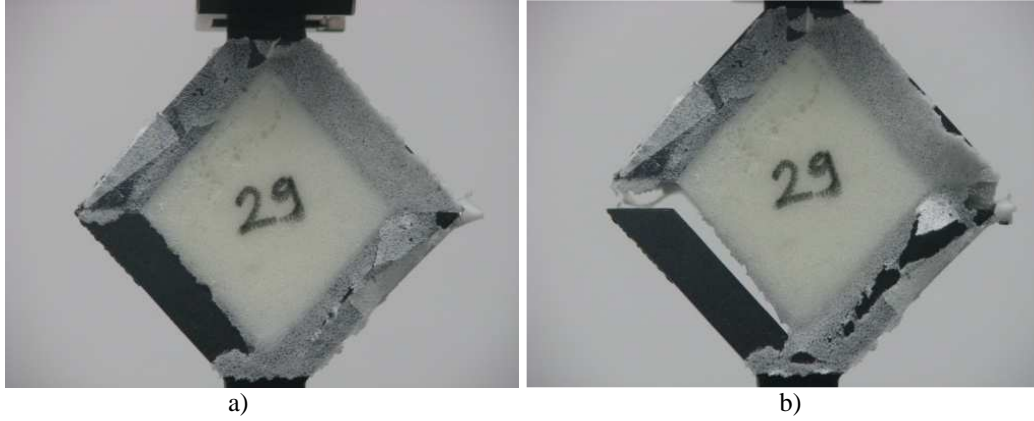
Şekil 6.48' de PTFE (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.48. PTFE (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği

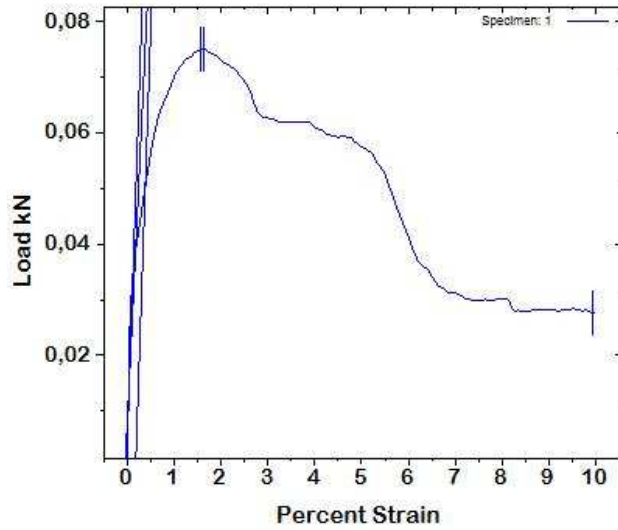
Şekil 6.48' daki yük-yüzde uzama eğrisi incelendiğinde maksimum yük 0.033 kN olduğu görülmektedir.

Şekil 6.49' da PU dökümü yapılan PTFE (3) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.49. PTFE (3) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

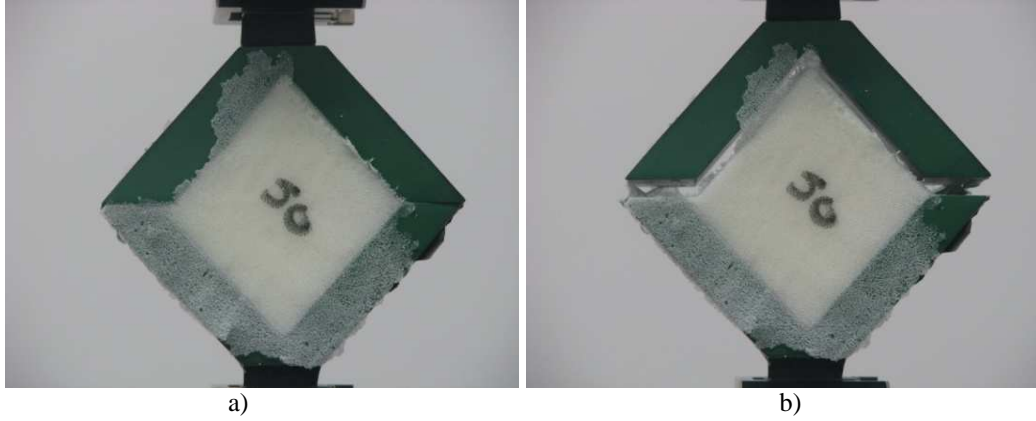
Şekil 6.50' de PTFE (3) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 6.50. PTFE (3) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği

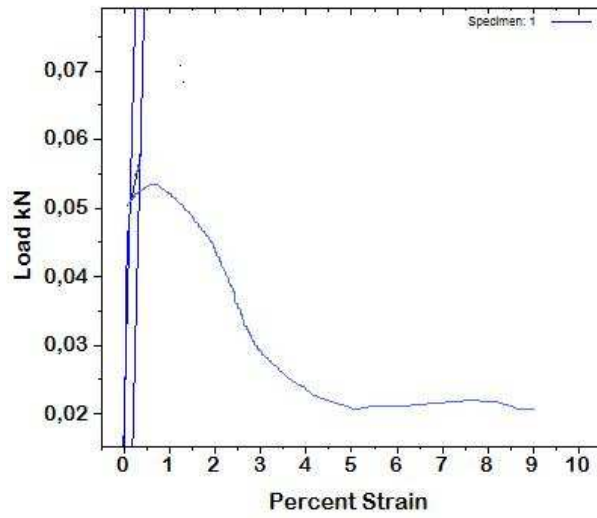
Şekil 6.50' deki yük-yüzde uzama grafiği incelendiğinde maksimum yük 0.075 kN olduğu görülmektedir.

Şekil 6.51' de PU dökümü yapılan FEP (1) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.51. FEP (1) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

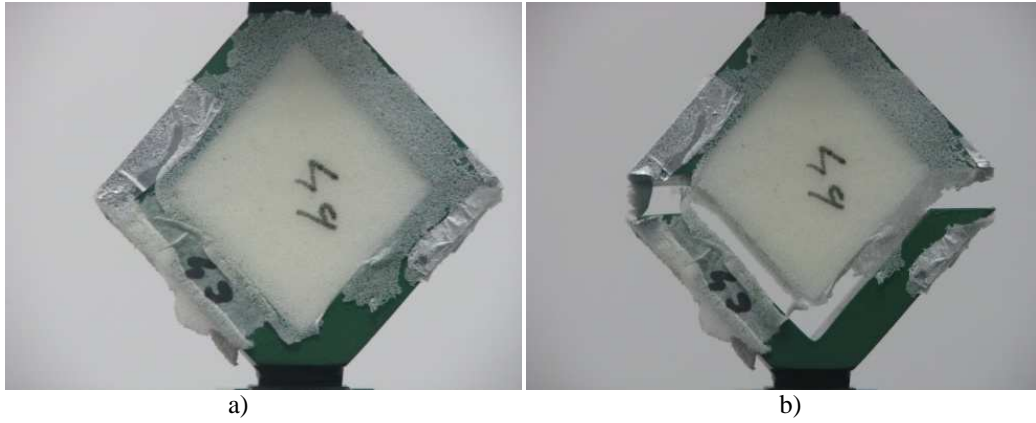
Şekil 6.52' de FEP (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 6.52. FEP (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi

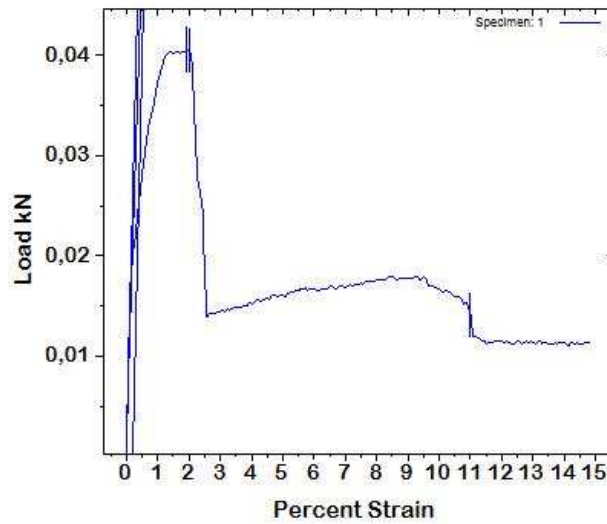
Şekil 6.52' deki yük-yüzde uzama eğrisi incelendiğinde maksimum yük 0.053 kN olarak belirlenmektedir. Kopma sonrası kalıp yüzeyi incelendiğinde herhangi bir PU sünger kalıntısı görülmemektedir ve yüzey temizdir.

Şekil 6.53' de PU dökümü yapılan FEP (2) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.53. FEP (2) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

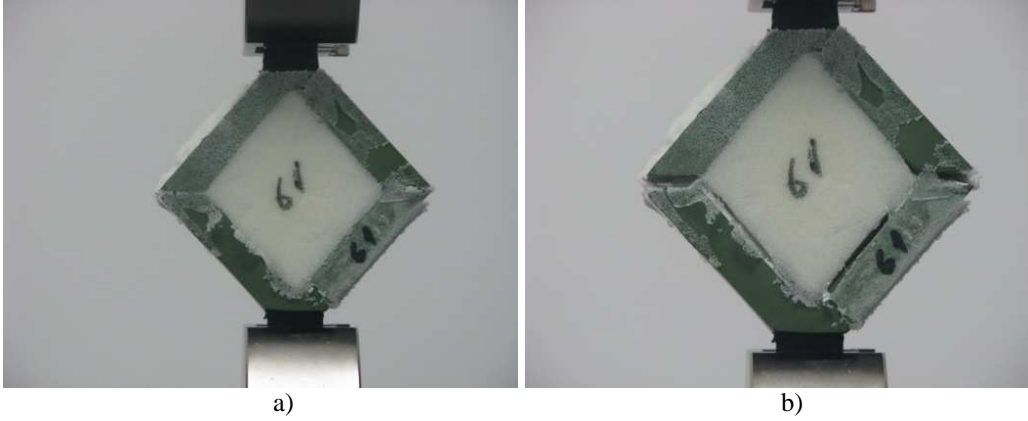
Şekil 6.54' de FEP (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 6.54. FEP (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği

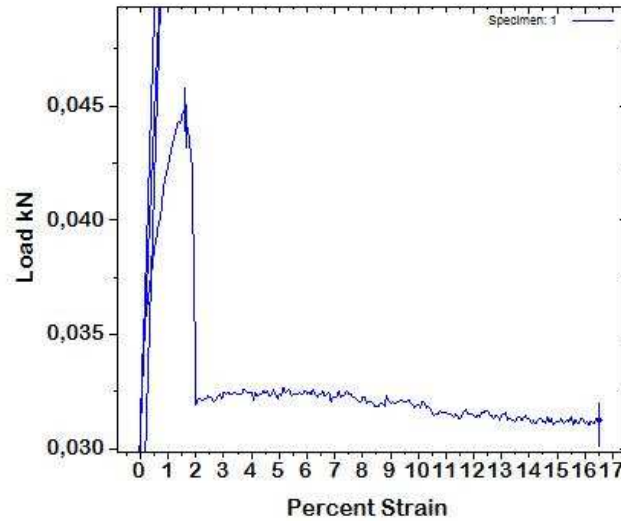
Şekil 6.54' deki yük-yüzde uzama eğrisi incelendiğinde maksimum yük 0,052 kN olarak belirlenmektedir.

Şekil 6.55' de PU dökümü yapılan PFA (1) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.55. PFA (1) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

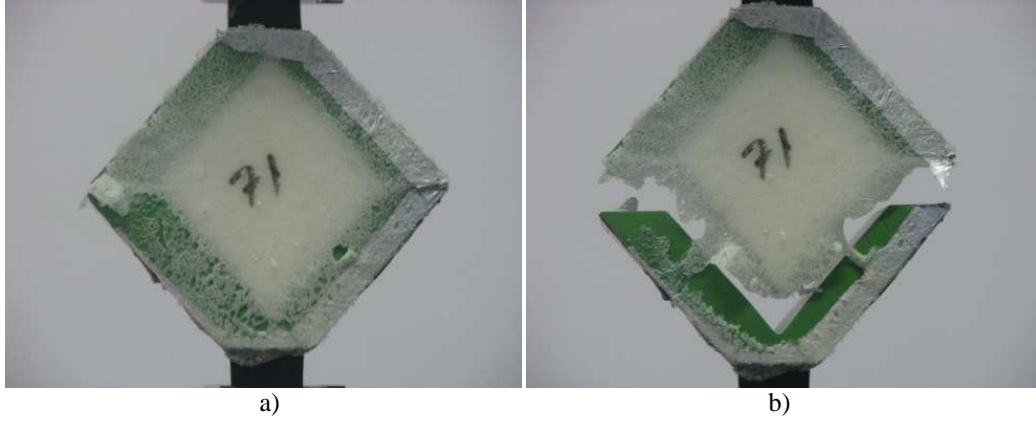
Şekil 6.56' da PFA (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği verilmektedir.



Şekil 6.56. PFA (1) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi

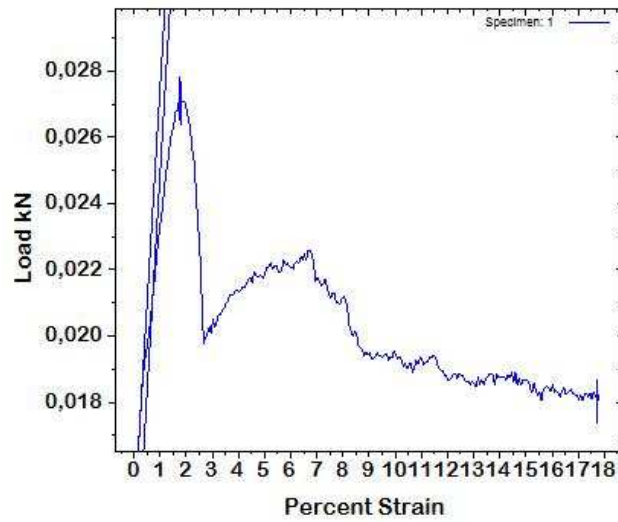
Şekil 6.56' deki yük-yüzde uzama eğrisi incelendiğinde maksimum yük 0.045 kN olarak belirlenmektedir.

Şekil 6.57' de PU dökümü yapılan PFA (2) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.57. PFA (2) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

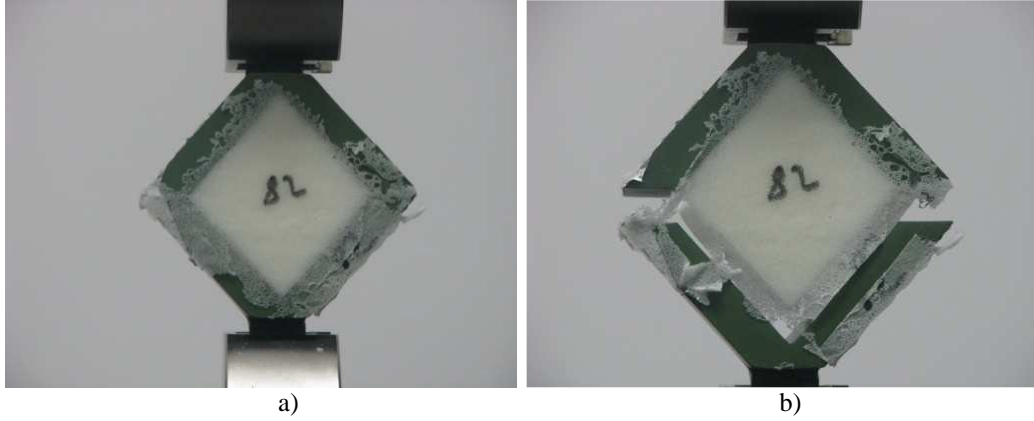
Şekil 6.58' de PFA (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.58. PFA (2) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi

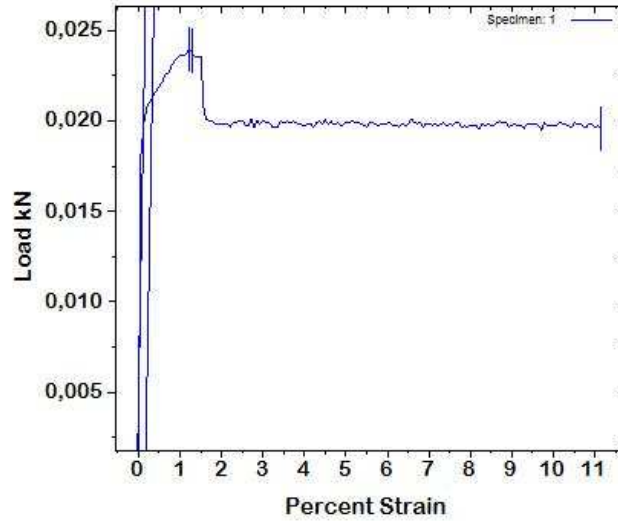
Şekil 6.58' deki yük-yüzde uzama eğrisi incelendiğinde maksimum yük 0.027 kN olarak belirlenmektedir.

Şekil 6.59' da PU dökümü yapılan PFA (3) kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.59. PFA (3) kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

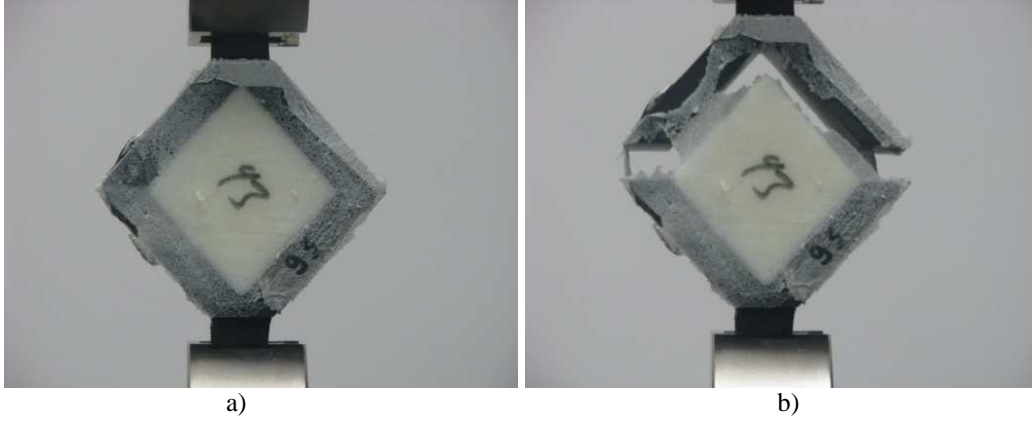
Şekil 6.60' da PFA (3) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.60. PFA (3) kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi

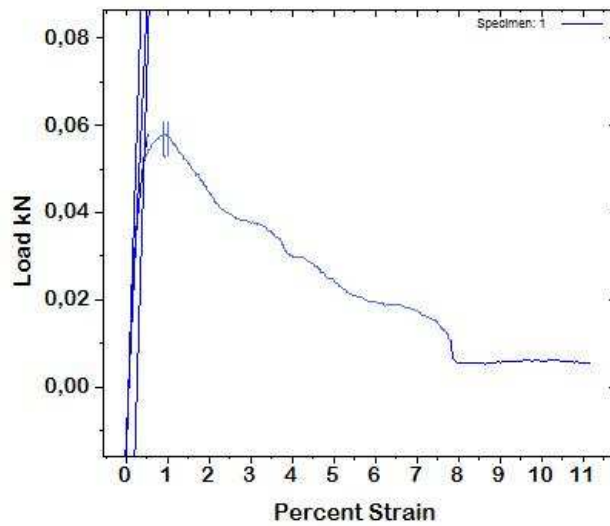
Şekil 6.60' deki yük-yüzde uzama eğrisi incelendiğinde maksimum yük 0.028 kN olarak belirlenmektedir.

Şekil 6.61' de PU dökümü yapılan ETFE kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.61. ETFE kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

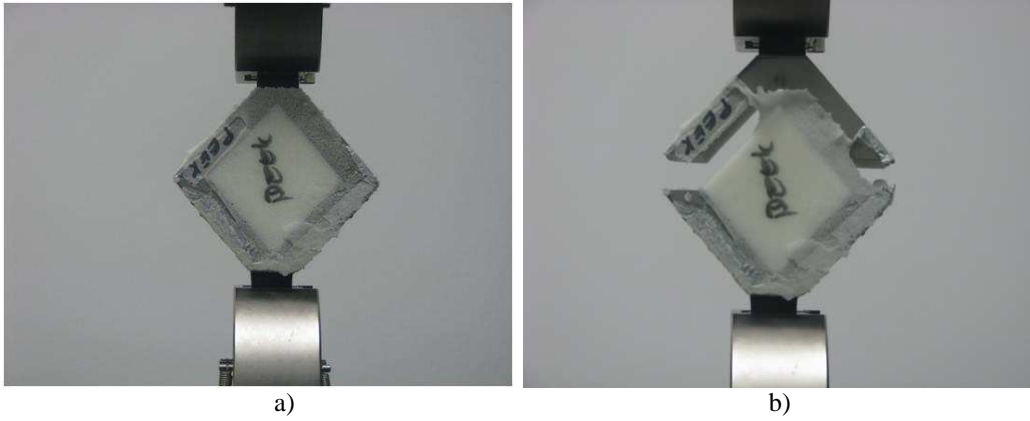
Şekil 6.62' de ETFE kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.62. ETFE kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama grafiği

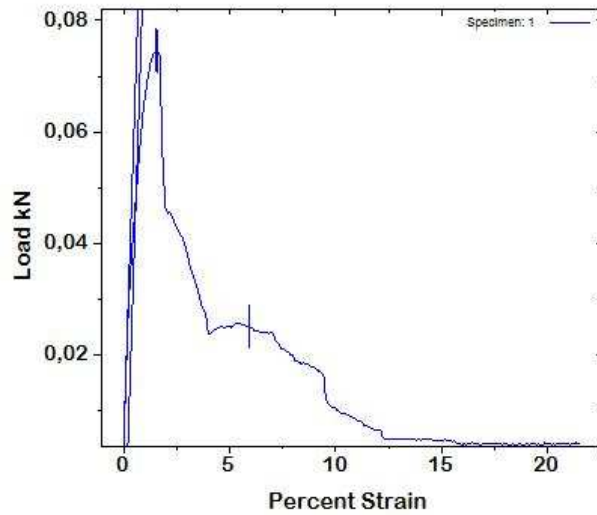
Şekil 6.62' deki yük-yüzde uzama grafiği incelendiğinde maksimum yük 0.055 kN olarak belirlenmektedir.

Şekil 6.63' de PU dökümü yapılan PEEK/PTFE kalıp numunesinin çekme testi öncesi ve sonrası görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.63. PEEK/PTFE kalıp numunesi çekme testi görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası

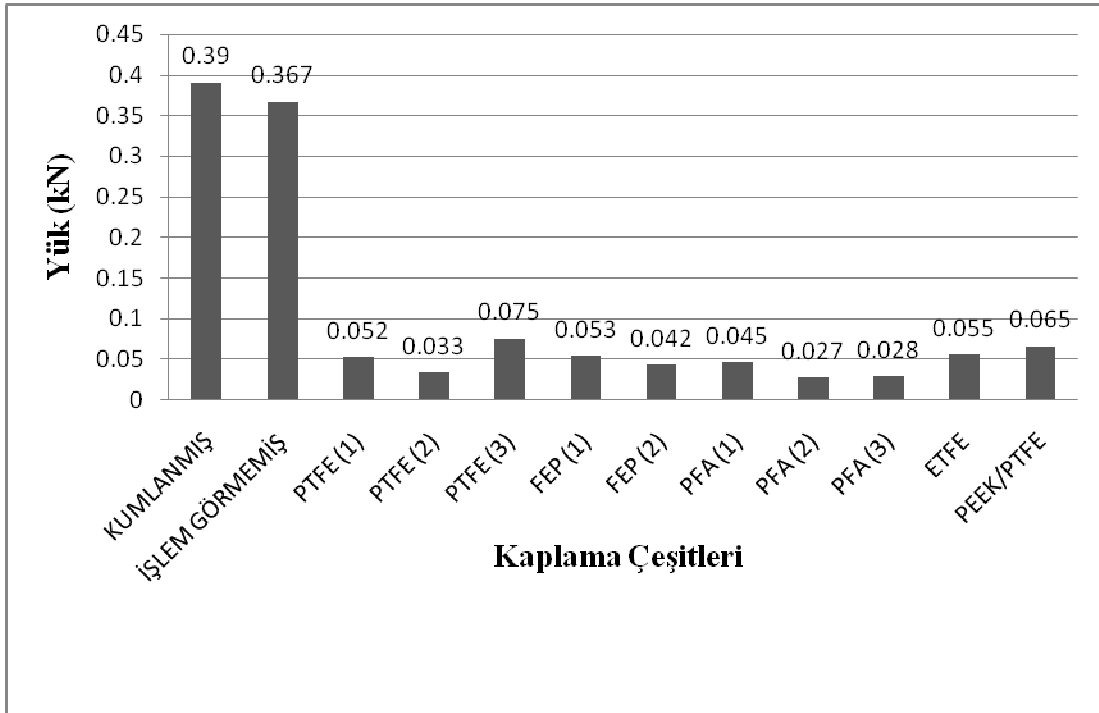
Şekil 6.64' de PEEK/PTFE kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük-yüzde uzama eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.64. PEEK/PTFE kaplı numune için çekme testi sonrası elde edilen yük- yüzde uzama eğrisi

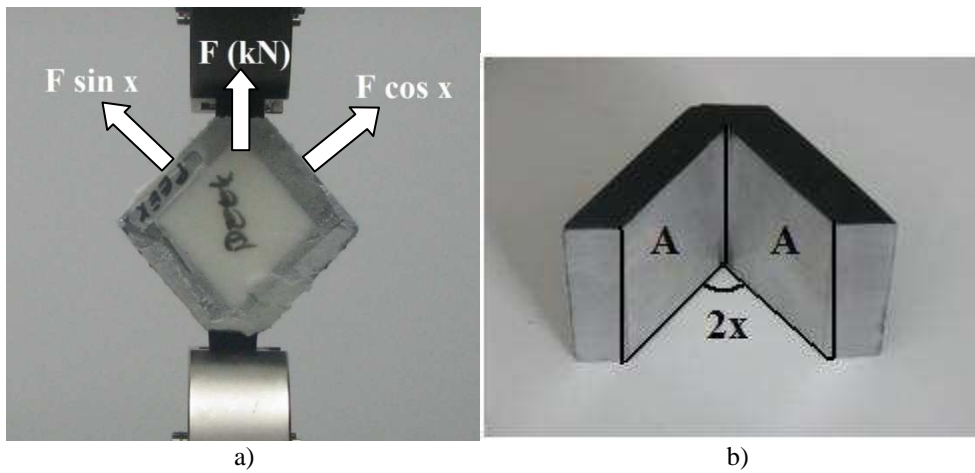
Şekil 6.64' deki yük-yüzde uzama eğrisi incelendiğinde maksimum yük 0.065 kN olarak belirlenmektedir.

Şekil 6.65' de kumlanmış, işlem görmemiş ve bütün kaplamaların yük (kN) değerleri sütun grafik halinde verilmektedir.



Şekil 6.65. Kumlanmış, işlem görmemiş ve bütün kaplamaların yük (kN) değerleri sütun grafiği

Şekil 6.65 incelendiğinde bütün kaplamaların, kumlanmış ve işlem görmemiş yüzeylere göre çok az daha bir yapışma gösterdiği görülmektedir. En fazla yapışma değerini 0.39 kN ile kumlanmış yüzeye aittir. En düşük yapışma değerini ise 0.027 kN ile PFA (2) kaplaması göstermektedir. Şekil 6.66' da kalıp numunesi üzerinde oluşan kuvvetler ve yüzey alanı verilmektedir.



Şekil 6.66. Kalıp numunesi üzerinde oluşan kuvvetler ve yüzey alanı a) kuvvetler b) yüzey alanı

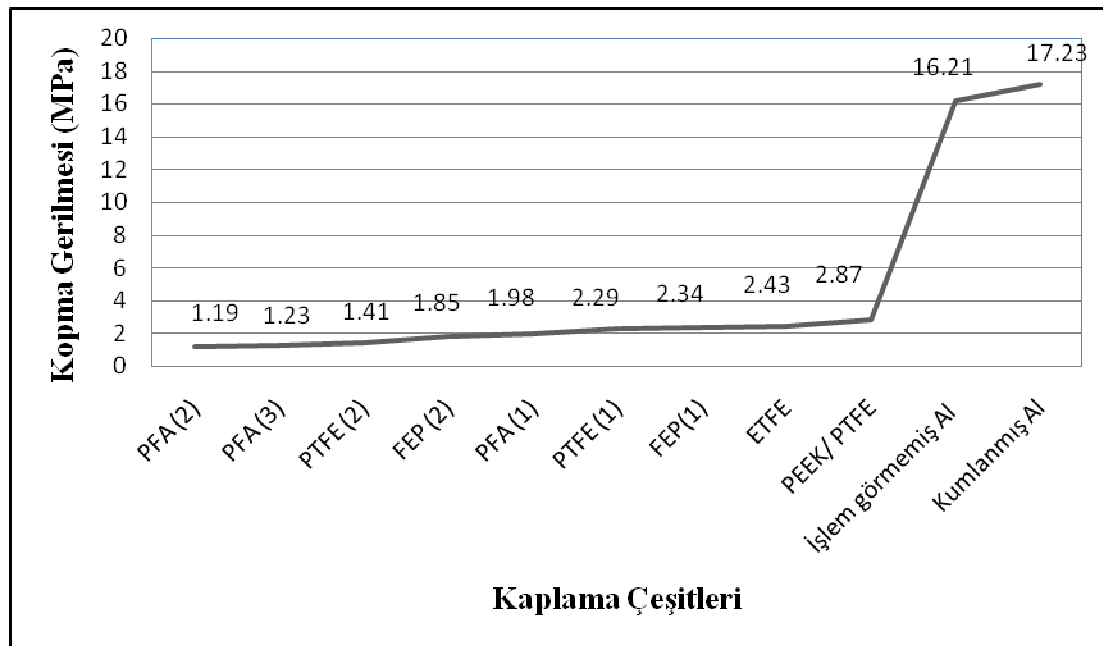
$$2x = 90^\circ \quad A = 32 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kopma gerilmesi} \Rightarrow \sigma = \frac{F \cos x}{A} + \frac{F \sin x}{A} \quad (6.1)$$

Tablo 6.3' de kumlanmış Al, işlem görmemiş Al ve kaplamaların kopma gerilmesi değerleri verilmektedir. Şekil 6.67' de bu değerler grafik halinde gösterilmektedir.

Tablo 6.4. Kumlanmış Al, işlem görmemiş Al ve kaplamaların kopma gerilmesi değerleri

Numune	Kopma Gerilmesi (MPa)	Numune	Kopma Gerilmesi (MPa)
Kumlanmış Al	17.23	FEP (2)	1.85
İşlem görmemiş Al	16.21	PFA (1)	1.98
PTFE (1)	2.29	PFA (2)	1.19
PTFE (2)	1.41	PFA (3)	1.23
PTFE (3)	3.31	ETFE	2.43
FEP(1)	2.34	PEEK/ PTFE	2.87



Şekil 6.67. Kopma gerilmesi değerleri grafiği

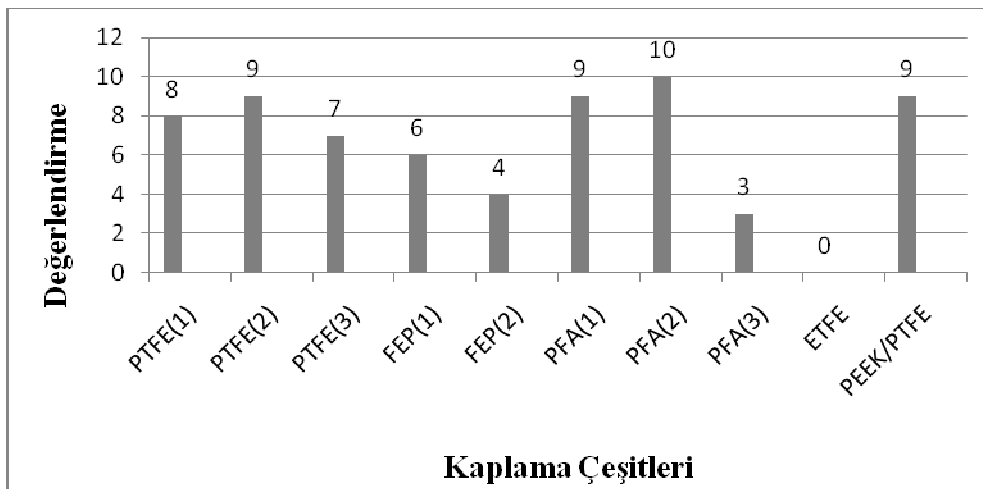
Kopma gerilmesi eğrisi incelendiğinde bütün kaplamaların işlem görmemiş ve kumlanmış yüzeylere göre çok daha az bir gerilme ise PU sünger bıraktığı görülmektedir. Tablo 6.5' te deneysel sonuçlar ve 10 üzerinden kaplamanın uygunluk numaraları verilmektedir.

Tablo 6.5. Deneysel sonuçlar ve 10 üzerinden kaplamaların değerlendirme tablosu

	Astar pür. $R_a(\mu\text{m})$	Kaplama Pür. $R_a(\mu\text{m})$	Kaplama Kalınlığı (μm)	Kontak Açısı (derece)	İzo. kontak Açısı (derece)	Cross cut	PU yapışma (MPa)	Değerlendirme
Sade Al	-	-	-	85	-	-	16.21	-
Kum.	-	-	-	83	-	-	17.23	-
PTFE(1)	1.685	1.211	25.5	103	98	5B	2.29	8
PTFE(2)	1.248	0.985	28.5	105.3	100.5	5B	1.41	9
PTFE(3)	-	1.469	17	102.5	93	5B	3.31	7
FEP(1)	1.258	1.960	56.5	102.1	95.2	5B	2.34	6
FEP(2)	-	0.667	21	94.3	89.7	5B	1.85	4
PFA(1)	2.815	1.787	55.25	102.5	101.2	5B	1.98	9
PFA(2)	1.760	0.285	49.23	107.1	102.8	5B	1.19	10
PFA(3)	2.815	0.507	64.5	104.7	85.6	5B	1.23	3
ETFE	2.990	3.601	90	99.2	83.2	3B	2.43	0
PEEK/PTFE	-	1.000	53.25	101.6	98.2	5B	2.87	9

* 0' dan, 10 doğru kaplamanın uygunluğu artmaktadır.

Yapılan tüm deneysel çalışmalar sonucu kaplamalara 0 ile 10 arasında bir uygunluk numarası verilmiştir. PFA(2) kaplama, düşük yüzey pürüzlülüğü, yüksek ıslatma açısı değeri, izosiyanat dayanımı ve PU ile gösterdiği düşük yapışma değerinden dolayı 10 olarak en yüksek performansı gösteren kaplamadır. ETFE kaplama ise gerek adezyon testlerindeki yetersizliği, gerekse ıslatma açısı ölçümleri sonucu 0 değerini alarak en zayıf kaplama olmuştur. Tablo 6.5' de görülen pürüzlülük, kontak açısı ölçümleri ve PU yapışma değerleri incelenerek Şekil 6.68' de kaplamaların değerlendirme sonuçları sütun grafik halinde verilmektedir.



Şekil 6.68. Kaplama çeşitlerine göre değerlendirme sonuçları grafiği

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar

1. PU' nın Al altlığına bağlanma mekanizması uyarınca arayüzeyde hem kimyasal hem de mekanik bağlanmaların varlığı literatürde bahsedilmektedir (Bkz. Şekil 3.5). Üretilen tüm polimerik kaplamalar ile Al yüzey dış ortamdan izole edilerek kimyasal bağlanma elimine edilmektedir. Dolayısıyla PU ile polimerik kaplanmış yüzeylerin yapışma mekanizması mekanik bağlanma ile açıklanabilir. Bu arada dikkat edilmesi gereken husus, PU bileşenlerinin polimerik kaplamaya vermiş olduğu korozif hasardır. Buna bağlı olarak yüzeyin yapışma özelliği hasara bağlı azalmaktadır. Kullanılmakta olan Al kalıpların yüzeyleri incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün fazla olduğu ve yüzeyde dökümden kaynaklanan porozitelerin varlığı gözlenmektedir. Bu iki problemin ortadan kaldırılması bile yüzeylere yapışmazlık özelliğinin kazandırılmasına yardımcı olmaktadır.

2. Kaplamalar, üretim proseslerine göre toz ve sıvı formda kullanılmışlardır. Bunlardan toz formunda olan kaplamaların, ortalama kalınlık değerleri; PFA(1) 55.25 µm, PFA (2) 49.23 µm, PFA(3) 64.5 µm ve ETFE 90 µm'dir. Sıvı formda olan kaplamaların ise PTFE(1) 25.5 µm, PTFE(2) 28.5 µm, PTFE(3) 17 µm, FEP (1) 56.5 µm, FEP(2) 21 µm ve PEEK/PTFE 53.25 µm'dir. Toz kaplamalardan biri olan ve elektrostatik toz püskürtme yöntemi kullanılarak üretilen ETFE kaplama en yüksek, sıvı spreylendirme yöntemi kullanılarak üretilen ve tek kat olan PTFE(3) kaplama en düşük kaplama kalınlığı değerine sahiptir. Genel olarak toz kaplamaların kalınlık değerlerinin spreylendirme yöntemine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna karşılık sıvı formda bulunan FEP(1) kaplama, bir tabaka astar ve üst üste uygulanan iki son kat kaplamadan meydana gelmektedir. Kalınlık olarak FEP(1) toz formdaki kaplamaların kalınlık değerlerine yakın bir değerdedir.

3. Pürüzlülük ölçümleri sırasıyla; işlem görmemiş, kumlanmış, astarlanmış ve kaplanmış yüzeyler üzerinden alınmıştır. Döküm yapıldıktan sonra, işlem görmemiş Al yüzeyin pürüzlülük değeri 0.960 μm , kumlanmış yüzeyin 2.708 μm olduğu ölçülmüştür. Genel olarak, son kat kaplamalar yapıldıktan sonra yüzey pürüzlülüklerinin düştüğü tespit edilmiştir. Sadece, ETFE kaplamanın pürüzlülük ölçüm sonucu 3.601 μm olarak kumlanmış değerden büyük çıkmıştır. Bu ETFE'nin toz formda ve tane boyutunun büyük olmasına dayandırılabilir. Diğer tüm son kat kaplamaların pürüzlülük değerlerinin, kumlanmış ve astarlanmış yüzeylere göre düşük olduğu görülmüştür. Örneğin bunlardan PFA(2), 0.285 μm değeri ile en düşük pürüzlülüğe sahiptir.

4. Yumuşak olmaları sebebiyle serlik ölçümleri sonucu, PEEK/PTFE dışındaki kaplamalardan herhangi bir mikrosertlik değeri elde edilememiştir. PEEK/PTFE kaplamanın ara yüzeyinden ölçülen sertlik değerlerinin 13.2 HV olduğu tespit edilmiştir. PEEK bölgeden alınan sertliklerin ortalaması 20 HV olduğu görülmüştür. Dolayısıyla PEEK bölgelerin, PTFE bölgelerden daha sert olduğu söylenebilir (Bkz. Şekil 6.6).

5. Yapılan stereo mikroskop ve SEM incelemeleri ile kaplamaların kesitten görünüşleri incelenmiştir. SEM mikroyapılarında kaplama kalınlıkları, porozite, delaminasyon, Al, astar ve kaplamaların arayüzeyleri incelenmiştir. İnceleme sonucu, kaplama kalınlıklarının manüel olarak cihaz ile yüzeyden ölçülen değerler ile uyum sağladığı tespit edilmiştir. PTFE(1) kaplama dışındaki diğer kaplamalarda, kaplamanın Al altlık ile iyi bir yapışma gösterdiği, porozite bulundurmadıkları görülmektedir. PTFE(1) kaplamada ise astar kaplamanın Al ile tam olarak birleşmediği ve delaminasyon oluşumu gözlenmiştir. Kumlama hatasında dolayı bazı Al altlıklarda yüksek pik noktaları oluştuğu ve bu nedenle kaplamaların bazı bölgelerde pürüzlü bazı bölgelerde pürüzsüz olduğu görülmektedir.

6. AFM ile yapılan yüzey topografyası analizi sonucu olarak bütün kaplamaların Al yüzeyini kapladığı ve düzgün bir kaplama yüzeyi oluşturduğu görülmektedir. AFM'den 20 x 20 μm lik alandan elde edilen maksimum pik değerleri incelendiğinde;

FEP(1) kaplama 484.1 nm ile en düşük, PEEK/PTFE kaplama ise 5067 nm ile en yüksek pik değerine sahip kaplamadır.

7. Öncelikle, işlem görmemiş döküm Al, kumlanmamış Al, üretilen kaplamaların kontak açısı ölçümleri yapılmıştır. İşlem görmemiş döküm Al 85°, kumlanmış Al 83° bulunurken, üretilen polimerik kaplamalar bu değerlerden daha yüksek kontak açısı sonuçları vermektedir. Buradan kaplamaların, işlem görmemiş döküm Al ve kumlanmış Al' a göre daha yapışmaz yüzey özelliklerine sahip olduğu söylenebilir. Floropolimer kaplamalar arasında en yüksek açı değerini 107.1° ile PFA(2) kaplama, en düşük açı değerini ise 94.3° ile FEP(2) kaplama vermektedir. PEEK/PTFE kaplama ise 101.6° bu iki kaplama arasında bir değere sahiptir.

8. Üretilen kaplamaların kontak açısı ölçümlerinden sonra izosiyanat etkisinin belirlenmesi için numune yüzeyleri korozyona uğratılmıştır. Polimerik kaplamaların tamamı izosiyanat ile muamele edilmiş ve yüzeyler üzerinde açı ölçümleri tekrarlanmıştır. Bekletme sonrası yapılan kontak açısı ölçümlerinde bütün kaplamaların açı değerlerinde bir düşüş görülmektedir. Bu, izosiyanatın korozif bir etki gösterdiğini belirlemektedir. PFA(3) ve ETFE kaplamaların açı değerlerinde sırası ile %18.24 ve %16.12 ile yüksek değerde açı kayıpları görülmüştür. En az açı değişimini %1.26 değeri ile PFA(1) kaplama göstermektedir. Muamele sonrası PFA(2), % 4.3 azalma ile açı 107.1' den 102.8' e düşmesine rağmen kaplamalar arasında en yüksek açı değerine sahiptir. Buda kaplamanın izosiyanat testinden başarı ile geçtiğini ve hala yapışmazlık özelliğini koruduğunu göstermektedir. Bununla birlikte izosiyanatla işlem görmüş kaplamalardan kontak açısı 100° nin üzerinde olanlar; PFA(1) (101.2°), PTFE(2) (100.5°)' dir. Bunların dışındakilerden ıslatma açıları 90-100 derece arasında olanlar sırası ile PEEK/PTFE (98.2°), PTFE(1) (98°), FEP(1) (95.2°), PTFE(3) (93°), 80-90 derece arasında olanlar FEP(2) (89.7°), PFA(3) (85.6°), ETFE (83.2°)' dir.

9. Çekme ile adezyon testi sonrası sadece ETFE' de üst kaplamanın astardan ayrıldığı görülmektedir. Kaplamanın yüzeyde kopmadan sağlam kalan kısmı (adezyon) %50, karşı Al yüzeyde yapıştırıcı tarafından sökülüp kopan kısmı (kohezyon) %50 olarak tespit edilmiştir. Diğer kaplamalarda herhangi bir kohezyon görülmemiştir. Bu

sonuçlar, ETFE dışındaki kaplamaların ASTM C633'e göre adezyon testi açısından uygun olduğunu söylenebilir.

10. Cross-cut testi sonrası ETFE kaplama yüzeyinde oluşturulan kafeslerde kopmalar meydana gelmiş ve adezyon dayanımı için gerekli 5B değerini alamamıştır. ETFE yüzey, ASTM D 3359 standardına göre % 5-15 hasar ile 3B değerini almaktadır. Diğer kaplamaların tümü hasarsız olduklarından % 0 hasar ile 5B değerini almaktadırlar.

11. Kaplama ile PU köpük arasındaki yapışmanın belirlenmesi deneyinde, kumlanmış Al yüzeyde aşırı yapışma olduğu, kumlanmış yüzeyin PU süngerini kopardığı görülmektedir. Bunun nedeni, daha önce Madde 7' de verildiği gibi kumlanmış yüzeyin pürüzlülüğü yüksek, kontak açısı düşük olmasıdır. Dolayısıyla kalıp ve PU arayüzeyinin yapışma mukavemeti, PU'nun kopma gerilmesinden daha yüksektir. PU malzeme, kumlanmış yüzeyden ayrılmamış ve ortadan ikiye ayrılmak suretiyle hasara uğramıştır (Bkz. Şekil 6.41). Diğer açıdan işlem görmemiş Al yüzeyi seri üretimde kullanılan kalıplar ile benzer özellikler taşımaktadır. Daha önce, Bölüm 5' te açıklandığı üzere kalıp seri üretimde kullanılan sünger kalıba benzemesi için 90° açılı olarak üretilmiştir. İşlem görmemiş Al kalıp köşesinde PU'nun, üretimdeki kalıplara benzer şekilde yapıştığı tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 6.43). İşlemi görmemiş Al kalıbın çekme deneyi sırasında PU'nun köşeye yapışarak tüm polimerik kaplamalardan daha fazla % uzama gösterdiği tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 6.44). En az yapışma değerini PFA(2) kaplaması vermektedir. En yüksek yapışma ise ETFE'dedir.

12. Yüzey pürüzlülükleri ve kaplama ile PU köpük arasındaki yapışma sonuçları birlikte yorumlandığında pürüzlülük değeri arttıkça, kaplama ile PU arayüzey arasındaki yapışma mukavemetinin arttığı görülmüştür. PFA(2)'de pürüzlülük değeri 0.285 µm, ETFE de ise 3.601 µm olarak ölçülmüştür. Bu kaplamalara PU'nun yapışma mukavemeti, sırası ile 12 MPa ve 25 MPa'dır.

7.2. Öneriler

1. Farklı proses parametrelerinde (sıcaklık, basınç, tabanca mesafesi, tane boyutu, akım, kurutma/kürleme sıcaklığı ve süresi, altlık pürüzlülüğü vb.) üretilen kaplamaların karakterizasyonu ve yapışma davranışı araştırılabilir.
2. Üretilen kaplamaların aşınma davranışları incelenebilir. PU aşındırıcı olarak kullanılabilir ve kaplamaları aşındırma etkisi araştırılabilir.
3. Bu çalışmada denenmiş olan PEEK/PTFE kaplamasının, farklı katkıları ilavesi ile üretimi, karakterizasyonu ve yapışma davranışı incelenebilir.
4. Kaplamaların, kullanım alanlarına göre farklı çözeltilerde korozyonu (pH değişimlerine göre) incelenebilir.
5. Aşınmaya ve yapışmaya dayanıklı çok katlı kaplamalar üretilebilir ve karakterize edilebilir.
6. PEEK kaplamalar saf olarak ve nano partiküller ilavesi ile üretilmeye çalışılabilir. Karakterizasyonu yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] SEYİDOĞLU, M. Ö., “Poliüretanlar”, Plastik Dergisi, Sayı 95, pp. 126-132 Kasım – Aralık 2007
- [2] ANTHONY, L. A. , “Plastics and The Environment”, Research Triangle Institute, Research Triangle Park, NC, pp.103, 2003
- [3] PLUNKETT, R. J., “The History of Polytetrafluoroethyene: Discovery and Development,” in: High Performance Polymers: Their Origin and Development, Proceed. Symp. Hist. High Perf. Polymers at the ACS Meeting Elsevier, New York, 1987
- [4] CHARLER, H. , “Handbook of Plastics Technologies”, Technology Seminars, Lutherville, Maryland, pp.254, 2006
- [5] CRAWFORD, R. J. , “Plastics Engineering”, Department of Mechanical, Aeronautical and Manufacturing Engineering, The Queen’s University of Belfast, pp. 16-18, 2001
- [6] AKOVALI, G., “Temel ve Uygulamalı Polimer”, ODTÜ yayını, pp.85, Ankara 1984
- [7] LOKENSGARD, E., “Industrial Plastics Theory and Applications”, Eastern Michigan University, pp.186, Michigan, 2003
- [8] <http://www.rimmolding.com/> 22.03.2008
- [9] SAÇAK, M., “Polimer Teknolojisi”, Gazi kitabevi, pp.89-90, 2005
- [10] <http://www.creativeurethanes.com/reactioninjectionmoldingrim.html> 13.01.2008
- [11] http://www.premoldcorp.com/pdfs/design_guide.pdf 10.12.2007
- [12] <http://premoldcorp.com/process.php> 25.11.2007
- [13] <http://www.pfa.org/intouch/pdf/ntouch61.pdf> 25.04.2008
- [14] ANIK, E.S., VAROL, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000

- [15] TABAN, E., KALUÇ, E., “Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Endüstriyel Kullanım Alanları”, Metal Dünyası, Şubat 2005
- [16] SHASBESTARI, S.D., SHAHRI, F., “Influence of Modification, Solidification Conditions and Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of A356 Aluminium Alloys”, Kuluwer Academic Publisher, pp. 2023, 2004
- [17] OLIVER, D., DRINAN, J., ”Why Aluminium”, Society of Plastics Engineers, pp.69-76, 2000
- [18] JUHL, A. D., “Aluminium moulds for polyurethane (PU) castings”, AluConsult Ingolfs Alle 9 DK-2300 KBH S, pp. 1-4, 2005
- [19] “Automobile seats”,<http://flammable.legalview.com/wikipedia/Polyurethane>, 15.03.2008
- [20] DEAN, J. F., “Lange’s Handbook of Chemistry”, 13 th ed., McGraw-Hill, New York, pp.169, 1985
- [21] NEIL, H., CANDICE, M., “Investigation and modelling of release behaviour of polymer moulds for polyurethane foam moulding”, The Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Loughborough University, pp. 1-4, 2004
- [22] RAFF, R.A.V., SHARN, A.M., “Adhesion at polypropylene-cellophane interfaces”, Polymer Engineering and Science, Appl J., Volume 17, Issue 7, pp.456 – 461, 2004
- [23] CHAKRABORTY, A.K., DAVIS, H.T., TIRELI, M., J. Polym. Sci., Polym. Chem., 3185, pp. 28, 1990
- [24] LAY, D.G., Cranley P., Adhesives Age, May, 6 (1994)
- [25] KNOWLES, K. M., “Surface Engineering”, Natural Sciences Tripos, Part III, University of Cambridge Department of Materials Science and Metallurgy, Michaelmas Term, 2007
- [26] Teflon AF, www.dupont.com/Teflon/AF, 2003.
- [27] http://www.zeusinc.com/pdf/Zeus_introduction_fluoropolymers.pdf
27.04.2007
- [28] LAURENCE, W.M.,” Fluorinated Coatings and Finishes Handbook”, The Definitive User’s Guide and Databook, Sina Ebnesajjad PDL Series Editor, pp.3-10, 2006

- [29] AKINCI, A., AKBULUT, H. VE YILMAZ, F., “Floropolimer (Teflon) Kaplamaların Yapı ve Özellikleri”, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, sayı 133, yıl 17, pp. 2-5, Mayıs 2003
- [30] ATASOY, C., “Endüstride PTFE kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, , pp. 24, İstanbul 1993
- [31] Teflon, Nonstick & Industrial Coatings, Selecting DuPont Teflon Coatings
- [32] PADDAY, J. F., “Surface and colloid Science”, Vol. 1, Ed., pp. 39-55, New York, 1969
- [33] ASTM C 633, ” Standard Test Method for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings”.
- [34] ASTM D 3359-08,” Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test”.
- [35] YAN, CHEN, ZIQIANG, ZHAO, JUNFENG, DAI, YINGMIN, LIU, “Topological and chemical investigation on super-hydrophobicity of PTFE surface caused by ion irradiation”, Applied Surface Science, Volume 254, pp. 464–467, 2007,
- [36] E. LEIVO, T. WILENIUS, T. KINOS, P. VUORISTO, T. MANTYLA, “Properties of thermally sprayed fluoropolymer PVDF, ECTFE, PFA and FEP coatings”, Progress in Organic Coatings, Volume 49, pp. 69–73, 2004
- [37] G.W. CRITCHLOW, R.E. LITCHFIELD, I. SUTHERLAND, D.B. GRANDY, S. WILSON, “A review and comparative study of release coatings for optimized adhesion in resin transfer moulding applications”, International Journal of Adhesion & Adhesives, Volume 26 pp. 577–599, 2006
- [38] S. VEERAMASUNENI, J. DRELICH, J. D. MILLER, G. YAMAUCHI, “Hydrophobicity of ion- plated PTFE coatings”, Progress in Organic Coating, Volume 31, pp. 265- 270, 1997
- [39] E. BURKARTER, C.K. SAUL, F. THOMAZI, N.C. CRUZ, L.S. ROMAN, W.H. SCHREINER, ” Superhydrophobic electrospayed PTFE”, Surface & Coatings Technology, Volume 202, pp.194–198, 2007
- [40] RIYADH, M.A. ABDUL MAJEED, A. DATAR, S.V. BHORASKAR, V.N. BHORASKAR, ” Surface modification of polymers by atomic oxygen using ECR plasma”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Volume 258, pp. 345–351, 2007
- [41] YU, F., MING, H., HONGFENG, X., ZHONGJUN, H., PINGWEN, M., ZHIGANG, SHAO, BAOLIAN Y., “Ag-Polytetrafluoroethylene composite

coating on stainless steel as bipolar plate of proton exchange membrane fuel cell”, *Journal of Power Sources*, Volume 182, pp. 580–584, 2008

- [42] YING CHEN, HAO WANG, CHANGSONG WANG, XIN FENG, XIAOHUA LU, “Wetting Behaviors of Ethanol/Water on Rough PTFE Surface , *Acta physico-chimica sinica*, Volume 23, Issue 8, 2007

- [43] S.A. MAKOHLISO, L. GIOVANGRANDI, D. LE´ONARD, H.J. MATHIEU, M. ILEGEMS, P. AEBISCHER, “Application of Teflon- AF thin films for bio-patterning of neural cell adhesion, *Biosensors & bioelectronics*, , Volume. 13, pp. 1227-1235, 1998

ÖZGEÇMİŞ

Ebutalip ÇOBANOĞLU, 06.05.1984' de İstanbul' da doğdu. İlk ve orta dereceli eğitimini, Zübeyde Hanım İlköğretim Okulunda tamamladı. 2001 yılında Ümraniye Lisesinden mezun oldu. 2002 yılında kazandığı Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü 2006 yılında bitirdi. Yüksek lisans eğitimi süresince TÜBİTAK-TİDEB projesinde araştırma faaliyetlerine yardımcı olan Ebutalip ÇOBANOĞLU' nun yurtiçi dergilerde yayınları bulunmaktadır. Yüksek Lisans çalışmasında, ülkemizde faaliyet gösteren Toyota Boshoku Türkiye A.Ş. şirketinin üretim problemlerinden birini çözmeye çalışmıştır. Halen Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü müdürlüğü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrencisidir.