

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**VOLLASTONİT DOLGULU POLİAMİTİN KROM KAPLAMA
SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE TERMAL ÇEVİRİM
DAYANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

HAKAN YAZICI

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VOLLASTONİT DOLGULU POLİAMİTİN KROM KAPLAMA
SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE TERMAL ÇEVİRİM
DAYANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

HAKAN YAZICI

Dr. Öğr. Üyesi R. Gültekin AKAY
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Güralp ÖZKOÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İlke ANAÇ
Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 05.02.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çalışmalarımın her aşamasında bilgisinden ve tecrübelerinden yararlandığım hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ramiz Gültekin Akay’a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı hazırlarken geçirdiğim süreçte benden yardımlarını esirgemeyen DURDEN A.Ş mesai arkadaşlarıma ve yönetimine teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim süresince yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen sevgili eşim Emine YAZICI’ ya teşekkür ederim.

Ve son olarak, çalışmalarım sırasında beni her konuda destekleyip yardımlarını esirgemeyen ve benim için her türlü fedakârlığı yapan anneme ve babama, sonsuz sevgi ve saygılarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat – 2019

Hakan YAZICI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Plastikler	3
1.2. Plastiklerin Yapısı	5
1.3. Plastiklerin Özellikleri.....	6
1.4. Plastiklerin Sınıflandırılması.....	8
1.4.1. Termoplastikler.....	8
1.4.2. Termosetler	16
1.4.3. Elastomerler	17
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	19
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	20
2.2. Takviye Edilmiş Plastikler	21
2.2.1. Vollaſtonit.....	21
2.2.2. Vollaſtonit plastik uygulamaları.....	23
2.3. Plastik Kompozit Malzemelerde Kullanılan Dolgu Maddeleri	25
2.4. Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	29
2.4.1. Ekſtrüzyon üretim yöntemi.....	30
2.4.2. Enjeksiyon üretim yöntemi.....	31
3. PLASTİKLER ÜZERİNE AKIMLI VE AKIMSIZ METAL KAPLAMA.....	34
3.1. Kaplamaya Etki Eden Faktörler	38
3.2. Kaplama Yapabilmek İçin Gerekli Ekipmanlar	40
3.3. Plastiklerin Kaplanması.....	41
3.3.1. ABS plastiklerin metal ile kaplanması.....	42
3.3.2. PA plastiklerin metal ile kaplanması	53
4. MATERYAL VE YÖNTEM	56
4.1. Materyal.....	57
4.1.1. Hammadde	57
4.1.2. Kaplama için polipropilen tank.....	58
4.1.3. Isıtıcı, redresör, ısı sensörü ve hava üfleyici.....	58
4.1.4. Elektro kaplama torbaları.....	59
4.1.5. Bakır ve Nikel anotlar.....	60
4.1.6. Elektrolitik çözeltinin hazırlanması için kimyasallar	60
4.2. Kullanılan Yöntemler	61
4.2.1. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile PA numunelerin hazırlaması	61
4.2.2. PA numunelerinin metalizasyonu.....	62

4.2.2.1. Aşındırma	62
4.2.2.2. Aktivasyon	63
4.2.2.3. Akımsız kaplama	64
4.2.2.4. Asit bakır kaplama	65
4.2.2.5. Nikel (Y. Parlak Ni ve Parlak Ni) kaplama	66
4.3. Karakterizasyon Yöntemleri	68
4.3.1. Termal çevrim dayanım testi	68
4.3.2. Cross – Section	68
4.3.3. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve enerji dağılımlı x-ışını (EDX) analizleri	68
4.3.4. Adezyon bant testi	69
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	72
5.1. Termal Çevrim Dayanım Sonuçları	73
5.2. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını (EDX) Analiz Sonuçları	74
5.2.1. Numune 1 SEM / EDX analiz sonuçları	75
5.2.2. Numune 2 SEM / EDX analiz sonuçları	77
5.2.3. Numune 3 SEM / EDX analiz sonuçları	79
5.2.4. Numune 4 SEM / EDX analiz sonuçları	81
5.2.5. Numune 5 SEM / EDX analiz sonuçları	84
5.2.6. Numune 6 SEM / EDX analiz sonuçları	86
5.2.7. Numune 7 SEM / EDX analiz sonuçları	89
5.2.8. Numune 8 SEM / EDX analiz sonuçları	91
5.2.9. Numune 9 SEM / EDX analiz sonuçları	93
5.2.10. Numune 10 SEM / EDX analiz sonuçları	95
5.3. Adezyon Bant Test Sonuçları	98
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	101
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	106
ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Etilen monomeri	6
Şekil 1.2.	Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması	8
Şekil 1.3.	Doğrusal, dallı, çapraz bağlı polimer yapıları.....	9
Şekil 1.4.	İzotaktik, sindiyotaktik ve ataktik polimer zincirleri.....	10
Şekil 1.5.	Polietilenin zincir konfigürasyonları	11
Şekil 1.6.	Polipropilen için reaksiyon	12
Şekil 1.7.	ABS'nin tekrar yapısı	14
Şekil 1.8.	Naylonların isimlendirilmesi	15
Şekil 1.9.	TPE'ler, kauçukların ve plastiklerin sertlik aralıkları	18
Şekil 2.1.	Vollastonit kristali.....	22
Şekil 2.2.	Ticari bir vollastonitin parçacık morfolojisi (250x).....	23
Şekil 2.3.	Extrüzyon hattı.....	30
Şekil 2.4.	Extrüder parçaları.....	31
Şekil 2.5.	Tipik bir enjeksiyon kalıplama makinesinin ana parçaları	32
Şekil 2.6.	Bir piston tipi enjeksiyon kalıplama makinesinin şematik	33
Şekil 3.1.	Bir elektroliz (kaplama) ünitesi	42
Şekil 3.2.	ABS plastiklerinin kaplanma adımları.....	42
Şekil 3.3.	ABS aşındırma mekanizması.....	43
Şekil 3.4.	P6 Plastikleri elektrokaplama ile ilgili adımlar.....	53
Şekil 3.5.	Araştırma akış şeması	56
Şekil 4.1.	Polipropilen tank.....	58
Şekil 4.2.	Güç kaynağı, termostat, ısıtıcı, hava pompası	59
Şekil 4.3.	Cu ve Ni kaplamada kullanılan elektrokaplama anot torbası	59
Şekil 4.4.	Nikel ve Bakır anotlar	60
Şekil 4.5.	Elektro kaplamada kullanılan kimyasallar.....	61
Şekil 4.6.	PA numunelerin üretilmesinde kullanılan enjeksiyon makinesi.....	61
Şekil 4.7.	Üretilen numune ve eni, boyu, derinliği, et kalınlık ölçüleri.....	62
Şekil 4.8.	Aşındırılmış PA numuneler	63
Şekil 4.9.	Aktivasyon işlemine tabi tutulmuş numuneler	64
Şekil 4.10.	Çapraz kesici ile parça üzerinin çizilmesi.....	79
Şekil 4.11.	Adezyon bant test uygulaması	70
Şekil 4.12.	Adezyon bant test metodu sınıflandırma standartları	71
Şekil 5.1.	Termal çevrim dayanım testi sonrası numuneler	73
Şekil 5.2.	Plastik PA numune aşındırılmamış SEM mikrografi	74
Şekil 5.3.	Plastik PA numune 1'in 15dk aşındırma SEM mikrografi	75
Şekil 5.4.	Metalize PA numune 1'in yan kesit SEM mikrografi	76
Şekil 5.5.	PA numune 1'in EDX analizi	76
Şekil 5.6.	Plastik PA numune 2'in 20dk aşındırma SEM mikrografi	77
Şekil 5.7.	Metalize PA numune 2'in yan kesit SEM mikrografi	78
Şekil 5.8.	PA numune 2'in EDX analizi	78
Şekil 5.9.	Plastik PA numune 3'ün 30dk aşındırma SEM mikrografi	79
Şekil 5.10.	Metalize PA numune 3'ün yan kesit SEM mikrografi.....	80

Şekil 5.11.	PA numune 3'ün EDX analizi	81
Şekil 5.12.	Plastik PA numune 4'ün 300g/L kons.'da aşındırma SEM mikrografı	81
Şekil 5.13.	Metalize PA numune 4'ün yan kesit SEM mikrografı.....	82
Şekil 5.14.	PA numune 4'ün EDX analizi	83
Şekil 5.15.	Plastik PA numune 5'in 350g/L kons.'da aşındırma SEM mikrografı.....	84
Şekil 5.16.	Metalize PA numune 5'in yan kesit SEM mikrografı	85
Şekil 5.17.	PA numune 5'in EDX analizi	86
Şekil 5.18.	Plastik PA numune 6'nın 400g/L kons.'da aşındırma SEM mikrografı	86
Şekil 5.19.	Metalize PA numune 6'nın yan kesit SEM mikrografı	87
Şekil 5.20.	PA numune 6'nın EDX analizi	88
Şekil 5.21.	Plastik PA numune 7'nin aktivasyon sonrası SEM mikrografı.....	89
Şekil 5.22.	Metalize PA numune 7'nin yan kesit SEM mikrografı.....	90
Şekil 5.23.	PA numune 7'nin EDX analizi	91
Şekil 5.24.	Plastik PA numune 8'in aktivasyon sonrası SEM mikrografı	91
Şekil 5.25.	Metalize PA numune 8'in yan kesit SEM mikrografı	92
Şekil 5.26.	PA numune 8'in EDX analizi	93
Şekil 5.27.	Plastik PA numune 1 (a) ve numune 9'un (b) hızlandırıcı sonrası SEM mikrografları.....	93
Şekil 5.28.	Metalize PA numune 9'un yan kesit SEM mikrografı	94
Şekil 5.29.	PA numune 9'un EDX analizi	95
Şekil 5.30.	Plastik PA numune 1 (a) ve numune 10'un (b) hızlandırıcı sonrası SEM mikrografları.....	95
Şekil 5.31.	Metalize PA numune 10'un yan kesit SEM mikrografı.....	96
Şekil 5.32.	PA numune 10'un EDX analiz.....	97
Şekil 5.33.	PA numunelerin adezyon bant test sonuçları.....	98

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Plastik malzemelerin tanıtımı	4
Tablo 1.2.	Ülkelerin tahmini plastik mamül üretimleri(2016).....	5
Tablo 1.3.	Bazı naylonların erime noktası ve nem emme oranları	16
Tablo 1.4.	Poliamid piyasası ve uygulama alanları.....	16
Tablo 2.1.	Vollastonit’ in seçilmiş özelliklerinin bazıları listelenmiştir	23
Tablo 2.2.	Nylon 6/6 üzerine mineral dolgu maddelerinin	25
Tablo 2.3.	Polimer işleme gruplamalarının ana formları	30
Tablo 3.1.	Aşındırma banyosu konsantrasyonları.....	43
Tablo 3.2.	Aktivasyon banyosu kimyasal ve miktarları.....	45
Tablo 3.3.	Asitli bakır kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma koşulları.....	49
Tablo 3.4.	Nikel kaplama banyolarının bileşimleri, çalışma koşulları ve mekanik özellikleri	51
Tablo 3.5.	Krom kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma şartları	52
Tablo 3.6.	PA aşındırma için uygun asitler, konsantrasyonları ve daldırma süreleri	53
Tablo 4.1.	PA6 %40 mineral dolgulu malzemenin özellikleri (Dupont).....	57
Tablo 4.2.	Aşındırma banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri.....	63
Tablo 4.3.	Aktivasyon banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri	64
Tablo 4.4.	Numunelerin aktivasyon banyosuna daldırma süreleri.....	64
Tablo 4.5.	Hızlandırıcı banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri.....	64
Tablo 4.6.	Numunelerin hızlandırıcı banyosuna daldırma süreleri.....	64
Tablo 4.7.	Akımsız Ni banyosu kimyasallar ve bunların bileşimleri.....	65
Tablo 4.8.	Asit bakır banyosu kimyasalları ve bunların bileşimleri	66
Tablo 4.9.	Nikel banyosu kimyasalları ve bunların bileşimleri	67
Tablo 4.10.	Krom banyosu kimyasalları ve bunların bileşimleri.....	67
Tablo 5.1.	Tüm numuneler için kullanılan proses parametreleri	72
Tablo 5.2.	Termal çevrim dayanım test sonuçları.....	74
Tablo 5.3.	Numune 1 proses parametreleri	75
Tablo 5.4.	Numune 2 proses parametreleri	77
Tablo 5.5.	Numune 3 proses parametreleri	79
Tablo 5.6.	Numune 4 proses parametreleri	82
Tablo 5.7.	Numune 5 proses parametreleri	84
Tablo 5.8.	Numune 6 proses parametreleri	87
Tablo 5.9.	Numune 7 proses parametreleri	89
Tablo 5.10.	Numune 8 proses parametreleri	92
Tablo 5.11.	Numune 9 proses parametreleri	94
Tablo 5.12.	Numune 10 proses parametreleri	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μ	: Mikron
$\text{\AA}$	: Angstrom (10^{-10} m)

Kısaltmalar

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
ASTM	: American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
EC	: Electrolytic Copper (Elektrolitik Bakır)
EDX	: Energy Dispersive X-Ray Analysis (Enerji Dağılımlı X-Işını Analizleri)
HCl	: Hidroklorik Asit
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
LDPE	: Low Density Polyethylene (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
MBE	: Molecular Beam Epitaxy (Moleküler Demet Epitaksi)
MPR	: Melt Processable Rubber (Eriyik İşlenebilir Kauçuk)
MRN	: Mineral Reinforced Nylon (Mineral Dolgulu Naylon)
N6	: Naylon 6
PA	: Poliamid
PBT	: Polibütilen Teraftalat
PDO	: Phosphorus De-Oxidized (Fosfor De Oksitlenmiş)
PE	: Polietilen
PMF	: Polymer Molten Filler (Erimiş Polimer Dolgu)
PMMA	: Polimetil metakrilat
POM	: Polioksi metilen
POP	: Plating On Plastic (Plastik Üzeri Kaplama)
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil klorür
SAN	: Stiren-Akrilonitril
SAP	: Solid Anod Particle (Katı Anot Parçacıklar)
SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı elektron mikroskopisi)
T _m	: Erime Sıcaklığı
TPE	: Thermoplastic Elastomer (Termoplastik Elastomer)
TPV	: Thermoplastic Vulcanizates (Termoplastik Vulkanizat)
UHMWPE	: Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen)
V	: Volt
VLDPE	: Very Low Density Polyethylene (Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen)

VOLLASTONİT DOLGULU POLİAMİTİN KROM KAPLAMA SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE TERMAL ÇEVİRİM DAYANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde özellikle dekoratiflik, yüksek korozyon direnci, kimyasal direnç, darbe mukavemeti, termal çevrim dayanım, mükemmel tokluk gibi özellikler kazandırma amacıyla birçok plastik/polimer malzemenin (ABS, PA, PP, PVC, vb.) elektroliz yöntemi ile krom ile kaplanması uygulamaları önem kazanmıştır. Bu kaplamalarda en yaygın olarak kullanılan malzeme ABS'dir. ABS'nin PA'lara göre yüksek darbe dayanımı vardır. Fakat düşük termal çevrim dayanım gibi önemli bir dezavantajı bulunmaktadır. Bu nedenle PA malzemelerin kaplanması için çalışmalar yapılmaktadır. PA'lar yüksek su tutma dezavantajlarından dolayı kil, talk, silika, gibi dolgu malzemeleri eklenerek kaplanabilir hale getirilebilir.

Bu tez çalışmasında PA'nın termal çevrim dayanımını artırabilmek için ticari ismi Minlon 73M40 NC010 %40 Vollastonit Dolgulu PA (Dupont) polimeri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan plakalar enjenksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. PA kaplamanın aşındırma (etching), aktivasyon (paladyum ile), hızlandırıcı (acceleratör) proseslerinde süre ve konsantrasyon parametrelerinin kaplama performansına etkisi incelenmiştir. Termal çevrim dayanım testi uygulanmış krom kaplı PA plakalarının yüzey morfolojileri ve PA alt tabakalarındaki aşındırma (etching), aktivasyon (paladyum ile), hızlandırıcı (accelerator) mikroyapıları; Taramalı Elektron Mikroskopisi ve Enerji Dağılımlı X-Işını analizleri SEM / EDX kullanılarak karakterize edilmiş ve ayrıca cross-cut adezyon testi uygulanarak arayüzey yapışma gücü incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında Vollastonit Dolgulu PA malzemenin krom kaplama sonrası plastik yüzey ile metal tabaka arasındaki yapışmanın ve metal tabakaları arasındaki yapışmanın termal çevrim dayanımını artırmak amaçlanmıştır.

Polimer yüzeyinde oluşturulan metal tabakanın aşındırma süresindeki artışa bağlı olarak termal çevrim dayanımının, süre arttıkça azaldığı belirlenmiştir. Aşındırma çözelti konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak termal çevrim dayanımının, konsantrasyon arttıkça polimerin deformasyona uğrayarak termal çevrim dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Aktivasyon süresindeki artışa bağlı olarak termal çevrim dayanımının, aktivasyon süresi arttıkça termal çevrim dayanımının daha iyi olduğu belirlenmiştir. Hızlandırıcı prosesinde numunenin kalma süresinin artmasıyla yapışmanın ve termal çevrim dayanımının iyileşmediği görülmüştür. Ayrıca aynı numunelerde yapılan cross - cut adezyon testlerinin sonuçlarının da termal çevrim dayanım sonuçlarıyla paralel olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adezyon, Elektroliz, Plastik Üzeri Kaplama, Termal Çevrim Dayanım, Vollastonit Dolgulu Poliamid.

ENHANCMENT OF CHROMIUM COATING WITH WOLLASTONITE FILLED POLYAMID PROCESS AND INVESTIGATION OF ITS THERMAL CYCLING RESISTANCE

ABSTRACT

The chromium coating of plastic/polymer materials (ABS, PA, PP, PVC etc.) through electrolysis method has attracted attention in terms of improvement in aesthetics, corrossions resistance, chemical resistance, impact resistance, thermal cycling resistance and toughness of such materials. The most common base material used among the coating is the ABS. But ABS's has significant disadvantages compared to PA's, such as lesser impact and thermal cycling resistance. Following, research has been done on coating of PA and it has been concluded that the need for composite based plastic materials is present. PA's high water retention disadvantage can be substituted by mixing with fillings such as clay, talc, mica, silica and kaolin and can be coated afterwards.

In this thesis, commercial name Minlon 73M40 NC010 PA (Dupont) with 40% Wollastonite Filling has been used to increase thermal cycling resistance of the PA. The plates used in the research are produced by injection molding method. The research is focused on the effect of time and concentration on coating performance in etching, activation (by palladium) and accelerator processes. The SEM and EDX are used to characterize the chromium coated-thermal cycling resistance test applied PA plate's surface morphologies and the microstructures of etching, activation and accelerator in the PA sub-plates. Additionally, cross-cut adhesion test has been applied to analyse the adhesion power of the interfaces. In this thesis, it is aimed to improve the adhesion of the metal and plastic plates on the chromium coated Wollastonite filled PA, and the thermal cycling resistance of the adhesive and adhesion between the metal plates.

It is found that the thermal cycling resistance of the metal plate on the polymer surface decreased as the time increased, in relation with the increasing wearing time of the said metal plate. The thermal cycling resistance decreased as the polymer deformed in relation with the increase in etching solution's concentration. It is also seen that the thermal cycling resistance improved as the activation time increased. The adhesion and the thermal cycling resistance did not improve as the time in accelerator process increased. Furthermore, the cross – cut adhesion tests on the same samples concluded that the results are in agreement with the other thermal cycling resistance results.

Keywords: Adhesion, Electrolysis, Plating on Plastics, Thermal Cycling Resistance, Wollastonite Filled Polyamid.

GİRİŞ

Son birkaç on yıl boyunca, plastiklerin kullanımı, hafif, dayanıklı, esnek, düşük maliyetli, metal alternatife göre düşük birim maliyet, kolay çoğaltılabilir, modern polimerlerin aşınma direnci gibi en önemli avantajlarının sistematik bir şekilde kullanılmasından dolayı büyük ölçüde artmıştır. Geniş bir uygulama yelpazesinde, metallerin yapı malzemeleri olarak plastiklerle değiştirilmesine yol açan, artan endüstriyel taleplerdir. Otomotiv, uçak, tekstil, sıhhi tesisat ve ev aletleri ile bağlantılı sanayiler, artık metallerin plastiklerle değiştirilmesine yönelik artan taleplere cevap vermek için plastiklerin metaller üzerinde kullanımına yönelmiştir.

Plastikler, üstün özellikler elde etmek için çeşitli dolgu maddeleri / takviyeler ile plastikler karıştırılarak kompozit haline getirilir. Araştırmaların amacı hem plastiklerin hem de metallerin özelliklerini birleştiren plastik-metal kompozitlerin geliştirilmesidir. Bu tür kompozit malzemeler plastik ve metal malzemelerden çok daha iyi bir performansa sahip olur. Endüstride bu proses plastik üzeri kaplama (POP) olarak bilinmektedir. Literatürde plastiklerin darbe mukavemetini ve termal çevrim dayanımını arttırmak için yapılan çalışmaların sayısının az olduğu görülmektedir. Muhtemelen bunun nedeni plastiğin kaplanmasındaki zorluklardan kaynaklanmaktadır. Tüm plastiklerin kaplanabilirliğe sahip olmadığı hatırlanmalıdır. Kaplanabilme özelliklerine sahip ABS, Polyetherimide, Teflon, Polialryleter, Polikarbonat, Polifenilen oksit, Polipropilen, Polysulfone, Polyethersulfone, Polyacetal, Urea formaldehit, Mineral takviyeli naylon (MRN) ve kaplanabilir Fenolik gibi bir grup plastik bulunmaktadır. Her ne kadar bu plastikler kaplanabilse de, piyasaya her zaman ABS'nin hakim olduğu görülmüştür. Şu anda, elektro kaplama ile ilgili uygulamaların % 90'ının malzeme olarak ABS kullandığı tahmin edilmektedir. Ancak, ABS'nin yerini alma potansiyeli olan bir malzeme N6'dır. Ancak, N6 ile ilgili zorluk, suyu kolayca emmesi, bununışme ile sonuçlanması ve ıslak koşullarda fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimlere yol açmasıdır. N6'nın bu dezavantajı elektrolizlemeyi zorlaştırır, fakat bu sorun aşılabılırsa N6, iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip uygun bir malzemedir.

Endüstriyel olarak N6 krom kaplama hatlarında kısmen kaplanabilmektedir. Kapalanabilirliği sağlanabilmesine rağmen özellikle termal çevrim dayanımı çok kötüdür. Bu nedenle hem termal çevrim dayanımı artırmak hemde proses parametrelerinin iyileştirilmesi için bu çalışma yapılmıştır.

Çalışmalar neticesinde proses parametreleri geliştirilerek kaplanabilirlik iyileştirilmiş ve termal çevrim dayanım artmıştır. Bu çalışmada yenilikçi proses parametreleri belirlenmiştir.

N6, higroskopik bir malzemedir, plaka malzemesi olarak kullanılabilmesi için değişen yüzdeler (% 1, % 3 ve % 5) CaSiO_3 ile takviye edilmiştir. Takviyeli N6 materyalleri de elektrolize edilmiş ve mukavemet artırıcı çalışmalara tabi tutulmuştur. Kaplanmış poliamidlerin (PA'ler) mukavemetinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Plastikler

1868’de selüloz nitratin sentezi ile plastik endüstrisinin başlangıcı kabul edilmektedir. Selüloz nitrat, doğal bir polimer olan selülozdan elde edilir. 41 yıl sonra (1909'da) Dr. Leo Hendrick Baekeland'ın; elektrikli demir ve tencere sapları, taşlama diskleri ve elektrik fişleri gibi çeşitli malzemelerin üretimini sağlayacak fenolik formaldehit plastikleri (fenolikler) geliştirmiştir. Bunu diğer polimerler; selüloz asetat (diş fırçaları, taraklar, çatal bıçak takımları, gözlük camı) kare; üre-formaldehit (dügmeler, elektrikli aksesuarlar); poli (vinil klorür) (döşeme, tel ve kablo yalıtımı, duş perdeleri); ve naylon (diş fırçası kılları, çorapları, cerrahi dikişler) 1920'lerde takip etti [1].

Plastiklerin gelişme hızı 1920’lere kadar çok yavaş olmuştur. 1930’larda ve 1940’larda gelişimi kayda değer şekilde hız kazanmıştır [1].

Bununla birlikte, 20. yüzyılın ilk yarısında organik ve fiziksel karakterizasyon yöntemlerindeki gelişmeler, polimerlerin uzun zincirlerden veya kovalent olarak bağlanmış moleküllerden oluştuğuna dair yapısal anlayışının anlaşılmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, Alman kimyager Hermann Staudinger'ın polioksimetilen ve kauçuk ile naylon üzerindeki Amerikan kimyagerler W. T. Carothers'ın klasik çalışması dikkat çekmektedir. Staudinger, ilk olarak, polimerlerin dev moleküller içerdiği teorisini önermiş ve bunları tanımlamak için makro molekül kelimesini kullanmıştır. Carothers naylonu keşfederek, polimerlerin doğasının aydınlatılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Polimerlerin yoğunlaşma veya ilave polimerleri olarak sınıflandırılması günümüzde devam etmektedir. Tablo 1.1 ‘de bazı plastiklerin adı, tanıtım yılları ve bazı uygulamalarının bir listesi verilmiştir [1].

Tablo 1.1. Plastik malzemelerin tanıtımı [1]

Yıl	Malzeme	Uygulama Alanı
1868	Selüloz nitrat	Gözlük Çerçeveleri
1909	Fenol formaldehit	Telefon ahizeleri, düğmeleri, kolları
1919	Kazein	Örgü iğneleri
1926	Alkidler	Elektrik izolatörleri
1927	Selüloz asetat	Diş fırçaları, ambalaj
1927	Poli(vinil klorür)	Yağmurluk, zemin döşeme
1929	Üre-formaldehit	Elektrik anahtarları
1935	Etil selüloz	El feneri kılıfı
1936	Poliakrilonitril	Fırça arkaları, ekranlar
1936	Poli(vinil asetat)	Ampul kaplaması, yapıştırıcılar
1938	Selüloz asetat bütirat	Sulama borusu
1938	Polistiren	Mutfak eşyaları, oyuncaklar
1938	Naylon(poliamid)	Dişliler, lifler, filmler
1938	Poli(vinil asetal)	Güvenlik camı ara tabakası
1939	Poli(viniliden klorür)	Oto koltuk kılıflar, filmler
1939	Melamin-formaldehit	Sofra gereçleri
1942	Polyester(çapraz bağlanabilir)	Tekne gövdesi
1942	Polietilen(düşük yoğunluklu)	Sıkılabilir şişeler
1943	Floropolimer	Kayış tabaka
1943	Silikon	Kauçuk ürünler
1945	Selüloz propiyonat	Otomatik kalem, kurşun kalem
1947	Epoksi	
1948	Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimeri	Radio ve televizyon kabinleri
1949	Allil	Elektrik konnektörleri
1954	Poliüretan	Köpük tamponları
1956	Asetal reçine	Otomotiv parçaları
1957	Polipropilen	Güvenlik kaskları, keçe elyafı
1957	Polikarbonat	Cihaz parçaları
1959	Klorlu polieter	Vanalar ve bağlantı parçaları
1962	Fenoksi reçine	Yapıştırıcılar, kaplamalar
1962	Poliallomer	Yazıcı kasaları
1964	İyonomer reçineler	Deri kılıflar, korniş
1964	Polietilen oksit	Pil kutuları
1964	Poliimid	Rulman, tel kaplamalar
1964	Etilen-vinil asetat	
1965	Polibüten	Filmler
1965	Polisülfon	Elektrik, elektronik parçalar
1970	Termoplastik polyester	Elektrik, elektronik parçalar
1971	Hidroksi akrilatlar	Bağlantı camları
1973	Polibütilen	Borular
1974	Aromatik poliamidler	Yüksek dayanıklı lastik ip
1975	Nitril bariyer reçineleri	Konteyner

Tablo 1.2’den de görüldüğü gibi dünya toplam plastik üretiminin % 25’i Çin tarafından sağlanmaktadır. Türkiye, % 2,7 pay ve 8,9 milyon ton üretimi ile Dünya plastik sektör toplam proses kapasitesi sıralamasında 6. Durumdadır [2].

Tablo 1.2. Ülkelerin tahmini plastik mamül üretimleri (2016) [2]

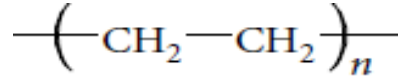
Seçilmiş Ülkeler	Milyon Ton	% Pay
Çin	83,8	25,0
ABD	48,9	14,6
Almanya	17,4	5,2
Hindistan	13,4	4,0
Tayland	10,1	3,0
Türkiye	8,9	2,7
İtalya	8,7	2,6
Brezilya	8,0	2,4
Fransa	7,7	2,3
Polonya	7,4	2,2
Rusya	7,4	2,2
Endonezya	5,0	1,5
Kanada	5,0	1,5
Malezya	4,0	1,2
Diğerleri	99,2	29,6
Toplam	335,0	100,0

1.2. Plastiklerin Yapısı

Plastikler, normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı kullanılarak mekanik yöntemlerle şekillendirilebilen veya kalıplanabilen maddelerdir [4].

Polimerler, bir molekül içinde binlerce veya milyonlarca atom içerebilir; bunlara makro moleküller denir. Polimerler, monomer adı verilen çok sayıda küçük molekülü birleştirerek hazırlanır. Monomerler, genellikle bir çift bağ veya minimum iki aktif fonksiyonel grup içeren basit organik moleküllerdir. Çift bağın veya aktif fonksiyonel grupların mevcudiyeti, bir polimer molekülünün yapılması için tekrar tekrar bir monomer molekülünün eklenmesi için itici güç olarak görev yapar. Monomer moleküllerinin bir polimer molekülüne transformasyon süreci polimerizasyon olarak bilinir.

Örneğin, prototip monomer molekülü olan etilen çok reaktiftir çünkü bir çift bağa sahiptir. Isı, ışık ya da kimyasal maddelerin etkisi altında, bu bağ, etilen moleküllerinin kendiliğinden eklenmesine yönelik bir zincir reaksiyonunun üretildiği, böylece kimyasal bileşimde hemen hemen özdeş olan, yüksek molekül ağırlıklı bir malzemenin üretilmesiyle sonuçlanan polimer polietilendir [4].



Şekil 1.1. Etilenmonomeri [4]

Polimer molekülleri, mer'lerden oluşur. Polimerlerin malzeme olarak kullanılabilmesi için çeşitli yöntemlerle islenmesi gerekmektedir. Polimerler çoğu zaman tek baslarına, saf olarak islenmezler. Polimerler islenirken beraberinde, renklendiriciler, güneş ışığına karşı koruyucular, plastikleştiriciler, kaydırıcılar ve benzeri dolgu malzemeleriyle karıştırılarak, bir ön karışım hazırlanır. Bu karışım “kompound” olarak adlandırılır. Bu karışımlardan çeşitli üretim yöntemleriyle (Plastik Enjeksiyon, Plastik Ekstrüzyon, Şişirme Kalıplama Yöntemi, Isıl Şekillendirme Yöntemi vb.) ürün ve yarı ürün elde edilir. Bu üretim yöntemleriyle elde edilmiş ve son şekli verilmiş ürün “plastik” olarak tanımlanır. Makro molekül yapısı polimerlerde, selefindeki malzemelerde bulunmayan faydalı özellikler ortaya çıkarmıştır [5].

1.3. Plastiklerin Özellikleri

Plastiklerin özellikleri ve çeşitlilikleri çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Plastiklerin başlıca özellikleri şöyle sıralanabilir;

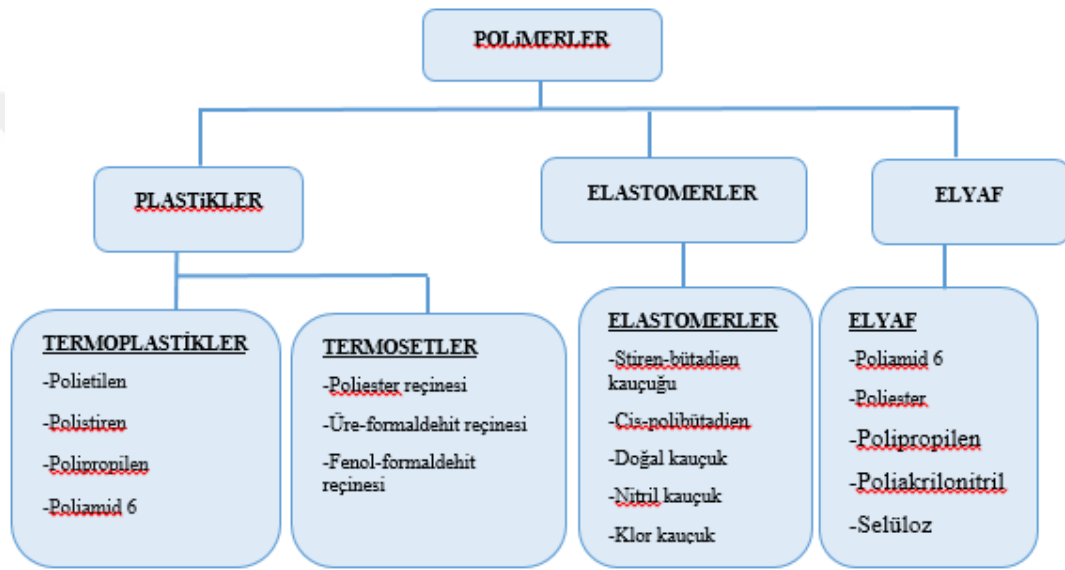
- Kolay şekil verilebilir ve işlenmeleri basittir. Plastikler, metallere göre daha düşük kuvvetler altında şekil değiştirebilirler. İşleme sıcaklıkları 120 °C ile 320 °C arasında değişmektedir. Bu sıcaklıkların düşük değerlerde olması, plastiklerin işlenebilmesi için gerekli enerji miktarının da az olmasını sağlar. Yüksek üretim miktarlarındaki üretime imkân sağlayan otomasyon tekniklerine ve karmaşık yapıları ürünlerin imalatına uygundur.
- Yoğunlukları, 0,8 g/cm³ ile 2,2 g/cm³ arasında değişir. Metallerden ve seramiklerden daha hafiftirler. Düşük yoğunluk değerleri hafif olmalarını sağlarken, ağırlık/dayanım oranının önemli olduğu sistemlerde yüksek dayanıma sahip plastikler, en çok tercih edilen hafif malzeme sınıfı haline gelmiştir.

- İlave edilen katkı malzemeleriyle özellikleri değiştirilebilir. Bu katkı malzemeleri;
- ✓ Malzemenin özelliklerini değiştirmeyen, ekonomik nedenlerle kullanılan mineral ve kalsit gibi dolgu maddeleri.
- ✓ Malzemenin elastisite modülü ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini geliştiren cam elyaf ve karbon elyaf gibi takviye edici dolgu malzemeleri.
- ✓ Malzemenin rengini değiştirmeye yarayan renk pigmentleri.
- ✓ Malzemeye, bazı çalışma özelliklerini ve mekanik özelliklerini değiştirmek üzere katılan yumuşatıcı maddeler.
- ✓ Malzemenin alev direncini artırıp yanıcılığının azaltılması doğrultusunda ilave edilen alev geciktiriciler.
- ✓ Malzemenin bozulmasını engellemek için kullanılan malzemeler.
- Değişken mekanik özelliklere sahiptirler. Metallerden daha düşük çekme dayanımı ve elastisite modülü değerine sahiptirler. Öyle ki; cam elyaf takviyeli plastiklerin çekme dayanımları, en hafif metallerden biri olan alüminyum ile yarışır hale gelmiştir. Günümüzde bazı dolgu malzemeleri kullanılarak metallerden daha yüksek mekanik dayanıma sahip plastikler oluşturulabilmiştir.
- Plastikler ısıyı ve elektriği hemen hemen hiç iletmezler ya da az iletirler. Plastiklerin ısıyı metallere nazaran oldukça az iletmeleri, plastiklerin yalıtım malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Düşük elektrik iletkenlikleri plastikleri elektrik yalıtıcı malzemeler arasına dahil etmiştir. Bazı plastiklerin elektriği iletmesi istenebilir. Plastiğin elektriği iletmesi için karbon siyahı gibi katkı malzemeleri de kullanılabilir.
- Bazı plastikler saydam bir görünüme sahiptirler. Bu özellik plastiklerin gözlük camı, cd, optik disk üretimine uygun kılmaktadır. Saydam görünümlü bu plastik malzemeler camdan daha kolay işlenebilmelerinin yanında oldukça gelişmiş optik ve mekanik özelliklere sahiptirler.
- Plastikler kimyasal maddelere karşı yüksek dirence sahiptir. Plastiklerin atom yapılarının metallerden farklı olması nedeniyle, korozyona karşı metallerden daha fazla direnç gösterirler. Dirençli oldukları kimyasal ortamlar çok olmamasına rağmen plastikler bu özellikleri yardımıyla birçok uygulama alanı kazanmışlardır. Buna ev aletleri, araç yakıtına karşı dayanıklı otomobil parçaları, gıda ve kozmetik sanayinde ambalajlama amacıyla kullanılan plastikler ve asit tankları örnek olarak verilebilir.

➤ Plastiklerin hammadde olarak üretilmesi de selefindeki malzemelere göre (metaller, seramikler ve diğer kompozitler) daha az enerji gerektirmektedir. Bu yüzden plastik üretimi daha ekonomiktir [6].

1.4. Plastiklerin Sınıflandırılması

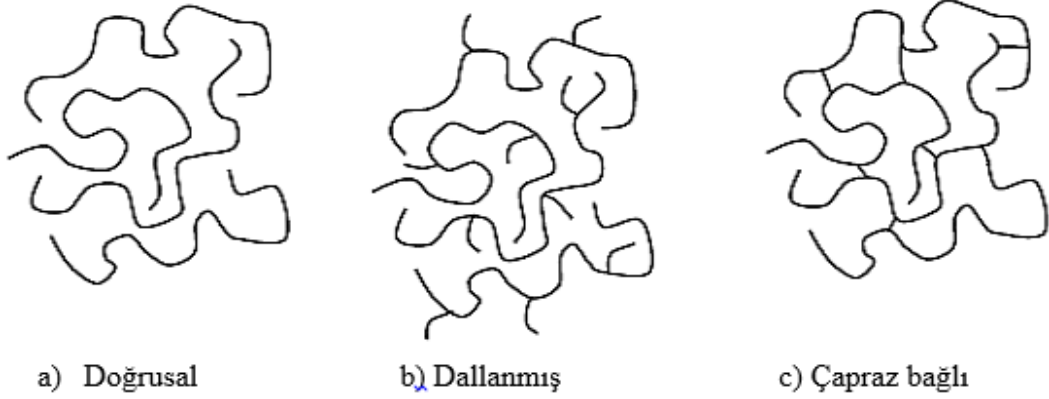
Polimerler kimyasal yapılarına, kaynaklarına, fiziksel özelliklerine ve molekül yapılarına göre sınıflandırılır. Bu çalışmada polimerlerin fiziksel yapılarına göre sınıflandırılması ele alınarak inceleme yapılmıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması [4]

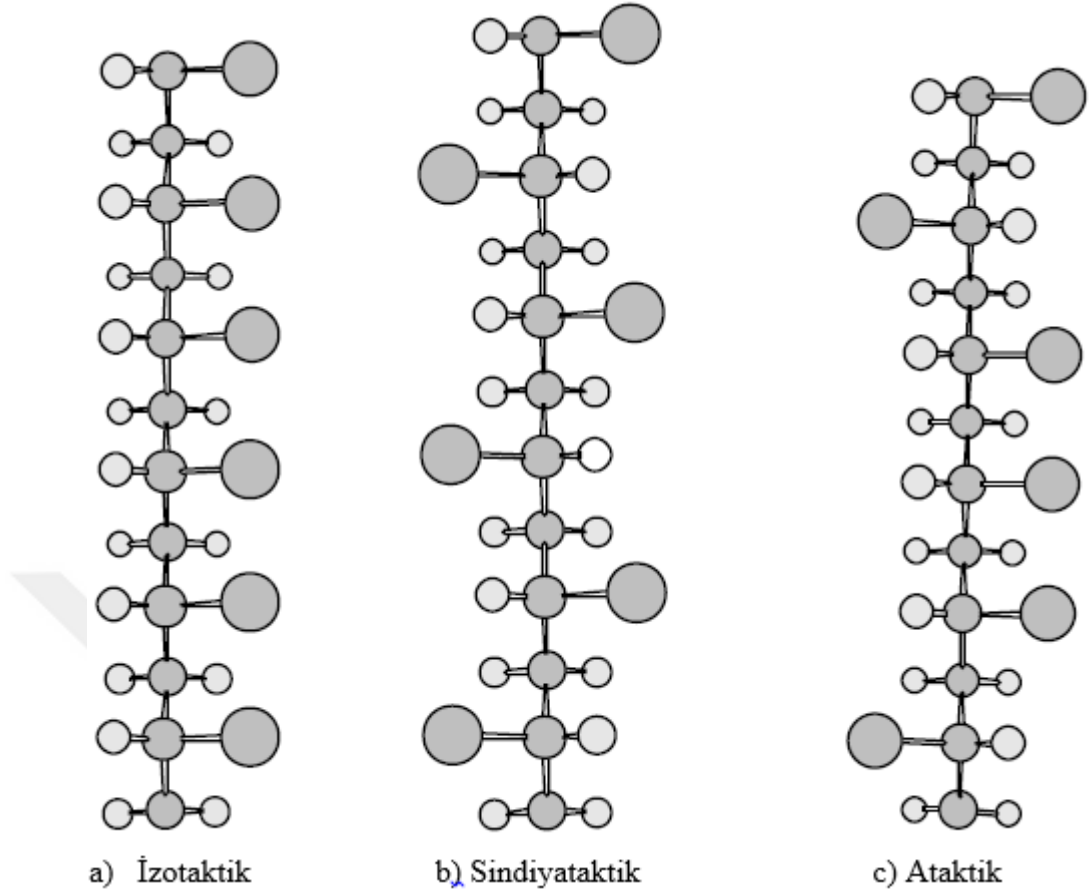
1.4.1. Termoplastikler

Termoplastik bir materyal, çapraz bağlı olmayan yüksek moleküler ağırlıklı bir polimerdir. Bir doğrusal veya dallı yapı içinde bir termoplastik malzeme bulunabilir. Bir termoplastik ısıtıldığında, plastik işleme ekipmanı kullanılarak şekillendirilebilen yüksek derecede viskoz bir sıvı oluşur. Bir termoset, bir ağdaki (çapraz bağlı) kovalent bağlarla birbirine bağlanan tüm zincirlere sahiptir. Bir termoset çapraz bağlandıktan sonra yeniden işlenemez, ancak termoplastik bir malzeme uygun sıcaklığa ısıtılarak yeniden işlenebilir. Farklı yapı tipleri Şekil 1.3 'de gösterilmiştir [7].



Şekil 1.3. Doğrusal, dallı, çapraz bağlı polimer yapıları [7]

Katı biçiminde bir polimer, polimer zincirinin yapısına ve işlem koşullarına bağlı olarak farklı yapılar alabilir. Polimer, şekilsiz bir polimer olarak adlandırılan rastgele bir sırasız yapıda bulunabilir. Bir amorf polimerin bir örneği polistirendir. Polimer omurgasının yapısı düzenli, sıralı bir yapı ise, polimer genellikle yarı kristalin olmakla birlikte, düzenli bir kristal yapıya sıkıca bağlanabilir. Örnekler polietilen ve polipropilendir. Polimer omurganın tam yapı ve ayrıntıları, polimerin kristalleşip gerçekleşmediğini belirleyecektir. Bu mikro yapı farklı sentetik yöntemlerle kontrol edilebilir. Ziegler-Natta katalizörleri, mikro-yapıyı stereospesifik polimerler üretmek üzere kontrol edebilmektedir. Bir vinil polimer için elde edilebilen mikro yapı tipleri, Şekil 1.4. 'de gösterilmiştir. İzotaktik ve sindiyotaktik yapılar, oldukça düzenli omurgaları nedeniyle kristalleşebilir. Ataktik form, şekilsiz bir malzeme üretecektir [7].



Şekil 1.4. İzotaktik, sindiyotaktik ve ataktik polimer zincirleri [7]

En önemli termoplastikler;

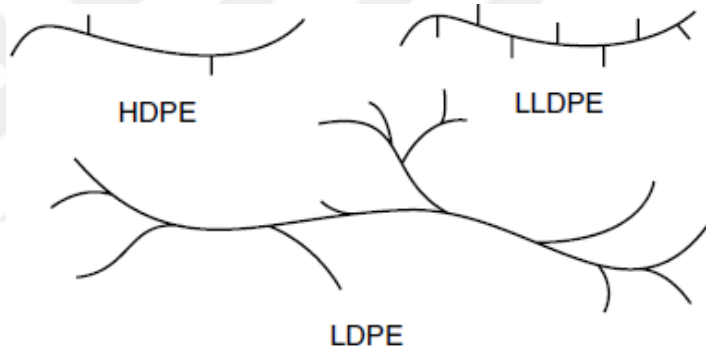
Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polistiren (PS), Polivinilklorit (PVC), Poliamid (PA), Polioksi metilen (POM), Polimetil metakrilat (PMMA), Stiren-Akrilonitril (SAN), Akrilonitril-Butadien-Stiren (ABS) dir [1,8].

Polietilen(PE) : Etilen (PE), dünyadaki en yüksek hacimli polimerdir. Yüksek tokluğu, sünekliği, mükemmel kimyasal direnci, düşük su buharı geçirgenliği ve çok düşük su emilimi, işlenebilme kolaylığı ile birleştiğinde, tüm farklı yoğunluk derecelerinde PE'yi çeşitli mallar için cazip bir seçenek haline getirir. PE, nispeten düşük modüllü, akma gerilmesi ve erime noktası ile sınırlıdır. PE, diğer şeylerin yanı sıra konteyner, şişe, film ve boru yapmak için kullanılır [7].

Yinelenen yapısı, çeşitli etilen polimerizasyon mekanizmalarına göre polimetilen ($(\text{CH}_2)_x$) yerine polietilen olarak yazılan $(\text{CH}_2\text{CH}_2)_x$ ' dir. PE aldatıcı bir sadeliğe sahiptir. PE homopolimerleri sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşur ve aynı

şekilde elmas ve grafit (aynı zamanda tamamen karbon ve hidrojen atomlarından oluşan malzemelerdir) özellikleri muazzam ölçüde değiştiğinden, farklı PE dereceleri belirgin bir şekilde farklı termal ve mekanik özelliklere sahiptir. PE genellikle beyazımsı, yarı saydam bir polimer iken, 0,91 ila 0,97 g/cm³ arasında değişen yoğunluk derecelerinde mevcuttur. Belli bir derecenin yoğunluğu omurganın morfolojisi tarafından yönetilir; Çok az yan dallı uzun, doğrusal zincirler, üç boyutlu olarak kompakt, düzenli, kristal yapıya sahip olabilirler [7].

Ticari olarak temin edilebilir kaliteler: çok düşük yoğunluklu PE (VLDPE), düşük yoğunluklu PE (LDPE), doğrusal düşük yoğunluklu PE (LLDPE), yüksek yoğunluklu PE (HDPE) ve ultra yüksek molekül ağırlıklı PE (UHMWPE). Şekil 1.5, molekül ağırlığı ile birlikte nihai termomekanik özellikleri belirleyen kristalinite derecesini yöneten zincir konfigürasyonundaki figüratif farklılıkları göstermektedir [7].



Şekil 1.5. Polietilenin zincir konfigürasyonları [7]

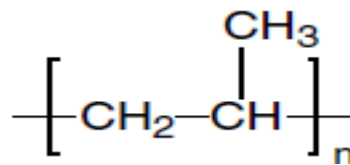
Poli (metil metakrilat) (PMMA): Poli (metil metakrilat) orta derecede mekanik mukavemet ve olağanüstü dış hava koşullarına karşı dayanıklı bir termoplastik malzemedir. İşlenebilen, birleştirilebilen ve çeşitli farklı parçalara ve ekstrüzyonlu enjeksiyonla kalıplama yoluyla geleneksel olarak işlenebilen boncuk formunda oluşturulabilen tabaka, tüpler veya çubuklar olarak temin edilebilir. Sac form malzemesi, herhangi bir inhibitörün uzaklaştırılması, ısıtılması ve serbest radikal polimerizasyonunun başlatılması için bir maddenin eklenmesiyle kısmen önceden polimerize edilen bir monomeri dökerek yerinde polimerize edilir. Bu ajan tipik olarak bir peroksittir [7].

Bu polimer ve monomer karışımı daha sonra tabaka kalıbı içine dökülür ve plakalar bir araya getirilir ve nihai ürünün düzgün kalınlık ve düzlükte olmasını sağlamak için

eğilmeyi önlemek üzere takviye edilir. Bu yığın polimerizasyon işlemi, bu tür yüksek molekül ağırlıklı malzeme tabakayı oluşturur veya çubuk erimeden önce ayrışır. Bu şekilde, bu teknik, enjeksiyon - kalıplama dereceli reçine üretmek için uygun değildir, ancak büyük bir lastikli platoya sahip olan ve bant testere, delme ve diğer ortak makinelere izin vermek için yeterince yüksek bir sıcaklık mukavemetine sahip olan malzemenin üretilmesine yardımcı olur [7].

Süspansiyon polimerizasyonu, tipik eriyik işlemine izin vermek için yeterince düşük moleküler ağırlığa sahip bir son polimer sağlar. Bu işlemde, metil metakrilat monomeri, peroksidin, moleküler ağırlık kontrolüne yardımcı olmak için emülsifiye edici / süspansiyon ajanları, koruyucu kolloidler, kayganlaştırıcılar ve zincir transfer maddeleri ile birlikte ilave edildiği su içinde süspanse edilir. Elde edilen boncuk daha sonra kurutulabilir ve enjeksiyonlu kalıplama için hazırdır veya gerektiği şekilde istenen herhangi bir renklendiriciler, plastikleştiriciler, kauçuk-değiştirici ile daha da karıştırılabilir [9]. Homopolimer oldukça kırılgan olduğundan, PMMA başka bir monomerle (polibütadien gibi) kopolimerizasyon yoluyla sertleştirilebilir veya elastomerik alan yoluyla daha iyi bir stres dağılımı sağlamak için yüksek etkili polistirenin aynı şekilde bir elastomer ile karıştırılabilir [7].

Polipropilen(PP): Polipropilen, dünya çapında 21 milyon pound üzerinde bir talep ile filmlerden fiberlere uygulanan uygulamalarda kullanılan çok yönlü bir polimerdir [7]. Bir hidrojen grubunun bir metil grubuyla yer değiştirmesi dışında, yapıdaki polietilene benzer. Yüzeyde bu değişiklik önemsiz görünmektedir, ancak bu bir değiştirme artık polimer zincirinin simetrisini değiştirmektedir. Bu, farklı stereoisomerlerin, yani sindiyotaktik, izotaktik ve ataktik zincirlerin hazırlanmasına izin verir. Bu konfigürasyonlar da Şekil 1.4 'de gösterilmiştir. Polipropilen (PP), propilenin, petrolden elde edilen bir monomerin, Şekil 1.6 'da gösterilen reaksiyondan polimerleştirilmesiyle sentezlenir [1].



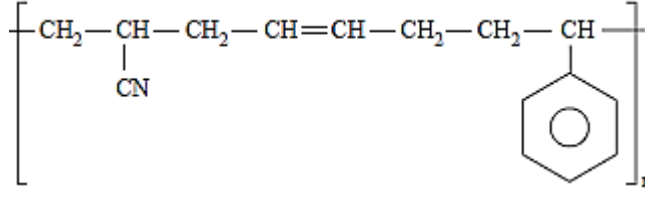
Şekil 1.6. Polipropilen için reaksiyon [7]

Üç stereoizomerden her biri için farklı davranışlar bulunabilir. İzotaktik ve sindiyotaktik polipropilen, daha sert bir polimer veren düzenli bir kristalin dizisine dönüşebilir. Her iki materyal de kristaldir, ancak sindiyotaktik polipropilen izotaktik polimerden daha düşük bir T_m 'ye sahiptir [10].

İzotaktik polimer, 165 ° C'lik bir erime noktasına sahip, ticari olarak en çok kullanılan formdur. Ataktik polipropilen çok az miktarda kristallığe (% 5 ile 10) sahiptir, çünkü düzensiz yapısı kristalleşmeyi önler, böylece yumuşak esnek bir malzeme olarak davranır. Sızdırmazlık şeritleri, kâğıt laminasyon ve yapıştırıcılar gibi uygulamalarda kullanılır [9].

Polipropilen birçok uygulamaya sahiptir. Enjeksiyon kalıplama uygulamaları, kubbe ışıkları, araba aküsü kutuları ve bagaj gibi otomotiv kullanımlarından çamaşır makinesi parçalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Dolgulu PP, montaj ve motor kapakları gibi otomotiv uygulamalarında kullanılabilir. Tamponlar ve radyatör ızgaraları için otomotiv alanında elastomer-modifiye PP kullanılmaktadır. Kayak botları bu malzemeler için başka bir uygulamadır [9].

Akrilonitril bütadien stiren (ABS): Herhangi bir kopolimerde olduğu gibi, ABS'nin özelliklerini, akrilonitril, bütadien ve stiren üç monomerinin oranlarını değiştirerek ABS'nin özelliklerini uyarlama konusundan muazzam bir esneklik vardır. Akrilonitril bileşen ısı direnci, dayanıklılığı ve kimyasal direncine katkıda bulunur. Bütadienin elastomerik katkısı daha yüksek darbe mukavemeti, tokluk, düşük sıcaklıkta özelliklerini muhafaza etme ve esneklik verir. Stiren sertlik, parlaklık ve işlenebilirlik kolaylığı sağlar. ABS'nin birincil dezavantajları arasında opaklık, kötü hava direnci ve zayıf alev direnci bulunmaktadır. Alev geciktirici katkı maddelerinin eklenmesiyle veya ABS'nin PVC ile harmanlanmasıyla, işlenebilirliğin kolay bir şekilde azaltılmasıyla geliştirilebilir. Kullanım yeri, ekipman muhafazaları (telefon, televizyon ve bilgisayar gibi) yaygın olarak kullanılır. Şekil 1.7 ABS' nin tekrar yapısını göstermektedir [9].



Şekil 1.7. ABS'nin tekrar yapısı [1]

En yaygın ABS üretim yöntemleri arasında stiren ve akrilonitrilin bir polibütadien lateks üzerine aşılınması, bir stiren akrilonitril lateks ile harmanlanması ve daha sonra elde edilen karışımın pıhtılaştırılması ve kurutulması yer alır. Alternatif olarak, stiren, akrilonitril ve polibütadienin aşılı polimeri, stiren akrilonitril lateksinden ayrı olarak üretilir ve iki greft, kurutulduktan sonra karıştırılır ve granüle edilir [11].

Otomotiv uygulamalarında motor kapağında ve buzdolabı kapaklarında, radyolarda, bilgisayar muhafazalarında, telefonlarda, iş makinesi yuvalarında ve televizyon muhafazalarında yaygın olarak bulunur [7].

Poliamid (Naylon) 6: Naylon kelimesi sentetik poliamidlerin bir ailesini tanımlamak için kullanılan jenerik bir terimdir. Naylonlar, polimer ana zincirinin bir parçasını oluşturan amid grubu (-CONH-) ile karakterize edilir. Kimyasal yapı açısından, naylonlar iki temel türe ayrılabilir: diaminler ve dibazik asitler (A – A / B – B tipi); ve amino asitlere veya laktamlara (A-B tipi) dayalı olanlar. Naylonlar, yapısal birimlerdeki karbon atomlarının sayısını yansıtan bir numaralandırma sistemi ile tanımlanmaktadır. A – B tipi naylonlar tek bir sayı ile belirlenir. Örneğin, naylon 6, polikaprolaktamı [poli (P-amino kaproik asit)] temsil eder. A-A / B – B naylonları iki sayıyla belirlenir, ilk önce diaminde karbon atomlarının sayısını ve ikincinin asit içindeki toplam karbon atomu sayısını gösterir (Şekil 1.8) [1].

Monomer(s)		Polymer
$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ Hexamethylenediamine	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ Adipic acid	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C} \end{array} \right]_n$ Poly(hexamethylene adipamide), nylon 6,6
$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ Hexamethylenediamine	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_8-\text{COOH}$ Sebacic acid	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C} \end{array} \right]_n$ Poly(hexamethylene sebacamide), nylon 6,10
$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH}$ ω -amino caproic acid		$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{C} \end{array} \right]_n$ Polycaprolactam, nylon 6

Şekil 1.8. Naylonların isimlendirilmesi [1]

Naylonlar arasında, naylon 6,6 ve naylon 6 en büyük ticari öneme sahiptir ve en yaygın olarak kullanılmaktadır. Ticari olarak yararlı diğer naylonlar, naylon 6,9 gibi ve daha yüksek analogları; 6,10; 6,12; 11; ve 12'dir. Naylon 6,6 ve naylon 6, ekonomik bir fiyat sahip olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer naylonlar nispeten daha yüksek fiyatlara sahiptir [1].

A-B tipi naylonlar genellikle bir laktamın halka açılarak polimerizasyonu ile hazırlanır. Halka açmayı gerçekleştirmek için katalitik miktarda su eklenir ve yüksek polimer oluşumunu teşvik etmek için daha yüksek sıcaklıkta çıkarılır. Yüksek moleküler ağırlıklı naylon 6, sodyum hidrür gibi kuvvetli bir baz ile p-kaprolaktamın anyonik polimerizasyonundan elde edilir. Ticari olarak, naylon 6, p-kaprolaktamın hidrolitik polimerizasyonu ile üretilir [1].

Bir sınıf olarak, alifatik poliamidler aşınmaya karşı mükemmel direnç, düşük sürtünme katsayısına, iyi esnekliğe ve yüksek darbe mukavemetine karşı mükemmel direnç sergiler. Naylonlar genellikle yüksek mukavemet, elastikiyet, tokluk ve aşınma direncinin iyi bir dengesi ile karakterize edilir. Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özellikler sağlarlar. Bazen 150 ° C gibi yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özellikler sağlarken, aynı zamanda düşük sıcaklık esnekliğini ve dayanıklılığını korurlar [1].

Naylonlar, amit gruplarının hidrojen bağı oluşturma kabiliyetine bağlı olarak suya duyarlıdır. Su, amit - amit hidrojen bağına amit - su hidrojen bağı ile değiştirir. Sonuç olarak, su emmesi, polimer omurgasında azalan amit gruplarının konsantrasyonu ile azalmaktadır (Tablo 1.3) [1].

Tablo 1.3. Bazı naylonların erime noktası ve nem emme oranları [1]

Naylon	Tm°C	Su Emme(ASTM D-570)
6,6	265	1,0-1,3
6,8	240	-
6,9	226	0,5
6,10	225	-
6,12	212	0,4
4	265	-
6	226	1,3-1,9
7	223	-
11	188	-
12	180	0,25-0,30

Naylonlar, dayanıklılık, tokluk, kimyasal inertlik, elektrik yalıtım özellikleri, aşınma ve düşük sürtünme direnci ve kendini yağlama özellikleri gerektiren uygulamalarda kullanılır. Tablo 1.4’de pazarları ve naylonların tipik uygulamaları listenmektedir. Bu uygulamaların çoğunda naylonlar, bitmiş ticari ürünün alt montajlarında küçük parçalar veya elemanlar olarak kullanılır [1].

Tablo 1.4. Poliamid piyasası ve uygulama alanları [1]

Kullanım Alanı	Tipi Uygulamaları
Otomobil / Kamyon	Hızölçer dişlileri, kapı kilitleme kamaları, dağıtıcı nokta blokları; otomotiv elektrik sigorta blokları, jeneratör parçaları, kıvılcım teli ayırıcıları, tel ısı yalıtımı, yakıt ve yakıt-havalandırma hatları.
Elektrik / elektronik	Konnektör, kravat bantları, tel bobin, bobinler, tuner dişliler.
Sanayi / Makine	Pompa parçaları, elektrikli el aletleri, fanlar, gövdeler, dişliler, makaralar, rulmanlar, burçlar, kamlar, dişliler.
Monofilament / Film kaplamalar	Olta ipleri, balık ağıları, fırça kılları, gıda ve tıbbi ambalaj, tel için kaplamalar ve kablo
Tüketim ürünleri	Taraklar, fırçalar, ev eşyaları, düğmeler, makaralar, slaytlar, raketbol raketleri.

1.4.2. Termosetler

Termoplastiklerden termoset ve konvansiyonel elastomerleri ayıran temel özellik çapraz bağlı bir ağ yapının bulunmasıdır. Elastomerler durumunda, ağ yapısı sınırlı sayıda kovalent bağ (çapraz bağlı kauçuk) ile oluşturulabilir. Termosetler, sadece

kovalent bağlarla oluşturulmuş bir ağ yapısına sahiptir. Termosetler yüksek bir çapraz bağlanma yoğunluğuna sahiptirler ve sonuç olarak yük altında erimez, çözünmez, termal olarak kararlı ve boyutsal olarak sabittirler [1].

Büyük ticari termosetler, epoksileri, polyesterleri ve formaldehit bazlı polimerleri içerir. En yaygın olarak kullanılan termosetler olan formaldehit bazlı reçineler esas olarak iki termoset sınıfı içerir. Bunlar formaldehitin fenol (veya resorsinol) (fenoplastlar veya fenolik reçineler) veya üre veya melamin (amino plastikler veya amino reçineler) ile yoğunlaşma ürünleridir [1].

En önemli termoset plastikler;

Alil'ler, Üre ve melamin, Epoksi reçineleri, Fenolik reçineler, Polyester reçineler, Poliimitler, Poliüretanlar, Silikonlar [7].

1.4.3. Elastomerler

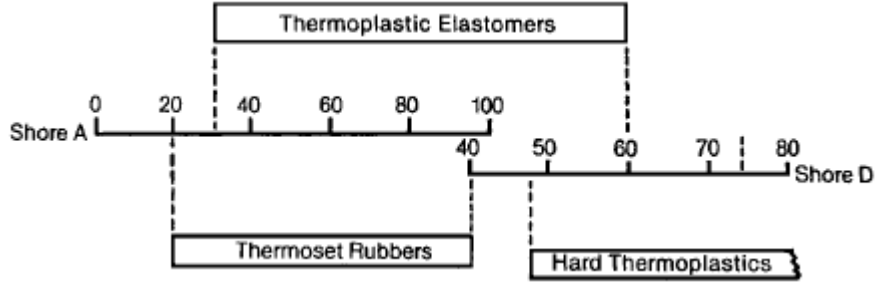
Elastomerler, gerilmemiş halde amorf olan ve normal ortam sıcaklıklarında camsı geçiş sıcaklıklarının üzerinde olan polimerlerdir. Genellikle 50°C ile -50°C arasında değişen camsı geçiş sıcaklıklarına sahiptirler. Elastomerler zincir kısımlarındaki lokal hareketliliğini izin verirken zincirlerinin büyük hareketliliği önlemek için enine bir bağlantı ağı ile bir arada tutulan, düzensiz şekilli zincir moleküllerden oluşur. Çapraz bağlantılar ağı kovalent bağlarla oluşturulabilir veya zincir molekülleri arasındaki fiziksel bağlantılardan kaynaklanabilir [1].

Bir elastomer içine kovalent çapraz bağlar dahil edilmesi işlemi, vulkanizasyon olarak adlandırılır. Elastomerler, genellikle başlangıç boyutlarının bir kaç kez yırtılmadan esnemesine, fakat uygulanan gerilmenin serbest kalmasıyla hızlı bir şekilde tam olarak geri çekilebilme özelliğine sahiptir. Gerilmiş halde, elastomerler yüksek mukavemet ve modül sergiler [1].

Bu bölüm, TPE'ler, MPR'ler, TPV'ler, sentetik kauçuklar ve doğal kauçuk dahil olmak üzere bu malzeme grubunu içermektedir [7].

TPE kaliteleri genellikle sertlikleri, aşınma, kesme, çizilme, yerel gerilme (deformasyon) ve aşınma direnci ile karakterizedir. Geleneksel sertlik ölçüsü Şekil 1.9 'de gösterilen Shore A ve Shore D'dir. Shore A daha yumuşaktır ve Shore D daha sert

bir TPE'dir. Shore A 40 kadar yumuşak ve Shore D 82 kadar serttir. Durometer sertliği (ASTM D 2240) iki türü kapsayan kauçuk malzemeler için endüstri standardı test yöntemidir. Durometre, A ve D. durometre sertlik  l me aparatlarıdır ve durometre sertliği terimi genellikle Shore sertlik değerleri ile kullanılır [7].



Şekil 1.9. TPE'ler, kauçukların ve plastiklerin sertlik aralıkları [12]

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler maliyetleri düşürmek, yeni ve genellikle daha pahalı reçinelerin geliştirilmesinden ziyade ürün performansını yükseltmek için dolgu maddelerinin ve takviyelerin kullanılmasını içeren geniş bir ürün geliştirme yelpazesini teşvik etmektedir [1].

Örneğin, avantajlı hafifliği, yüksek mukavemeti, yorulma ömrü ve korozyon direncinden ötürü, yapısal kompozitler, uçaklarda ve metaller gibi geleneksel malzemelerin yerine çok sayıda endüstriyel ve tüketici uygulamasında başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Elyaf takviyeli materyaller, mühendislik materyallerinin geliştirilmesinde kısa sürede önemli bir role sahip olmuştur. Polimerler, termoplastikler ve termosetler, tamamen yeni bir tür yapısal malzeme üretmek için güçlendirilebilir [1].

Reçine formülasyonlarında farklı tipte dolgu maddeleri kullanılır; En yaygın olanları kalsiyum karbonat, talk, silika, vollastonit, kil, kalsiyum sülfat, mika, cam yapıları ve alümina trihidrattır [1].

Reçine formülasyonlarında farklı tipte dolgu maddeleri kullanılır; En yaygın olanları kalsiyum karbonat, talk, silika, vollastonit, kil, kalsiyum sülfat, mika, cam yapıları ve alümina trihidrattır. Dolgular birçok amaca hizmet ediyor. Odun unu, kil ve talk gibi inert materyaller reçine maliyetlerini düşürür ve belli bir dereceye kadar ısıyla sertleşen reçinelerde işlenebilirliği ve ısı dağılımını iyileştirir. Alümina trihidrat ve talk, alev geciktirmeyi artırır. Mika, bir polimerin elektrik ve ısı yalıtım özelliklerini değiştirmek için kullanılır. Takviye olarak magnezyum mikası içeren kompozitlerden kalıplanmış parçalar, yüksek sıcaklıklara çok az ya da hiç çarpılma sergilemez. Karbon karası, alüminyum pullar ve metal veya metal kaplı elyaf gibi parçacık dolgu maddeleri gibi çeşitli dolgu maddeleri, küflenmeyi azaltmak ve aynı zamanda statik olarak iletken polimerler, elektromanyetik girişim / radyo frekansı girişimi oluşturmak için kullanılabilir [1].

Ticari elastomerlerin mukavemet ve aşınma direncini arttırmak için karbon siyahı veya silika gibi partiküllü dolgu maddeleri takviye dolgu maddeleri olarak kullanılır. Asbest, cam, karbon, selülozik ve aramid gibi lifler esas olarak modül, gerilme mukavemeti, yırtılma mukavemeti, aşınma direnci, çentik darbe mukavemeti ve yorulma mukavemeti gibi bazı mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ve ısıya dayanımı arttırmak için kullanılır [15].

En yaygın olarak kullanılan takviyeli cam yapılar fitil, mat, içi boş veya katı küreler, kabarcıklar, uzun veya kısa lifler ve sürekli lifler olarak mevcuttur [1]. Formun özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Cam-mat takviyeli polipropilenin darbe mukavemeti, kısa liflerle elde edilenin yaklaşık dört ila beş katıdır [14]. En önemli dolgu maddesi, genellikle termoset polyester ve epoksi reçineleri güçlendirmek için kullanılan E-camdır. E-cam, düşük alkali metal bir içeriğe sahip olan ve küçük oranlarda calcia (CaO) ve magnezya (MgO) içeren boroalüminosilikat camdır. Havacılık malzemeleri üretiminde olduğu gibi özel uygulamalar için, bor, Kevlar, PBT ve özellikle karbon lifleri genellikle tercih edilir [15].

2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan malzemeler ve yapım metotlarına göre iki ayrı şekilde sınıflandırılmıştır [16].

Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler; fiber ve matris olarak kullanılabilen malzemeler amaca uygun olarak çok çeşitli olabilmektedirler. Fakat genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır [16].

Yapım Şekillerine Göre Kompozitler; Endüstride kullanılan çok çeşitli karışık kompozit malzeme vardır. İnce bir kalıp kumun bir plastik malzeme ile bağlanması ve plastiğin yüksek sıcaklıkta polimerize olmasından yararlanılarak dökümcülükte kullanılan kalıp malzemeleri ortaya çıkmıştır. Zımpara taşı taneleri de cam ve reçine tarafından bağlanarak zımparalar oluşturulmuştur [16].

2.2. Takviye Edilmiş Plastikler

Plastikler, çekme dayanımı, darbe dayanımı, ısı mukavemeti, boyut kararlılığı vb. özelliklerinin iyileştirilmesi için başka malzemelerle takviye edilirler. Takviye malzemeleri elyaf (fiber) ve dolgu (filler) dolgu şeklinde olabilirler. Bu iki malzeme grubu arasında kesin bir fark olmamasına rağmen su ayırımı yapılabilir. Elyaf takviye sistemi genellikle plastiklerin çekme, darbe ve ısı mukavemet gibi sıralanan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılır [17].

Elyaf takviye malzemelerinin plastiklerin kuvvetlendirilmesinde kullanımı pahalı bir uygulamadır. Dolayısıyla iyileştirme derecesi, malzemenin fiyat artışıyla orantılı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Dolgu takviye sistemi ise genellikle plastiklerin maliyetini düşürmek amacıyla kullanılmaktadır [17].

Ancak mika, kil, CaCO_3 gibi mineral dolgu maddeleri, oluşan malzemenin ısı iletkenliğini artırır, soğutma sırasında şekil değiştirmeleri azaltır, kalıplama zamanını düşürür. Aynı zamanda dolgu malzemelerinin kullanımı, oluşan malzemenin mekanik özelliklerinden çekme dayanımında azalmaya neden olabilir. Bu azalma dolgu miktarının artması ile artar. Bu nedenle plastiklerin mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla daha ziyade elyaf takviye sistemi kullanılır [17].

2.2.1. Vollaştonit

Vollaştonit doğal olarak oluŝmuŝ bir kalsiyum metasilikattır (CaSiO_3). Metalik olmayan, iğnemsî (iğne uçlu) kristal yapıya sahip, alkalî (ph 9,8), beyaz renkli bir mineraldir. Vollaştonit' in ticari olarak kullanımını ortaya çıkartan ana sebep, kristal yapısı ve kimyasıdır [18,19].

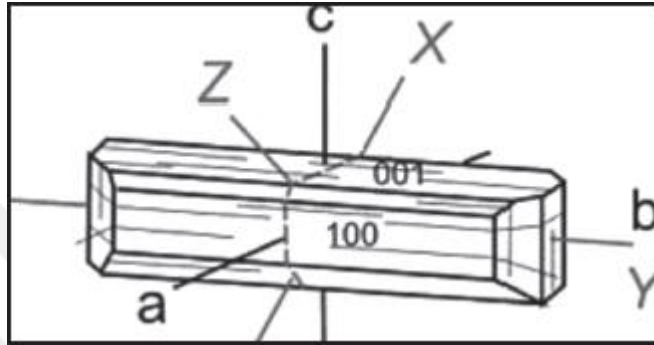
Vollaŝtonitin çok sayıdaki kendine özgü özellikleri, gün geçtikçe artan birçok uygulama alanında kullanımına yol açmıştır. Bu zellikleri sayesinde seramiklerde, plastikler ve boyalar için dolgu malzemesi olarak, termal ve elektriksel yalıtkanlarda, sırlar için ergitici ile ısılatma ajanı ve metal ergitici olarak kullanılmaktadır [20].

Vollaştonit, CaO ve SiO_2 kaynağı, düşük kızdırma kaybı, düşük yağ absorpsiyonu, çok düşük nem absorpsiyonu ve iğnemsî morfolojisi için kullanılmaktadır [18].

Vollastonit İngiliz mineralog ve kimyacı William Hyde Wollaston'a (1766-1828) izafeten isimlendirilmiştir [21].

Vollastonit'in fiziksel ve kimyasal özellikleri;

Vollastonit, piroksen grubunun bir üyesidir. Kristal yapısı zincir $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$ bileşimindedir. Zincirleri Ca atomları ile bağlanırlar. Genellikle masif, lifsel topluluklar halindedirler (Şekil 2.1) [22].



Şekil 2.1. Vollastonit kristali [23]

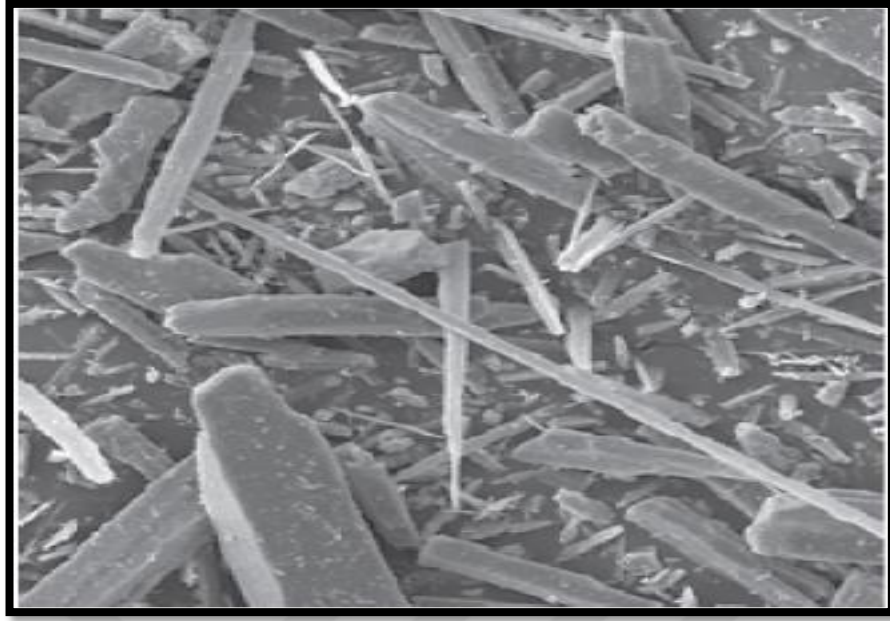
Teorik kompozisyonu, % 48,3 CaO ve %51,7 SiO_2 'den oluşmaktadır. Nadiren saf olarak bulunur. Genelde magnezyum, manganez, demir ve stronsiyum içermektedir. Kontak metamorfik kireçtaşları ve volkanik kayalarda andradit, granat, diyopsit, tremolit, epidot, apatit, sfen, plajiolklas feldspat, kalsit ve kuvarsla beraber bulunur [19,24-26].

Vollastonit'in kırma ve öğütme işlemleri esnasında, kendine özgü dilinim özelliklerinden dolayı, iğne şekilli parçacıklar oluşur. Ürünlere yüksek mukavemet katan bu parçacık morfolojisi, birçok pazardaki en önemli başarı sebebidir. Şekil 2.2' de seramik uygulamalar için kullanılan ticari bir Vollastonit' in parçacık morfolojisi görülmektedir [19].

Vollastonit'in oluşma reaksiyonu;



Silika + Kireçtaşı = Vollastonit + Karbondioksit [21].



Şekil 2.2. Ticari bir Vollastonit' in parçacık morfolojisi (250x) [27]

Kaplama endüstrisinde kullanımının başlıca sebebi, pH'ının yüksek (9,9) olmasıdır.

Tablo 2.1. Vollastonit' in seçilmiş özelliklerinin bazıları listelenmiştir [19,28]

Kristal sistem	Monoklinik veya Triklitik
Kristal yapısı	Bıçak şekilli kütleler; iğnemsî
Renk	Beyaz, bazen krem, gri ya da çok uçucu yeşil
Çizgi rengi	Beyaz
Parlaklık	İnci gibi camsı
Mohs sertliği	4,5 – 5,0
Özgül ağırlık	2,87 – 3,09g/cm ³
Ergime noktası	1540°C
Pseudo-vollastonite geçiş Noktası	1200°C
Termal genleşme katsayısı(mm/mm/°C)	6,5 x 10 ⁻⁶
Ateş kaybı(1000 °C)	0,5 – 2%
pH	10-11

2.2.2. Vollastonit plastik uygulamaları

Vollastonit' in ana pazarları seramikler, plastikler ve kauçuk, asbest yerine kullanım, metalurji, boyalar ve kaplamalardır. Bu pazarlarda tüketilen Vollastonit'i, yüksek boy/çap oranlı Vollastonit ve öğütülmüş ya da toz boyutunda olan Vollastonit olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür [29].

Yüksek boy/çap oranına sahip Vollaştonit (boy/çap, 10:1 ile 20:1 arasında olan), özellikle plastikler ve kauçuk (toplam tüketimin % 19 -25), asbest yerine (% 20 - 25), az miktarda da boya ve kaplamalar (yaklaşık % 2 - 5) gibi çeşitli uygulamalarda fonksiyonel dolgu malzemesi ve takviye malzemesi olarak kullanılır. Bu uygulamalarda, Vollaştonit, ilave sertlik, eğilme mukavemeti, darbe dayanımı sağlamaktadır. Plastiklerde, yüksek boy/çap oranına sahip Vollaştonit son ürünlerin elektriksel özelliklerini, ısı ve boyutsal kararlılığını geliştirebilir [29].

Plastik, Vollaştonit' in en fazla uygulama alanlarından biridir ve büyük bir pazara sahiptir [30]. Vollaştonit tamamlanmış malzemenin özelliklerine katkı sağladığı için plastik dolgu maddesi pazarında diğer beyaz dolgu maddeleriyle rekabet edebilmektedir. Bu endüstride bir dolgu malzemesi olarak Vollaştonit' in popülerliği düşük su emme, düşük reçine gereksinimi, ısıl kararlılık, ısıl iletkenlik, kimyasal saflık gibi takviye edici özelliklerine bağlıdır [29].

Vollaştonit kullanılarak en yüksek kalitede dolgu maddeleri elde edilir. Dolgu maddelerine beyazlık ve yüksek parlaklık kazandırmasının yanı sıra bu ürünlerin çekme, çarpma ve eğilme özelliklerini de geliştirir. Seramiklerde olduğu gibi küçülmeyi azaltır. Aşınma direncini ve kaymayan zemin döşemesindeki sürtünmeyi artırır [20].

Vollaştonit, talk ya da karbonat dolgu malzemeleriyle kıyaslandığında çok düşük su emilimine sahiptir ve reçine karışımlarından etkilenmez. Plastikleştirici akışkanları absorplamaz. Plastik yüzeyindeki düşük su emilimi sayesinde suya ve lekelenmeye karşı direnç kazandırır. Düşük elektrik iletkenliği yalıtkan plastiklerin üretimine olanak sağlar. Örneğin, polipropilende, % 40 Vollaştonit katkısı ile çok faydalı elektriksel yalıtım özelliklerine sahip bir malzeme elde edilir [20].

Vollaştonit' in hem termosetler hem de termoplastiklerde uygulamaları mevcuttur. Örneğin, termoplastiklerde, naylon6, naylon6/6, poliyester, sıvı kristal polimerler, mühendislik reçineleri gibi poliamidler içeren Vollaştonit; termosetlerde ise, fenollü kalıp bileşenleri, epoksiler, poliüretanlar, poliüre ve bazı doymamış poliesteleri içeren Vollaştonit kullanılır. Şu anda daha ucuz olması nedeniyle plastiklerde, kısa öğütölmüş cam elyafı, mika ve talk gibi dolgu malzemelerinin kullanımı Vollaŝtonite göre daha yaygındır [29].

Mineral dolgu maddelerinin naylon 6/6 özelliklerine etkisi Tablo 2.2 'de gösterilmiştir [1].

Tablo 2.2. Naylon 6/6 üzerine mineral dolgu maddelerinin etkisi [1]

Özellik	Doldurulmuş amış Reçine	Mika	Kalsiyum Karbonat	Vollastonit	Cam Boncuklar	Alümina	Talk
Özgül ağırlık	1,14	1,50	1,48	1,51	1,46	1,45	1,49
Çekme mukavemeti(psi)	11,800	15,260	10,480	10,480	9,780	9,200	8,980
Çekme uzaması(%)	60	2,7	2,9	3,0	3,2	2,8	2,0
Eğilme modülü(10^3 psi)	410	1,540	660	780	615	645	925
Izod darbe dayanımı(çentikli) (ft-lb/in.)	0,06	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
Isı sapması($^{\circ}$ C)	170	460	390	430	410	395	445
Kalıp çekmesi(in/in)	0,018	0,003	0,012	0,009	0,011	0,008	0,908

2.3. Plastik Kompozit Malzemelerde Kullanılan Dolgu Maddeleri

Amerikan ASTM D-883 Test ve Malzemeler Topluluğuna göre, bir dolgu maddesi, bir plastiğe, mukavemetini, kalıcılığını, çalışma özelliklerini veya diğer kalitelerini değiştirmek veya maliyetleri düşürmek için bir plastiğe eklenen nispeten tesirsiz bir malzemedir. Yaygın olarak kabul edilen bir tanıma göre, dolgu maddeleri ufalanmış küresel veya küresel katı maddelerdir. Bu tanımın gereksinimlerini karşılayan cam boncuklar, kalıp aşınmasını azaltmak ve kalıplanmış parçaların kalitesini arttırmak için kullanılır [31].

Kompozitlerin yüksek mukavemeti güçlü Van der Waals ara yüzey kuvvetlerine bağlıdır. Bu kuvvetler, polimer üzerindeki polar fonksiyonel grupların mevcudiyeti ve dolgu yüzeylerinin silanlar, titanatlar veya diğer yüzey aktif maddeler ile muamelesi ile arttırılır. Kompozitler hemen hemen her mevcut polimerden, hemen hemen akla gelebilecek her parçalanmış malzemeyi bir dolgu maddesi olarak kullanarak üretilmiştir [31].

Doğal olarak oluşan dolgu maddeleri arasında odun unu, selüloz, kabuk unu, nişasta ve soya fasulyesi kalıntıları gibi proteinli dolgu maddeleri gibi selülozik maddeler bulunur. Amerikan polimer endüstrisi tarafından yılda yaklaşık 40.000 ton selülozik dolgu maddesi kullanılmaktadır [31].

α -Selüloz ahşap undan daha liflidir. Üre ve melamin plastikleri için dolgu maddesi olarak kullanılır. Melamin tabak, kalıplanmış reçine ile kaplanmış kâğıttan oluşan lamine bir yapıdır. Muhtemelen, bu ısıyla sertleşen reçinelerdeki formaldehit, daha uyumlu bir kompozit üretmek için selülozdaki hidroksil grupları ile reaksiyona girer. Nişasta ve soya türevleri biyolojik olarak parçalanabilir ve reçine kompozitlerinin parçalanma oranı mevcut dolgu maddelerinin miktarı ile kontrol edilebilir [31].

Polistiren gibi diğer polimerlerin darbe direncini arttırmak için birçok uyumsuz polimer eklenmektedir. Diğer plastiklerin kayganlığını arttırmak için silikonlar veya poliflorokarbonlar gibi diğer ufalanmış reçineler eklenir. Örneğin, politetrafloro-etilenin poli (fenilen sülfid) içinde sıcak eriyik dispersiyonu, yapışma önleyici tencere için bir kaplama olarak kullanılır [31].

Selüloz asetat bütirat, kurlenmemiş polyester reçineleri ile uyumlu olduğu, ancak sertleştirilmiş reçine ile uyumlu olmadığı için, sertleşme sırasında büzülmeyi azaltmak için ön-karışım ilave edilir. Yapıştırıcı reçine tekniğindeki yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için polyester reçinelerle de uyumsuz olan ince bölünmüş polietilen eklenir [31].

Karbon siyahı 1000 yıl önce Çin'in alevleri soğuk bir yüzeye çarptırarak ürettikleri ve polimerler için en yaygın olarak kullanılan dolgu maddesidir. ABD'de her yıl üretilen 1,5 milyon tonluk elastomerlerin güçlendirilmesi için kullanılmaktadır. En çok kullanılan karbon siyahı fırın karbon siyahıdır. Bu karbon siyahının parçacık boyutu yaklaşık 0,08 mm'dir. Mohs ölçeğinde sertliği 1'den azdır [31].

Cam küreler takviye edici olmayan dolgu maddeleri olarak sınıflandırılırken, bu kürelerin 40 g' mının 60 g naylon-66'ya eklenmesi, esneme modülü, basınç dayanımı ve eriyik indeksini artırır. Çekme mukavemeti, darbe mukavemeti, sürünme direnci ve bu kompozitlerin uzaması, doldurulmamış naylon-66'ninkinden daha azdır. Cam

yüzey, yüzey aktif maddeler tarafından değiştirildiğinde, bükülme katsayısında daha büyük bir artış kaydedilmektedir [31].

Öğütülmüş cam elyaflar, çok hücreli cam nodüller ve cam pullar da dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Reçinelere eklendiğinde, mikro balonlar veya mikro küreler olarak adlandırılan içi boş cam ve karbon küreler, reçineye eklenen dolgu maddesi oranına bağlı olarak özel ağırlığa sahip köpükler üretir. Katkı maddeleri olarak cam veya grafit elyaf kullanıldığında üstün yüksek performanslı kompozitler elde edilir [31].

İletken kompozitler, toz haline getirilmiş metal dolgu maddeleri, metal pullar veya metal kaplı dolgu maddeleri reçinelere eklendiğinde elde edilir. Bu kompozitler, uçak endüstrisi için şekillendirme araçları üretmek için kullanılmıştır. Tozla doldurulmuş poliolefin kompozitler, nötron ve γ radyasyon için kalkan olarak kullanılmıştır [31].

Mohs ölçeğinde 2,5 sertliğe sahip çinko oksit, büyük ölçüde kauçukta aktif bir dolgu maddesi olarak ve poliolefin ve polyesterlerde hava koşullarına karşı dayanıklılık artırıcı olarak kullanılır [31].

İnce bölünmüş kalsine alümina, corundum (elmastan sonraki en sert mineral) veya silikon karbür eklenmesi aşındırıcı kompozitler üretir. Bununla birlikte, 3'den daha az bir Mohs sertliğine sahip olan alümina trihidrat (ATH), plastiklerde alev geciktirici bir dolgu maddesi olarak hizmet etmektedir. 4,5'den büyük özgül ağırlıklara sahip olan zirkonyum, zirkonyum silikat ve demir oksit, kontrollü yüksek yoğunluklu plastikler üretmek için kullanılır [31].

Mohs sertliği 3 olan kalsiyum karbonat hem doğal kireç taşı hem de sentetik tebeşir olarak kullanılabilir. Bu dolgu boya, plastik ve elastomerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonatın reçineye veya reçine kompozitindeki boşlukları doldurmak için gerekli olan pigment hacmi, pigment hacim konsantrasyonu (PIVC) olarak adlandırılır. Reçine ihtiyacını karşılamak için gerekli kritik minimum PIVC (CPIVC) olarak adlandırılır [31].

Kübik şekilli, doğal olarak oluşan kalsiyum karbonat dolgu maddesinin aksine, karbon dioksitin bir kalsiyum hidroksit bulamacına ilave edilmesiyle üretilen sentetik ürün,

iğnemsiz veya iğne uçlu şeklindedir. Kalsiyum karbonat, PVC, poliolefin, poliüretan köpüklerde ve epoksi ve fenolik reçinelerde dolgu maddesi olarak yıllık 700 milyon ton oranında kullanılmaktadır [31].

2,6 özgül ağırlığa sahip olan silika, doğal olarak oluşan ve sentetik şekilsiz silikanın yanı sıra kum ve kuvars gibi büyük kristal parçacıklar halinde kullanılır [31].

Silisli toprak ve fosil un olarak adlandırılan ince silisli toprak, diatomların iskeletlerinden oluşan ince bölünmüş amorf silikadır. Bu dolgu, 7' lik bir değere sahip olan keskin silika kumunun aksine, 1,5' den daha az bir Mohs sertliğine sahiptir. Poliüretan köpüklerin sıkıştırma mukavemetini arttırmak için diatomlu toprak kullanılır [31].

Pirojenik veya isli silis, hidrojen ve oksijen içeren bir atmosferde silikon tetraklorür reaksiyona sokulması ile elde edilen ince bölünmüş bir dolgu maddesidir. Bu dolgu sıvı reçinelerin viskozitesini arttırmak için bir tiksotrop olarak kullanılır. İnce bölünmüş silikalar ayrıca sodyum silikat çözeltilerinin asitleştirilmesiyle ve silisik asidin alkolik çözeltilerinin buharlaştırılmasıyla da üretilir [31].

Elastomerlerin güçlendirilmesi için yüzey silanol gruplarını içeren, hidratlanmış ince bölünmüş silikalar kullanılır. Silikozun önlenmesi için silikanın kullanımında çok dikkatli olunmalıdır. Polimer endüstrisi tarafından yılda yaklaşık 25 milyon ton silika dolgu maddesi kullanılmaktadır [31].

Hem doğal olarak oluşan hem de sentetik silikatlar aynı zamanda dolgu maddeleri olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Hidratlanmış alüminyum silikat veya kaolin, Mohs ölçeğinde özgül ağırlığı 2,6 ve sertlik değeri 2,5'dir. Kaolin ve diğer killer sülfürik asit içinde çözülebilir ve sodyum silikat ilavesiyle yeniden üretilebilir. Killer sentetik kâğıt, kauçuk ve bitümlü ürünler içinde dolgu maddesi olarak kullanılır [31].

Talk bir Mohs sertliği 1 ve 2,4 özgül ağırlığı olan, doğal olarak oluşan lifli benzeri hidratlı magnezyum silikattır. Talk dolgulu polipropilen, polipropilene göre ısıya çok daha dayanıklı olduğu için, otomotiv aksesuarlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolgu maddeleri olarak yılda 40 milyon tondan fazla talk kullanılmaktadır [31].

Pek çok plastiğin takviye edilmesi için doğal olarak meydana gelen sodyum potasyum alüminyum silikat dolgu ve bir akulin kalsiyum metasilikat dolgu maddesi olan Vollastonit olan nefelin siyenit kullanılmaktadır. Takviye polimerleri için erimiş kaya veya cüruftan (PMF) lifler de kullanılır [31].

Asbest, toksisitesine rağmen, doğal olarak meydana gelen bir magnezyum silikattır. 250 yıldan uzun süredir aleve dayanıklı bir lif olarak kullanılmaktadır. Polimerlerin katkı maddesi olarak yılda yaklaşık 180 milyon ton asbest kullanılmaktadır, ancak bu kullanım azalmaktadır [31].

2.4. Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Polimer işleme iki geniş alana bölünebilir. Birincisi, polimerin topaklar veya toz gibi bir formda işlenmesidir. İkinci tip, polimerik malzemelerin istenen şekillerdeki yararlı eşyalara dönüştürülmesini tarif eder [1]. Tipik olarak bunlar çubuklar, borular, filmler, lifler veya kalıplanmış ürünler olabilir. Çoğu zaman bu malzemeler tek bir polimerden yapılır. Bununla birlikte, artan bir şekilde, harmanlar, doldurulmuş polimerler ve kompozit malzemeler kullanılır [32]. İkinci tip yoğun olarak kullanılmaktadır. . Belirli bir uygulama için bir polimer materyalin seçimi, çok sayıda polimer familyası ve hatta her bir familya içindeki daha büyük sayıdaki polimerler dikkate alındığında genellikle zordur. Bununla birlikte, son kullanım gereksinimleri ve malzeme özelliklerinin daha doğru ve eksiksiz bir şekilde belirtilmesiyle, seçim nispeten daha kolay hale gelir. Arzu edilen özelliklere ve düşük birim maliyetine ek olarak, tüm gerekli özelliklere sahip bir malzemenin seçimine genel olarak indirgenir. Ancak, daha sonra, polimerik malzemelerden veya belirli bir polimerden istenen bir ürünü üretmek için genellikle birden fazla işleme tekniği vardır. Örneğin, şişeler veya oyuncaklar gibi içi boş plastik eşyalar, üfleli kalıplama, ısıyla şekillendirme ve dönel kalıplama yoluyla bir takım malzemedan imal edilebilir. Belirli bir işleme tekniğinin seçimi, parça tasarımı, malzeme seçimi, üretim gereksinimleri ve nihayetinde maliyet-performans hususları ile belirlenir [1].

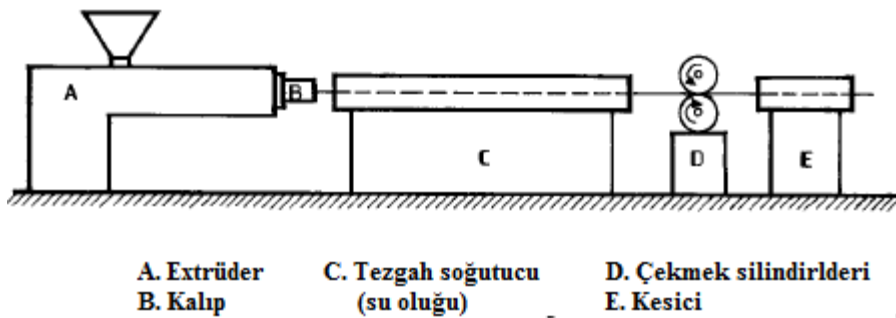
Polimer işleme tekniklerinin sayısı her geçen yıl artar, yeni yöntemler icat edilir ve daha eski olanlar modifiye edilir. En yaygın polimer işleme yöntemleri ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplamadır [1]. Polimer işleme gruplamaları ve ana formları Tablo 2.3' de verilmiştir [31].

Tablo 2.3. Polimer işleme gruplamalarının ana formları [31]

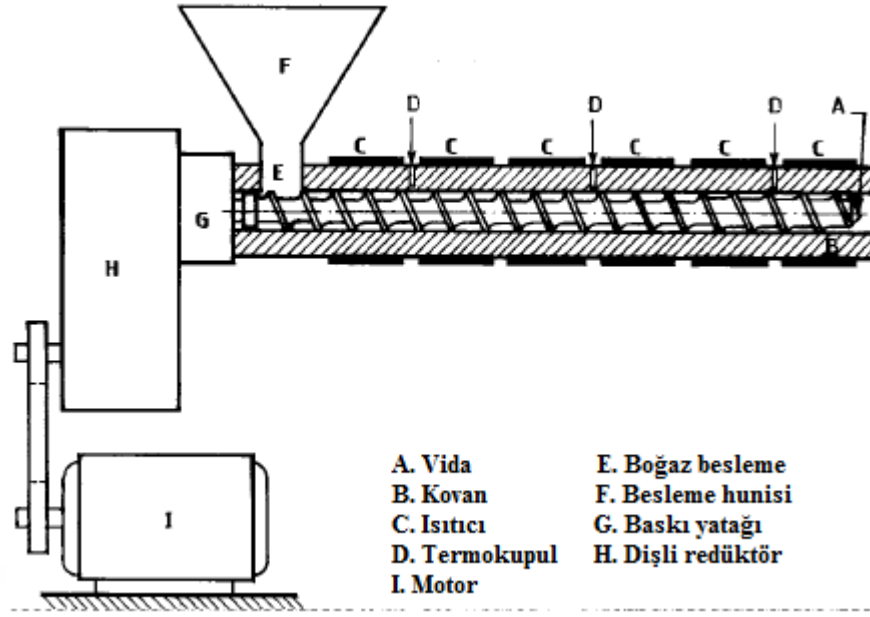
Proses	Ürün Tipik Şekli	Proses	Ürün Tipik Şekli
Kalenderleme	Filmler, Levha	İplik	Lifler
Kaplama	Film	Kuru	
Enjeksiyon	Katı	Jel	
Reaksiyon enjeksiyonu		Eriyik	
Pistonlu vida		Islak	
İki kademeli		Reaksiyon	
Kalıplama			
Üfleme	İçi boş		
Yer değiştirme			
Ekstrüzyon			
Enjeksiyon/Transfer			
Streç			
Soğuk katı			
Sıkıştırma	Katı, İçi boş		
Döner	Katı, İçi boş		
Termoform	İçi boş		
Transfer	Katı		

2.4.1. Ekstrüzyon üretim yöntemi

Bu en yaygın polimer işlemdir. Genellikle, termoplastik polimerleri bir kalıp içinden eritmek ve pompalamak için kullanılır ve bu ekstrüdatın arzu edilen bir şeklini verir. Ekstrüzyon basınçla çalışan ve piston tahrik cihazları ile gerçekleştirilebilir olsa da, endüstriyel uygulamalarda neredeyse evrensel kullanılan vidalı ekstrüderdir. Ekstrüderler birden fazla vida içerebilir, ancak başlangıçta silindirik bir kovan içinde dönen bir spiral vida oluşur tek vidalı ekstrüder üzerinde odaklanacaktır. Bu şematik olarak Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 'de gösterilmiştir. Polimer genellikle vida ve kovan arasında oluşan kanala açılan bir huni aracılığıyla pelletler biçiminde ekstrüdere beslenir [1].



Şekil 2.3. Ekstrüzyon hattı [1]



Şekil 2.4. Extrüder parçaları [1]

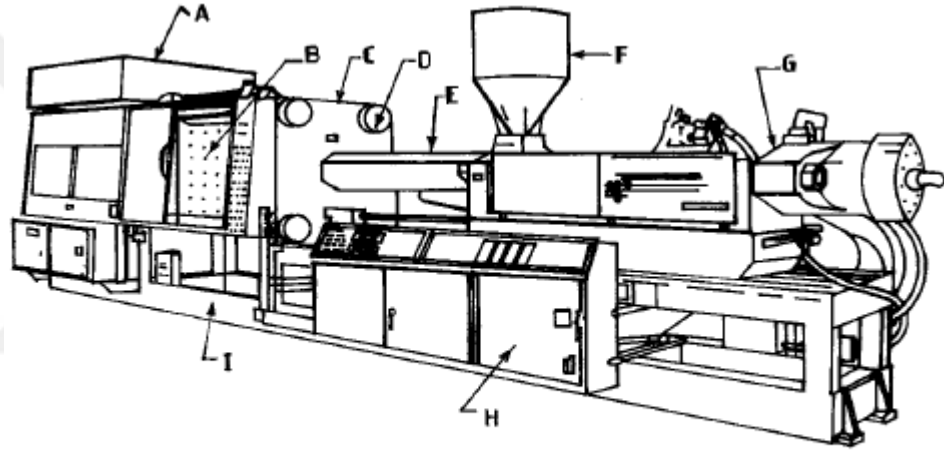
Extrüzyon prosesi ile üretilen malzemeler; soda kamışları, bahçe hortumu, kanalizasyon ve havalandırma delikleri, kontrol kablosu gövdeleri, gaz ve su boruları için kullanılan borular ve profiller, örneğin, otomatik döşeme, ev cephe giydirme, fırtına pencereleri, pencere camı, buzdolabı astarları, levhalar, aydınlatma için kullanılan levhalar, torbalar, kaplamalar, laminatlar, ambalajlar için filmler, fırça kılları, ip, olta iplikleri için lifler veya filamentler, evler, otomobiller, aletler, telefon ve elektrik dağıtımı için yalıtılmış tel; süt kartonları için kaplanmış kâğıt, et ambalajı [1].

Extrüzyon üretim yönteminde kullanılan bazı termoplastikler; PE, PP, PVC, ABS, PS' dir [1].

2.4.2. Enjeksiyon üretim yöntemi

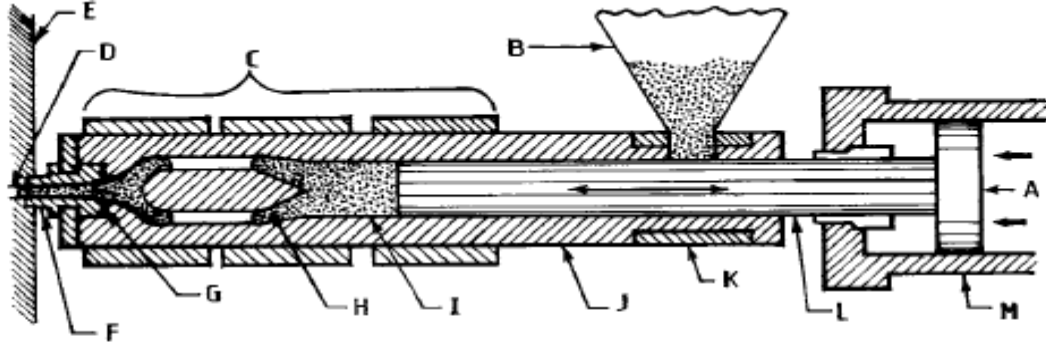
Enjeksiyon kalıplama, termoplastikler için en önemli kalıplama yöntemidir. Termoplastik malzemelerin ısı ile yumuşatılması ve soğutulduğunda sertleşmesi yeteneğine dayanır. Bu işlem, esasen ısıtılmış bir silindir içindeki malzemenin yumuşatılmasından ve basınç altında sertleşerek kalıp boşluğuna basınç altında enjekte edilmesinden oluşur. Her adım, döngüsel işlemde aynı aparatın ayrı bir bölgesinde gerçekleştirilir [32,33].

Tipik bir enjeksiyon kalıplama makinesinin bir diyagramı Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’ de gösterilmiştir. Piston malzemesi çekildiğinde granül malzeme (plastik reçine) hazneden namluya düşer. Piston daha sonra malzemeyi ısıtıldığı ve yumuşatıldığı (yumuşatılan veya plastikleştirilen) ısıtma bölgesine iter. Hızlı ısıtma, polimerin bir torpido etrafındaki ince bir filme yayılması nedeniyle gerçekleşir. Bu yeni malzeme ile yer değiştirmiş olan hâlihazırda erimiş polimer, kalıp ile yakın temas halinde olan meme ucundan ileri doğru itilmektedir. Erimiş polimer, kalıp içindeki yolluktan aşağı doğru akar, yolluğu geçerek kalıp boşluğuna akar. Kalıp pres levhasının sıkıştırma hareketi ile sıkıca kapatılır. Erimiş polimer böylece kalıp boşluğunda istenilen şekli almış olur [35].



- | | | |
|--------------------|-------------------------|----------------------|
| A. Yağ tankı | D. Bağlantı rotu | G. Hidrolik sürücü |
| B. Hareketli levha | E. Enjeksiyon silindiri | H. Kontrol kabini |
| C. Sabit levha | F. Besleme hunisi | I. Pompalar ve taban |

Şekil 2.5. Tipik bir enjeksiyon kalıplama makinesinin ana parçaları [1]



- | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| A. Bastırma basıncı | F. Nozül | I. Enjeksiyon odası |
| B. Besleme hunisi | G. Geri basınç plakası | J. Isıtma silindiri |
| C. Isıtıcı bantlar | H. Gövde | K. Soğutma bölgesi |
| D. Döküm deliği | | L. Piston |
| E. Kalıp | | M. Hidrolik silindir |

Şekil 2.6. Bir piston tipi enjeksiyon kalıplama makinesinin şematik diyagramı [1]

Enjeksiyon kalıplama prosesi ile üretilen bazı malzemeler; otomobil parçaları, cihaz gövdeleri, kamera kılıfları, düğmeler, dişliler, ızgaralar, fan bıçakları, kâseler, kaşıklar, lensler, çiçekler, çöp kutuları ve çöp kutuları [1].

Enjeksiyon ürem yönteminde kullanılan bazı termoplastik ve termosetler; en yaygın olarak PVC, PE, PP ve PS gibi eşya üretilen plastikleri; diğerleri ABS, naylon, selülozik, akrilik 'dir [1].

3. PLASTİKLER ÜZERİNE AKIMLI VE AKIMSIZ METAL KAPLAMA

Altın elektro kaplama olarak bilinen iletken, metal, nesnelerin modern yaldızı ilk olarak 19. yüzyılın başlarında Luigi V. Brugnatelli tarafından geliştirilmiştir. Modern elektrokaplama biliminin icadıyla tanınan Brugnatelli, arkadaşı ve meslektaşı Alessandro Volta tarafından 1800 yılında, voltaik elektriğin sağlanması için voltaik elektriğin sağlanması amacıyla geliştirilen volta yığınının kullanmıştır [36].

İlk elektrokimyasal batarya olan voltaik pil, tuzlu suda ıslatılmış ara parçalarla ayrılmış birbirini izleyen farklı metallerden oluşan bir yığından yapılmıştır. Tamamen inorganik hücre, kapalı bir döngüde iki farklı metalle birleştiğinde kurbağanın bacağındaki hareketin "hayvansal elektrik" sonucu olduğuna inanan Luigi Galvani'nin 1780 çalışmasına karşılık olarak inşa edildi. Volta, elektriğin, nemli bir arabulucu tarafından bir araya getirilen farklı metallerin bir sonucu olduğunu ve organik dokunun reaksiyon için basit bir ortam olduğuna karar vermiştir. Voltaik ve galvanik hücreler, Volta ve Galvani'ye atıfta bulunarak, nihayetinde, bir elektrik akımı üreten bir tuz ortamı varlığında, iki farklı metalin birleşmesini benimsemiştir. 1803 yılında, altın galvanizli ilk çalışma, Brugnatelli altın iyonları doymuş bir altın çözeltisinden iki büyük gümüş madalyanın yüzeyindeki metale indirgemeyi voltaik bir yığının negatif terminaline bağlanmasıyla anlattı [37].

1836'da, Londra'daki King College'dan Profesör John Frederic Daniell'in ilk sabit akünün yanı sıra batarya içindeki metalik bakırın birikmesini bulmuştur [36].

Elektro kaplama, 1840'tan sonra, altın ve gümüş elektro kaplama için ilk patentin Henry ve George Elkington'a verildiği zaman ön plana çıktı [36].

Elektronik endüstrisine eşit derecede faydalı olan, 1946'da elektronsuz keşif, aynı zamanda Abner Brenner ve Grace E. Riddell tarafından "elektroliz" olarak adlandırılan kaplamadır [38]. Brenner ve Riddell, ek olarak sodyum hipofosfatın (NaH_2PO_2), nikel elektrokaplama banyosunda % 100'den fazla görünür katot verimine yol açtığını gözlemlediklerinde, elektriksiz nikel kaplamayı yanlışlıkla keşfettiler [39].

Brenner ve Riddell'in bir çeşit kimyasal indirgemenin, elektriksiz birikimin keşfi ile gerçekleştiğine dair haklı sonuçlar ortaya koymuştur. Brashear işleminde kullanılanlar gibi önceki banyolar, nispeten kısa ömürlü ve sınırlı bir süre depolanmaya izin veren homojen ayrışmaya maruz kalmıştır. 19. yüzyılda elektriksiz depozisyonun iyi anlaşılmasına rağmen, elektriksel bakırın indirgenmesi için formaldehit gibi indirgeyici maddelerin birçoğunun modern formülasyonlarda kullanılmaya devam edilmesi dikkat çekicidir [39].

Elektroliz terimi biraz yanıltıcıdır, diğer bir deyişle, sadece birkaç katmanı etkin bir şekilde kendi kendine sınırlayan kimyasal yer değiştirme ve daldırma kaplamaları gibi başka yöntemlerde de harici elektrotlar veya elektrik kaynağı kullanılmaz. Birçok "elektroliz"¹ işlemi göz önüne alındığında, otokatalitik terim, metalik bir kaplamanın, sürekli biriktirme için biriktirilen metal veya alaşım tarafından katalize edilen çözelti içindeki bir bileşik tarafından sağlanan kontrollü bir kimyasal indirgeme yoluyla metalik kaplamanın bırakılmasını tarif etmek üzere resmen benimsendi. Elektroliz yaygın olarak kullanılmaya devam ediyor. Brenner ve Riddell tarafından yapılan keşif, kontrollü, istikrarlı, akımsız depolanma süreçleri ve elektriksiz birikimin geliştirilmesi konularında daha fazla araştırmaya öncülük etti ve diğerlerinin yanı sıra, baskılı devre kartlarının metalize edilmesi gibi uygulamalarda da devam etti. Elektroliz birikiminin ardındaki mekanizmaların yorumlanması, 1960'ların ikinci yarısında, M. Saito ve M. Paunović'in, bakırın elektriksel olarak biriktirilmesi için karışık potansiyel teorisinin uyarlanmasıyla gerçekleşmiştir; karma potansiyel teorisi orijinal olarak 1938'de Wagner ve Traud tarafından metal korozyon sürecinin yorumlanması amacıyla geliştirilmiştir [40].

Elektroliz kaplamada daha fazla gelişme 1970'li yılların başında, iletken olmayan malzeme modelinin üzerini duyarlılaştırmak için foto - oksidasyonunu içeren seçici biriktirme teknikleri ile ortaya çıkmıştır [41,42].

¹ "Elektroliz terimi, etimolojik olarak hiçbir dış elektrot içermediğini belirtmesine rağmen, yanlış bir şekilde proses içerisinde elektrik akımı mevcut olmadığını ima eder. Aslında elektronların akımsız prosesler içinde transferi, sistem içinde bir akım sağlar [40]."

W. Blum tarafından 1921 gibi çok katmanlı yapıların elektrodpozisyonu açıklanmıştır [43].

1980'lere kadar benzersiz / olağandışı mekanik, elektriksel, optik ve / veya manyetik özelliklerden faydalanmak için çok katmanlarda önemli çalışmalar yapılmadı. 1984 yılında D. Tench ve J. White tarafından özetlenen saf çoklu tabakaların birikimi, çok katmanlıların daha yüksek gerilme mukavemetine ve sertliğe sahip olduğunu göstermiştir [44].

1986'da J. Yahalom ve O. Zadok, tabaka başına 8Å kalınlıkta, saf, alaşımsız, elektro-çökeltmiş bakır / nikel çok katmanları üretmeyi başardı [45].

Elektrolitik çoklu tabakalar, 1960'larda geliştirilen moleküler demet epitaksi (MBE)² için gerekli olanlar gibi vakum bölmeleri kullanılmadan ince çok katmanları biriktirmek için pahalı olmayan alternatif bir yol sağladı. Kaplamadaki ilerlemelere ek olarak, büyük ölçekli ticari uygulamalar için daha "user friendly"³ kaplama banyolarının geliştirilmesi, başlangıçtan beri devam etmektedir. 1950' lerde siyanür bazlı güçlü zehirli banyolardan ziyade asit formüllerine dayanan çökeltme çözeltilerinin uygulanması ile. 1970'li yıllardan beri atık su ile ilgili yönetmeliklerin sıkılaştırılmasıyla ortaya çıkan daha iyi çevresel uygulamalar, yeni birikim çözümlerinin devam eden gelişiminde de belirgin bir biçimde yer almıştır [46].

Günümüzde elektrokaplama ve elektroliz birikimini içeren elektrokimya prensipleri nispeten iyi anlaşılmıştır. Sofistike kaplama banyoları akademi ve endüstri boyunca geliştirilmekte ve düzenli olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Daha iyi akım kaynaklarının geliştirilmesi de dahil olmak üzere kaplama prosedürlerinin daha iyi kontrolleri, 19. yüzyılda yaygın olan % 20 toleransların çok üzerinde birikinti ve tabaka kalınlığı performansları için sıkı kalite kontrollerine yol açmıştır. Depozisyonun ilk günleri sabit voltaj, potansiyostatik, aküleri mevcut kaynaklar olarak kullanırken, modern güç kaynakları sabit akım, galvanostatik ve aynı zamanda potansiyostatik koşullar altında tortular için mikron altı ve nanometre kalınlık kontrolü sağlayan hassas akım kontrolü sunar.

² "İnce kristalin katmanları imal etmede başvurulmuş bir fiziksel buhar biriktirme yöntemidir [47]."

³ "Daha düşük çalışma sıcaklıkları ve yüksek güvenlikli sistem [46]."

Banyo kimyası ve anot şekli de dahil olmak üzere daha fazla gelişme, daha yüksek elektrokaplama hızı, daha düzgün çökeltiler, düzensiz şekillerin daha iyi kaplanması, güvenilir kaplamalı tamamlama ve ayrıca platin (Pt), osmiyum (Os) ve ruthenium (Ru). Entegre devrelerin üretimi için elektronik endüstrisinde elektrokaplama uygulamaları ve manyetik kayıt cihazları için GMR⁴ ile biriktirme çok katmanlı filmler geliştirmeye devam etmiştir. Aynı şekilde, magnezyum alaşımları gibi aktif maddeler için kaplamalara odaklanmak, korozyon önleyici kaplamalarda çok fazla araştırma yapılmasına neden olmuştur. Günümüzde elektro kaplama ve elektroliz biriktirme yöntemleri, daha yüksek maliyete, geleneksel imalat yöntemlerine alternatif olarak araştırılmaya devam etmektedir [46].

Kaplamaların yüzeylere uygulanmasının amacı, 19. yüzyılın başlarında elektrokaplamanın keşfinden beri çok gelişmiştir. Altın, krom ve diğer metallerin birikimi ile yüzeylerin görünümünü iyileştirmenin ötesinde, korozyon, aşınma ve çizilme direnci, iletkenlik, manyetizma, lehimleme yeteneği gibi yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi modern kaplamaların odağı olmuştur. Modern yüzey kaplama yöntemleri arasında, elektrokaplama, elektroliz kaplama, kimyasal buhar biriktirme ve püskürtme teknikleri, anotlama ve soğuk sprey ve plazma spreyi gibi vakum birikimleri sayılabilir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı elektro ve elektroliz kaplamadır, bunların her ikisi de bir elektrolitin bir iletken, çoğunlukla sıvı, biriktirme için gerekli iyonları içeren bir ortamdan yararlanır [46].

Elektrokaplama, malzemelerin, genellikle metallerin, iyonik bir durumdan bir akımın sağladığı elektronların beslenmesiyle elde edilen bir yüzeye elektriksel olarak indirgenmesidir. Bir elektrolit olarak bilinen iyonik bir çözelti ve elektrolit içine daldırılan ve bir elektron kaynağına bağlanan iki elektrik iletkeni veya elektrottan oluşan bir elektrolitik hücre içinde birikme meydana gelir. Çökeltme için gerekli iyonları içeren elektrolitik ortam genellikle üç elektrolit tipinden biri tarafından sağlanır: sulu çözeltiler; erimiş tuzlar veya artan “iyonik sıvılar”⁵.

⁴ “Fe, Ni, Co ya da onların alaşımlarından oluşan ferromanyetik bir metal Cr, Mo, Cu, Ag, Au, Ru gibi manyetik olmayan metallerin tabakalar halinde üstüste dizilmesi ile oluşan bazı çok katmanlı yapılar [48].”

⁵ “İyonik sıvılar için diğer yaygın terimler, oda sıcaklığı iyonik sıvılar veya oda erimiş tuzlardır [50].”

Üç elektrolit tipinin her biri, metal iyonlar için farklı bir çözücü kullanır, ancak bunların hepsi birikme amacıyla sıvı olarak bulunur. Sulu çözeltiler elektrolitin en yaygın tercihidir ve suda çözünmüş iyonlar içerir. Birikim için gerekli iyonlar, erimiş tuzlar ve iyonik sıvılar, erime noktasına kadar metal tuzlarının sıcaklığının artırılmasıyla üretilen erimiş tuzlara sahip su içermez ve iyonik sıvılar, genellikle iyonik organik tuzlar ve metal tuzlarından oluşan oda sıcaklığında, sıvı veya oda sıcaklığında sıvıdır [46].

3.1. Kaplamaya Etki Eden Faktörler

➤ Akım yoğunluğu, normal olarak elektrot yüzeyinin (mA / dm^2) cinsinden ifade edilen birim alandaki akımdır. Düşük akım yoğunluklarında, yüzeydeki iyonların difüzyonu, elektron transferine göre daha hızlıdır ve atomlar, daha sonra mükemmel birikim ile sonuçlanan kıvrımlı bölgelere doğru hareket eder. Ayrıca, akım yoğunluğundaki artışla, iyonların difüzyonu yavaşlar ve atomlar en uygun pozisyonlara ulaşamayabilir. Ancak, mevcut yoğunlukların daha yüksek olduğu durumlarda, düzensiz kaplamaya neden olan çekirdek oluşumunda bir artış olacaktır. Elektroliz edilecek malzemenin yüzeyine parçacıkların / atomların gevşek bağlanması ile birlikte hidrojen oluşma şansı olacaktır. Hidrojen oluşumu oksitler ve hidroksitler oluşması ile sonuçlanır. Bu nedenle, elektrokaplama amacıyla mümkün olan en iyi akım yoğunluğunu belirlemek ve kullanmak önemlidir [35].

➤ Kaplama banyosu, metal tuzunun bir solüsyonunu içerir ve aynı zamanda kaplama işlemini iyileştirmek için, kaplama banyosu, katkı maddeleri (organik), tamponlar, elektrolitler ve kompleksleştirici maddeler ile ilave edilir [35].

a) Metal iyonları: Optimum metal iyonu (basit bir iyon veya kompleks iyon) konsantrasyonu normal olarak $1\text{-}3 \text{ mol dm}^{-3}$ tür. Daha yüksek konsantrasyonlar, zayıf depozitlere yol açan kütle transferini artırır [49].

b) Diğer elektrolitler: Elektroliz banyosunun iletkenliğini arttırmak için başka elektrolitler eklenir. Bunlar herhangi bir reaksiyona sahip olan kaplama banyosuna yardımcı olmaz. Bunlar sadece kaplama banyosunun iletkenliğini arttırmaya ve ayrıca pH'daki değişimi kontrol etmeye yardımcı olur [35].

c) Kompleksleştirici ajanlar: Bunlar, elektroliz tabakalar ve yüzey arasındaki yapışmayı arttırmak için ilave edilir. Bunlar ayrıca ince taneli tabakaların

oluşturulmasında da yardımcı olurlar. Daha sıklıkla elektro kaplamada kompleks iyonlar kullanılır. Avantajları;

- ❖ Kaplama iyonunun katot metali ile reaksiyona girdiği bilinmektedir.
- ❖ Daha düşük bir potansiyelde kaplama yapabilmek.
- ❖ Kaplamanın verimliliğini arttırmak.
- ❖ Elektrokaplama banyosunun kaplama gücünü arttırmak.

Kompleksleştirici ajanların örnekleri siyanürler, hidroksitler ve sülfamatlardır. Bakır, gümüş, altın, çinko ve kadmiyum siyanür iyonları varlığında düzgün tortular halinde kaplanır [35].

d) Organik Katkı Maddeleri: Süzgeçler ve parlaticılar, ıslatıcı maddeler ve yapı değiştiriciler gibi organik katkı maddeleri, galvanik tankın özelliklerini ve dolayısıyla yüzeylerdeki kaplamaları değiştirmek için kullanılır [35].

✓ Parlaticılar: Bunlar temel olarak kaplama yüzeyler için parlak bir son vermek için kullanılır. Bunlar tank içine eklendiğinde ince tortu verir. Parlaticı olarak $C\equiv N$, $N=C=S$ yada $C=O$ grupları (örneğin tiyoüre ve kumarin) içeren aromatik sülfonlar ve moleküller kullanılır.

✓ Düzeyleştiriciler: Kaplama, çatlak veya dislokasyon bölgelerinde hızla gerçekleşir. Bunlar iyonları çeken ve yüzeyde düzgün olmayan kaplama kalınlığının üretilmesiyle sonuçlanan bölgelerdir. Bu nedenle, bu tür sorunların üstesinden gelmek için, kaplama banyosuna düzeyleştiriciler eklenir. Düzeyleyiciler daha hızlı birikime eğilimli bölgelere girerler, böylece elektron transfer hızını azaltırlar.

✓ Yapı değiştiricileri: Yaygın olarak stres gidericiler olarak bilinir ve elektrodpozitlerin özelliklerini değiştirme kapasitesine sahiptir. Sakarin en sık kullanılan stres giderici. Çoğu zaman elektro-çökelti artık gerilmelerin oluşmasına neden olabilir ve bunun sonucunda birikintilerin mikro çatlamasına neden olabilir.

✓ Islatıcı ajanlar: Elektro kaplama sırasında, katotta hidrojen oluşur ve katodun yüzeyinde hidrojenin serbest kalması için ıslatıcı maddeler eklenir. Bu maddeler, kaplama banyolarının, çökelti azaltılmış kırılabilirliği gibi özellikleri elde etmesine yardımcı olarak, düzgün bir tesviye ve homojen kaplama sağlamak için, ıslatıcı bir madde olarak Sodyum lauril sülfat kullanılmaktadır.

e) pH: Kaplama banyosunun pH'ı artarsa, o zaman çözünmez hidroksitler ile kaplanan elektrot olasılıkları daha fazla olur. Bu nedenle pH değeri 4 - 8 arasındadır.

Kaplama çözeltisinin pH'ını kontrol etmek için kaplama işlemi sırasında tamponlar eklenir [35].

f) Sıcaklık: Katotdaki hidrojen serbestleşmesinin diğer nedenlerinden biri yüksek sıcaklıktır. Banyodaki sıcaklık artışı kaplama tankının korozyonuna neden olabilir. Ayrıca, yüksek sıcaklıktan dolayı organik katkı maddelerinin bazen ayrışması gözlemlenmiştir. İyi çökeltiler için, yüzey difüzyonunu arttıran ve hidrojen oluşumunu azaltan makul sıcaklığa sahip olmak önemlidir. İyi çökeltiler için optimum sıcaklık 35 ve 60 °C aralığında olabilir [35].

g) Kaplama Gücü: Kaplama banyosunun / tankın kaplama gücünün bilinmesi, karmaşık şekillerin alt tabakalarının kaplanması sırasında özellikle önemlidir. Söz konusu nesnenin yüzeyini tamamen kaplayabilme yeteneği, kaplama banyosunun kaplama gücü olarak adlandırılır. Substratta homojen dağılım gözlenirse, kaplama gücünün iyi olduğu söylenir [35].

❖ İletkenlik: Bu, herhangi bir karmaşık alt tabaka üzerinde tekdüze bir birikme oranına sahip olması için dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Kaplama banyosunun yüksek iletkenliği varsa, o zaman akımın dağılımı kaplama banyosunun her yerinde eşit olacaktır.

❖ Anotlar: Kaplama tankındaki anotlar için uygun ve en uygun pozisyonların tanımlanması ile düzgün birikim sağlanabilir.

❖ Kompleksleştirici ajanlar: kaplama banyosuna düzleştiricilerin ve parlaticıların eklenmesi kaplama gücünü artırır.

❖ Hidrojen oluşumu: Daha önce tartışıldığı gibi hidrojen oluşumu, katotlarda hidrojen gevrekleşmesi gibi önemli bir problem oluşturmaktadır.

3.2. Kaplama Yapabilmek İçin Gerekli Ekipmanlar

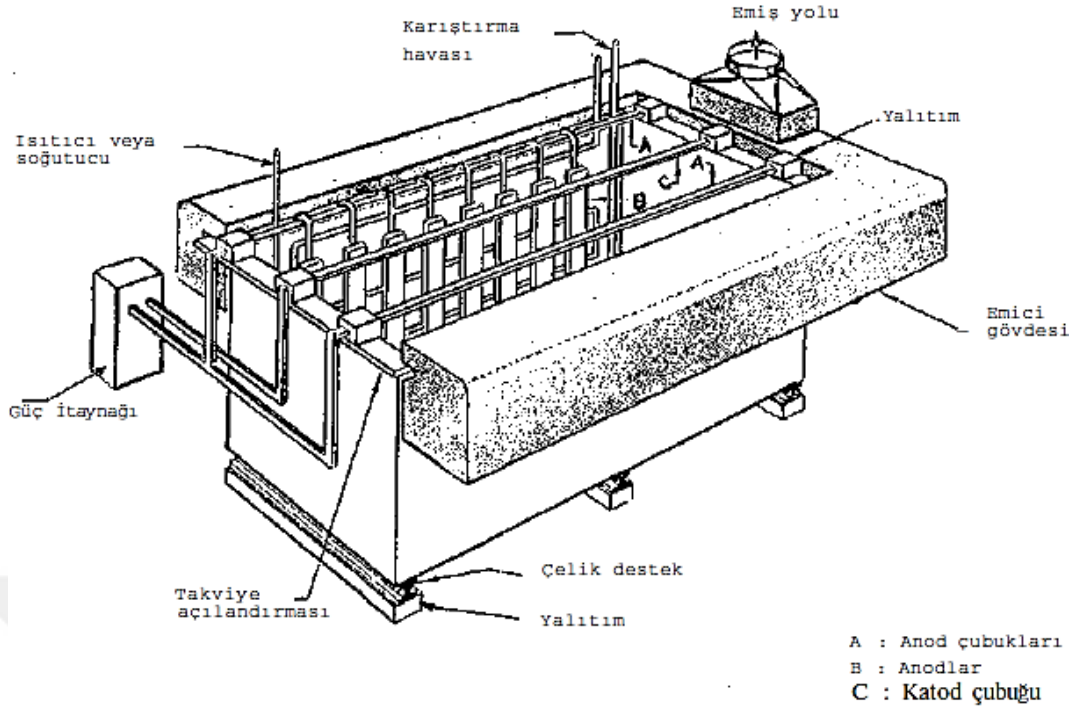
➤ Elektrokaplama tankı: Galvanik kaplama genellikle ısı yalıtımı sağlamak için tankın iç tarafındaki polimerik malzemelerle kaplanmış titanyum bir tankta taşınır [35].

➤ Isıtma İşlemi: Galvanik banyo, ısıtma serpantinleri veya sıcak gazlarla ısıtılır. Elektrolit havanın homojen sıcaklığını korumak için, kaplama banyosunda bir konveksiyon döngüsünün ayarlanmasına yardımcı olan düşük basınçlı bir kompresörden geçirilir [35].

- Elektrik kaynağı: Elektrokaplama işleminde genellikle 8 ila 12 volt DC voltaj kullanılır. Aynı zamanda 1 ve 200 mA / dm²'lik bir akım yoğunluğu arzu edilir. Bu, bir motor jeneratörü veya DC redresör üniteleri kullanılarak elde edilir [35].
- Elektrokaplama banyosu: Elektro kaplama için kullanılan solüsyon iletken olmalıdır. Bazen elektrolitler, çözeltinin iletkenliğini ve dolayısıyla kaplama gücünü artıran belirli kimyasallarla karıştırılır. PH'ı korumak için, elektrolitler tamponlarla eklenir. Ayrıca biriktirme işlemini arttırmak için katkı maddeleri eklenir. Tankın, katodun ve anodun tamamen tankın içine daldırıldığını görmek için yeterli elektrolite sahip olması da sağlanmalıdır [35].
- Elektrokaplama tanklarında kullanılan filtreler: Elektrolitle karışan anotta metal parçacık veya çamur ihtimali ve rahatsız edici yumuşak çökelme süreci olduğu için kaplama banyosuna çok fazla dikkat edilmelidir. Filtreler yardımı ile bu metalik kirlilikler tutulabilir [35].
- Elektrotlar - Anot ve Katot: Elektrokaplama banyosuna giden güç (DC), bara veya kablolarla (pirinç, alüminyum veya bakır) beslenir. Katot ve anot bu kablolarla bağlanır ve daha sonra tankın içine daldırılır. Anotlar, katot üzerinde bir birikinti oluşturan malzemelerdir. Anotlar plaka / çubuk şeklinde olabilir [35].

3.3. Plastiklerin Kaplanması

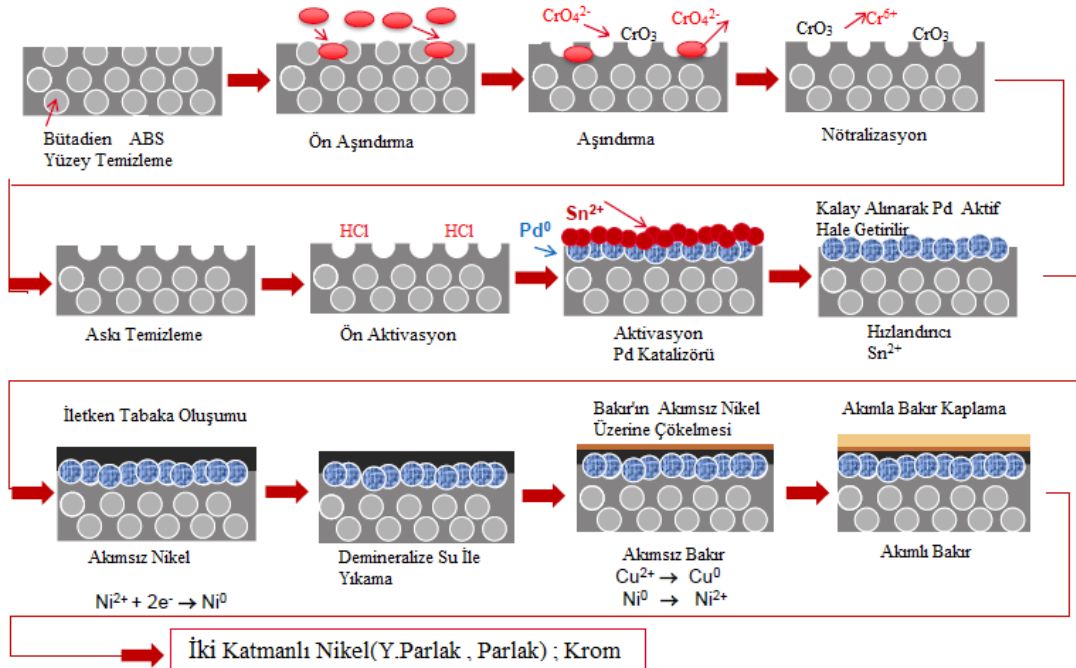
Elektrokaplama, bir elektrot üzerinde uyumlu bir metal kaplama oluşturmak için elektrik akımı kullanılmasını içerir. Elektro kaplama prosesinde kullanılan elektrolit, anot ile katot arasındaki elektriğin geçişi için iletken bir ortam olarak görev yapar. Kaplanacak numune, negatif kutuba bağlı katottur. Anot (pozitif), çözünen ve katoda biriken metaldir. Elektrik akımı elektrolitten geçtiğinde, negatif yüklü iyonlar anodiye doğru hareket etmeye başlar ve pozitif yüklü iyonlar katoda doğru hareket eder. Elektrolit aracılığıyla iyonların çıkışı devre içindeki elektrik akımı akışını oluşturur. Elektrolit içinde pozitif yüklü metalik iyonlar katot tarafından çekilir. Bu işlem nedeniyle yüzey kaplanır [35]. Şekil 3.1' de tipik bir elektroliz kaplama ünitesi gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Bir elektroliz (kaplama) ünitesi [49]

3.3.1. ABS plastiklerin metal ile kaplanması

Aşağıda gösterilen Şekil 3.2’de ABS plastiklerinin elektrokaplanmasının çeşitli adımlarını göstermektedir. ABS plastiklerin elektrokaplanması sırasında takip edilen çeşitli adımlar hakkında ayrıntılı bilgi, takip eden bölümlerde ele alınmıştır [35].

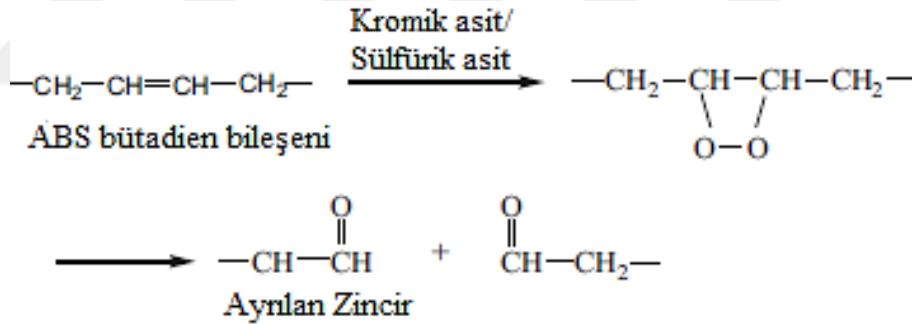


Şekil 3.2. ABS plastiklerinin kaplanma adımları [35]

➤ ABS yüzey temizleme prosesi; Temizleyiciler, parmak izleri, kir ve parçalardaki diğer döküntüler gibi hafif kirleri temizlemek için kullanılır. Genellikle hafif alkali temizleyicilerdir. Bazı durumlarda, aşındırma işleminden önce tırtıklı ya da harfli alanlarda bir parçanın tamamen ıslanmasını sağlamak için oldukça seyrek bir kromik asit çözeltisi kullanılabilir. Bu alanlarda nokta kaplama almamaları en aza indirecektir. Aşındırma işleminden önce temizlik isteğe bağlıdır ve parçaların makul derecede temiz olması durumunda genellikle kullanılmaz [50].

➤ Aşındırma prosesi; Aşındırıcılar genellikle, plastik yüzeyi farklı derecelerde yiyip, iki görevi olan güçlü oksitleyici çözeltilerdir. Birincisi, yüzey alanı büyük ölçüde arttırılır, bu da parçanın hidrofobik (sudan nefret eden) bir hidrofilik (su seven) malzemeye dönüşmesini sağlar. İkincisi, plastiğin yüzeyinde bırakılan mikroskopik delikler, biriktirilmiş metal için bağlanma bölgelerini temin etmektedir. Bu alanlar plastik ile metal arasındaki yapışma için gereklidir [50].

Kromik asit ve sülfürik asit ile ABS aşındırma mekanizması Şekil 3.3' de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. ABS aşındırma mekanizması [79]

ABS bir etişe maruz kaldığında, bütadien seçici olarak çıkarılır, böylece küçük delikler veya bağlanma alanları bırakılır. ABS için yaygın olarak kullanılan aşındırıcılar şunlardır Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Aşındırma banyosu konsantrasyonları [50]

Krom trioksit	375 g / L	450 g / L
Sülfürik asit	350 g / L	360 g / L

Tüm kromlu aşındırmalar, her bir litre aşındırıcıda bir kaç mililitre sülfürik asit gerektirirler. Aşırı aşınmayı önlemek için yeni bir krom banyosunda yaklaşık 40 g / L'lik üç değerlikli kromun bulunması da tercih edilir. ABS yüzey aşındırıcıları genellikle ABS'de 4 - 10 dakika süreyle 60 - 70 ° C arasında çalıştırılır. Diğer plastikler daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklar ve süreler gerektirebilir. Örneğin polikarbonat, 76 ° C'de 10 dakika süreyle bir aşındırıcı kullanır, mineral takviyeli naylon (MRN) ise 2 dakika boyunca 40 ° C'de bir aşındırıcı kullanır [50].

Krom bazlı aşındırıcılar kullanıldığında, plastik saldırıya uğradığında aşağıdaki indirgeme reaksiyonu meydana gelir:



Belirli bir Cr^{+3} birikiminden sonra ("krom-sülfürik" tipte aşındırıcıda yaklaşık 40 g/L), aşındırıcı uygun şekilde çalışma yeteneğini kaybetmeye başlar. Krom oksit formunda daha fazla Cr^{+6} eklenmesi, bir süre aşındırıcının ömrünü uzatır, ancak Cr^{+3} fazlasını ortadan kaldırmak daha iyidir [50].

Aşırı üç değerlikli krom elektrolitik olarak yeniden üretilebilir. Bu, hacimce % 10 - 50 oranında H_2SO_4 içeren bir elektrolit içeren gözenekli kaplar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bakır veya paslanmaz çelik katotlar daha sonra gözenekli seramik potalara yerleştirilir. Tank veya kurşun askıları anot olarak kullanılabilir. Her zamanki anot katot oranı 2: 1'dir. Kullanılan voltaj 60 - 70 °C arasındaki bir sıcaklıkta 9 ila 12 V'dir. Akım 15 cm çapında 45 cm uzunluğundaki gözenekli potA için 100 - 150 amperdir. Bu rejenerasyon işlemi ile banyoda üç değerlikli kromun miktarı 20 g / L olarak bulunur. İlgili reaksiyon:



➤ Nötralizasyon prosesi; Aşındırma işleminden sonra, parçalar su içinde iyice durulanır ve daha sonra bir nötrleştiriciye konur. Bunlar, sodyum bisülfid gibi malzemeler veya genellikle kimyasal indirgeme yoluyla parçalardan ve askılardan fazla aşındırıcıları ortadan kaldırmak için tasarlanan mevcut bir üründür. Hekzavalent krom (Cr^{+6}) sonraki adımlarda zararlıdır. Mükemmel durulamada bile, mikro ve makro deliklerde aşındırıcı madde kalabilir. Bu işlem durdurulmadığında sonraki adımlarda

“toz alma” sonucunda “kaplama almama” oluşabilir. Nötrleştiriciler genellikle telafi etmek için genellikle ucuzdur ve genellikle düzenli olarak atılır ve yeniden yüklenir. Bunlar genellikle hava çalkalama ile 1 - 3 dakika boyunca 20 - 40 °C arasında çalışır [50].

➤ Ön Aktivasyon prosesi; Nötralizasyon ve durulamadan sonra, polipropilen veya polifenilen oksit gibi bazı reçineler için bir ön aktivasyon kullanılabilir. Bu tescilli malzemeler öncelikle aktivatör emilimini arttırmak için tasarlanmıştır. Genellikle heksavalent kromu azaltmazlar. Ön aktivatörler, bir film oluşturarak veya yüzey yükünü değiştirerek reçine yüzeyini yumuşatmak suretiyle yer değiştirilemeyen reçinelerin yapılmasına yardımcı olur. Bir ön aktivatörün seçilmesinde dikkatli olunmalıdır, çünkü aşırı kullanılması ve askı kaplamaya direnç gösterebilir. Bu banyolar için tipik parametreler 1 - 3 dakika boyunca 20 - 50 ° C'dir. Parçalar elektrolitik kaplama banyosundan tamamen kaplanmışsa, ön aktivasyonun çalıştığını gösterir [50].

➤ Aktivasyon prosesi; Aktivatörler veya katalizörler, çoğu durumda paladyum, platin veya altın gibi bazı değerli metalleri içeren malzemelerdir. Günümüz katalizör kombinasyonları esas olarak; paladyum klorür, kalay klorür ve hidroklorik asit oluşmaktadır. Pd^{+2} iyonunun Pd^0 'a indirgenme reaksiyonu aşağıdaki gibidir [50]:



Pd^0 bölgeleri, kimyasal nikeli depolamak için gerekli olan katalitik yüzeyi oluşturur.

Tipik aktivasyon banyosu kimyasal ve miktarları Tablo 3.2' de verilmiştir;

Tablo 3.2. Aktivasyon banyosu kimyasal ve miktarları [50]

Kimyasal	Konsantrasyon
Kalay klorür	5-6 g/L
Paladyum klorür	5-6 g/L
Hidroklorik asit	250ml/L

Klorür iyonu hidroklorik asit veya sodyum klorür ile korunabilir. Bir parçayı işlerken, ilk fark edilen değişiklik aktivasyondan sonra belirgindir. Parça kahverengimsi bir renge sahip olur. Bu renklenme, parça siyah olmadıkça kolayca görülebilir ve aktivatörün çalıştığına bir işarettir. Parçada renklendirmenin olmaması genellikle

kaplama almama ve muhtemelen düşük yapışma ile sonuçlanabilecek bir problemi gösterir [50].

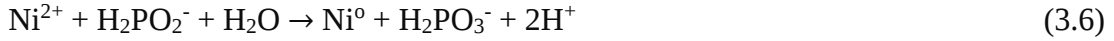
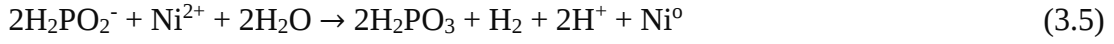
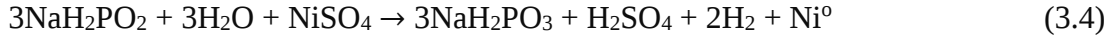
Aktivasyon banyolarının birincil amacı plastik yüzeyde katalitik bölgeler sağlamaktır. Aktivasyon banyosu için alışılmış çalışma koşulları 2 - 5 dakika boyunca 30 - 35°C ' dir. Bu, sistemdeki en pahalı banyo olduğundan, düzenli olarak analiz edilmeye özen gösterilmektedir. Banyo kullanılmadığında bile Sn^{+2} sürekli olarak Sn^{+4} ' e oksitlendiği için kalay analizi gereklidir. Neredeyse tüm Sn^{+2} oksitlendiğinde, banyo “çöker” [50].

➤ Hızlandırıcı prosesi; Aktivasyon sonrası durulama yapılarak, hidrolize edilmiş kalay hidroksit ile çevrelenmiş parçanın yüzeyinde metalik paladyum bulunur. Paladyum bir katalizör olarak hareket etmeden önce fazla miktarda kalay hidroksit bölümden çıkarılmalıdır. Bir hızlandırıcının rolü sadece budur. Elektrik banyosunun çökeltmesi için paladyum alanlarından ayrılırken parçadaki fazla kalayı çıkarmaktır. Kalay, elektroliz banyosunun etkisini engeller, bu da reaksiyonu yavaş başlatma ve muhtemelen kaplama almama ile sonuçlanır [50].

Bu adım önemlidir, banyoda çok kısa bir süre olduğu kadar çok uzun bir süre de kaplama almamaya neden olabilir. Bu banyolar genellikle organik veya mineral asitlerdir. Hızlandırıcılarla en büyük sorun metalik kontaminasyonun etkisidir. Çoğu banyo, herhangi bir altı değerlikli kromu ortadan kaldırmak için yerleşik bir redüktör içerir. Krom, mikro ve makro deliklerde veya kötü askı uçlarında çizgi boyunca sürüklenebilir. Hekzavalent krom, demir ve diğer metaller gibi bu kirletici maddeler gazın aşırı agresif olmasına neden olabilir. Bu gaz, sadece kalayı değil, aynı zamanda paladyumu da çıkarmasına neden olur. Bu meydana geldiğinde, kaplama almamaya neden olabilir. Bazı maddeler bu kirletici maddelerin etkisini en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Hızlandırıcılar genellikle 2 - 5 dakika boyunca 45 - 60°C arasında çalışır.

➤ Akımsız nikel prosesi; Durulamadan sonra parçalar, ön plaka döngüsünde son aşamaya konur. Bu, plastik yüzeyde kimyasal indirgeme ile ince, yapışık bir metalik film, genellikle bakır veya nikel biriktiren elektriksiz banyo. Bu, bir metal tuzu, bir redüktör, metal için bir kompleks, bir stabilizatör ve bir tampon sistemi içeren yarı-kararlı bir çözelti kullanılarak gerçekleştirilir. Banyolar boştayken stabildir. Ancak paladyum içeren bir yüzey solüsyona sokulduğunda, paladyum sahalarında metalin kimyasal olarak indirgenmesi gerçekleşir ve otokataliz yoluyla parça çıkarılınca

kadar devam eder [50]. Hipofosfitli banyolarda nikel iyonunun redüklenmesi aşağıdaki üç reaksiyondan birindeki gibi gerçekleşir [52]:



Kullanılan akımsız nikel, genellikle kısmen amonyum hidroksit ile kompleks haline getirilmiş bir alkalın banyodur. Yaklaşık 9,0 pH' da 5 - 10 dakika boyunca 80 - 100°C arasında çalıştırılır. Nikel kalınlığı 8 - 12µ arasında değişebilir ve 50 - 20 ohm arasında bir dirence sahip olmalıdır. PH, amonyum hidroksit ile kontrol edilir [50].

Çoğu uygulama için, akımsız nikel yeterlidir, çünkü elektrik banyosunun ana işlevi yüzey iletkenliğini meydana getirir. Otomotiv endüstrisi, elektrolitik bakırın nemli ve korozif bir ortamda kabarmaya daha az eğilimli olduğunu gösteren çalışmalar yaptı. Bu nedenle, çoğu dış otomotiv parçaları, elektriksiz bakır ile işlenir [50].

➤ Akımsız bakır prosesi; Elektroliz veya otokatalitik, metal kaplama, çözeltiden elektrolitik olmayan bir çökeltme yöntemidir. Bir elektroliz kaplama çözeltilisinin gerekli minimum bileşenleri, bir metal tuzu ve uygun bir indirgeyici maddedir. Ek bir zorunluluk, çözümün, termodinamik olarak kararsız olmasına rağmen, uygun bir katalize yüzey elde edilene kadar pratikte stabil olmasıdır. Kaplama daha sonra katalize edilmiş yüzey üzerinde başlatılır ve kaplama reaksiyonu, kaplanmış metal yüzeyin kendisinin katalitik doğası ile sürdürülür. Bu elektroliz kaplama tanımı, gümüş aynalama solüsyonları gibi tüm yüzeylerde kendiliğinden plakalanan çözeltileri (homojen kimyasal indirgemeyi) ve yer değiştirme üzerine nispeten asil bir metalin çok ince bir filminin yer değiştirmesiyle biriktiren daldırma kaplama banyosudur. Genel reaksiyon (3.7) de gösterilmiştir [53]:



➤ Akımlı bakır prosesi; Asit sülfat banyolarının kimyasal bileşimi basittir. Bakır sülfat pentahidrat ve sülfürik asit, bakır sülfat elektrolitinin ana bileşenleridir. Metal iyonları bakır sülfatla döşenmiştir [54].

- Sulfurik asit: Çözelti iletkenliğini artırır ve anotlar ve tank üzerinde zayıf anot korozyonuna ve pürüzlülüğe neden olan temel bakır veya bakır kristallerin oluşumunu önlemeye yardımcı olur. Düşük sulfurik asit içerikleri daha yüksek akım yoğunluğu, daha düşük tesviye, daha düşük akımlı yoğunlukta donukluk ve daha fazla nodüler birikinti oluşturur. Yüksek sulfurik asidin depozit üzerinde daha az etkisi vardır, ancak anot çözünmesini artırır. % 95 ile % 100 arasında katot verimliliği ile, bakır sülfat banyosunun kullanımı ve kontrolü kolaydır [54].

Birçok bakır sülfat kaplama çözeltisi, pürüzsüz, ince, parlak, düz ve sünek kalıntıların üretilmesi için katkı maddelerinin kullanılmasını gerektirir. Bakır sülfat kaplama çözeltilerinde kullanılan ilave maddelerin çoğu, özel formülasyonlardır. Bu özel katkı maddeleri bakır kaplamanın arzu edilen özelliklerde üretebilmektedir ve çökeltme sertliği gerektiğinde artırılabilir [54].

- Hidroklorik asit: Parlak çökeltiler üreten bakır sülfat sistemlerinde, çizgili birikintileri önlemek için birincil bileşenlere ek olarak bir katalizör eklenmelidir. Bu katalizör, klorürdür. Genellikle hidroklorik asit olarak eklenen klorür, kaba nodüler levhanın oluşmasını engeller. Düşük klorür, tesviye kaybı, parlaklık kaybı, çukurlaşmaya ve kötü anot korozyonuna ve yüksek akım yoğunluklu alanlarda karanlık birikimine neden olabilir. Yüksek klorür, parlak banyo formülasyonlarında çizgiler, artan parlaticı kullanımı ve tesviye ve parlaklık kaybına neden olur. Yüksek klorür çinko tozu işlemleri veya gümüş ile çöktürme ile azaltılabilir [54].

Çözelti çalkalaması veya iş hareketi en az ise, mevcut yoğunluklar aşılmamalıdır. Yaklaşık $4,5 \text{ A/dm}^2$, çünkü aşırı anot polarizasyonu meydana gelebilir ve tortular süngerimsi olabilir. Elektrotipler veya tel kaplama gibi daha yüksek akım yoğunluklarının istendiği yerlerde, hava çalkalaması kullanılır. İyonik yayılımı hızlandırmak ve akım yoğunluklarının 10 A/dm^2 'yi aştığı yerlerde yüksek kaliteli, ince taneli tortular üretmek için hava hareketi gereklidir [54].

- Bakır sülfat; Dışarı sürüklenme oranlarının düşük olduğu veya uygunsuz anot-katot oranlarının bulunduğu durumlarda, bakır metalin hızlandırılmış birikmesini önlemek için dikkatli olunmalıdır. Bakır sülfatın konsantrasyonundaki bir artış, çözelti direncini artırır ve anodu ve katot polarizasyonunu hafifçe azaltır. 248 g/L 'yi aşan bakır sülfat konsantrasyonları, kaplama çözeltisinde tuz kristalleşmesine neden

olabilir. Normal banyo bileşimi, banyonun bir kısmı atılarak ve su ve sülfürik asit ilave edilerek geri kazanılır. Baskılı devre levhalarının kaplanması için kullanılan bazı parlak bakır sülfat banyolarının kaplama gücünü arttırmak için düşük bir bakır sülfat ve yüksek sülfürik asit elektroliti kullanılır. Bu elektrolitin kullanımı, baskılı devre kartının geçiş deliklerinin kaplanması sırasında hemen hemen eşit bir çökme dağılımına izin verir [54].

Sıcaklık değişikliklerinin tane yapısı üzerindeki etkisi ve bakır sülfat banyosundan kaplanan tortuların yüzey düzgünlüğü katot akım yoğunluklarındaki değişimin etkisinden daha azdır. Sıcaklık artışı, daha yüksek iletkenliğe ve azaltılmış anot ve katot polarizasyonuna yol açar. Artan sıcaklık ayrıca tortuların gerilme mukavemetini azaltır ve tane boyutunu artırır. Özelleştirilmiş parlaticı formülasyonlarının kullanıldığı bakır sülfat banyolarında aşırı sıcaklıklar önlenmelidir, çünkü daha az kaplama aralıkları, aşırı katkı kullanımı ve solüsyon içerisinde parçalanmış parlaticı kontaminasyonu artar [54].

Sülfat elektrolitlerinde gümüş, altın, arsenik ve antimon gibi safsızlıklar bakır ile birlikte çökebilir. Arsenik ve antimon bakır tortularının kırılgan ve sert olmasına neden olur ve gümüş pürüzlülüğe neden olabilir. Nikel ve demir kirleri kaplama banyosunun iletkenliğini azaltır. Çözünür silikatlar kaplama üzerine çökebilir. Solüsyona ilave edilen ajanların ayrışması ile oluşan ürünlerin, tank kaplamalarında ve anot torbalarında organik kirlenme, kırılgan veya renksiz tortulara neden olabilir. Bu organikler, aktif karbonla işleminden geçirilerek elektrolitten çıkarılabilir [54].

Genel olarak asit bakır kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma koşulları aşağıdaki Tablo 3.3’de özetlenmiştir [54].

Tablo 3.3. Asitli bakır kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma koşulları [54]

Banyo bileşimi, g/L	
Bakır sülfat, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	200-240
Sülfürik asit, H_2SO_4	45-75
Hidroklorik asit, HCl	0,02-0,1
Banyo analizi, g/L	
Bakır	50-60

Tablo 3.3. (Devam) Asitli bakır kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma koşulları [54]

Sülfürik ait	45-75
Hidroklorik asit, ppm	20-100
Özgül ağırlık 25°C	-----
Çalışma koşulları	
Sıcaklık, °C	20-50
Akım yoğunluğu, A/dm ²	2,0-10,0
Katot verimi, %	95-100
Voltaj, V	6
Anot	Bakır(%99,96 Cu,%0,04P)

➤ İki katmanlı nikel (Y.Parlak Ni-Parlak Ni) prosesi; Çift katmanlı kaplamalar, krom uygulanmasından önce iki katman nikel, bir yarı parlak nikel (semibright nickel) ve bir parlak nikel (bright nickel) elektro depozisyonunu içerir. Birinci tabaka (yarı parlak nikel) bir veya daha fazla sülfür içermeyen organik katkı maddesi içeren bir Watts-tipi banyo formülasyondan oluşur. Yarıparlak nikel tortuları ağırlıkça %0,005'ten az S (kükürt) içerir ve geniş bir akım yoğunluğu aralığında yarı, düzgün ve ince tanelidir. Tortuların sütun yapısı ve iyi sünekliği vardır. Yarı parlak nikel kaplama banyosunun tipik bileşimi ve çalışma koşulları Tablo 3.4'de verilmiştir. Birikintinin iç stresi artan nikel klorit içeriği ile artar; birikintiler aynı zamanda renkte eşit olmayan ve yüksek klorid seviyelerinde aynı seviyelenme eğilimindedir. Yarı parlak nikel çözeltileri için organik katkı maddelerinin konsantrasyonları genellikle 0,05'den 0,5 g/L'ye oldukça düşüktür. Bu katkı maddelerinin örnekleri, 1,4-bütindiol (veya olefinik veya asetilenik doymamış başka alifatik bileşikler), formaldehit, kumarin ve etilen siyanohidrin'dir. Yarı parlak nikel kaplama çözeltileri genellikle tek başına veya kombinasyon halinde anyonik yüzey aktif maddeler ve antipitting maddeler içerir [55].

Yarı parlak nikel üstüne yerleştirilen parlak nikel tabakası, toplam nikel kalınlığının 5-8 µm ile yaklaşık %20-35 arasında değişebilir. İdeal olarak, yarı parlak katkı maddesi veya katkı maddeleri ile uyumlu bir banyodan kaplanmalıdır, çünkü çoğu çift katmanlı sistemlerde yarı parlak katkı maddesi parlak nikel banyosunda bir parlaticı veya yardımcı bir parlaticı olarak işlev görür [55].

İç stresin parlaklığını, seviyelerini ve kontrolünü sağlamak için organik ve inorganik birçok madde uygun konsantrasyonlarda kullanılır. (Tesviye işlemi, tortunun, nikelin kalınlığı arttıkça biriktiği yüzeyden daha yumuşak hale gelme kabiliyetidir.) Parlak nikel kaplama çözeltilerinde katkı maddesi olarak kullanılan maddeler, aşağıdaki üç terim ile tarif edilebilir: taşıyıcılar, yardımcı parlaticılar ve parlaticılar [55].

Tablo 3.4. Nikel kaplama banyolarının bileşimleri, çalışma koşulları ve mekanik özellikleri [55]

Banyo bileşimi(a), g/L	Yarı Parlak Nikel(b)	Parlak Nikel
Nikel sülfat, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	300	225-400
Nikel klorid, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	35	30-60
Borik asit, H_3BO_3	45	30-45
Mekanik Özellikler(c)		
Çekme mukavemeti, MPa	----	345-485
Uzaman, %	8-20	10-30
Vickers sertliği, 100gram yük	300-400	130-200
İç stres, MPa	35-200(gerilme)	125-210(gerilme)
Çalışma koşulları		
Sıcaklık, °C	54	44-66
Akım yoğunluğu, A/dm ²	3-10	3-11
pH	3,5-4,5	2-4,5
Karıştırma	Hava, Mekanik hareket	Hava, Mekanik hareket
Anot	Nikel	Nikel

*a) Nikel kaplama için formüle maddeler antipiting genellikle çukurlaşmayı kontrol etmek için ilave edilir. b)Yarı parlak nikel kaplama için kaplama malzemelerinden elde edilen organik katkı maddeleri gereklidir. c)Parlak nikel tortularının tipik özellikleri aşağıdaki gibidir: uzama,% 2 ile 5, Vickers sertliği, 100 gram yük, 600 ile 800; iç stres, 12 ile 25 MPa (basınç).

➤ Krom +6 prosesi; Elektroliz işlemi için elektrik, elektrolit içine daldırılmış elektrotlardan geçirilir. Elektrotlardan biri, kaplamanın gerçekleştirileceği substrat (katot) ve diğer adı anot olarak adlandırılan elektrolit içinde çözülecek ve çalışma altındaki bir substrat üzerinde birikmeye yardımcı olacaktır. Katot elektrolit içine ancak gerekli ön işlem prosedürlerinden geçtikten sonra batırılır. Kaplama banyosu gerekli sıcaklıkta tutulur. Kaplama süresi, kaplanacak olan substratın karmaşıklığına bağlıdır. Bazen kaplama süresi birkaç saniyeden birkaç dakikaya değişir. Kaplama

kalınlığı birkaç mikrondan 100 mikrona kadar değişebilir. Tablo 3.5’de krom kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma şartları verilmiştir [35].

Tablo 3.5. Krom kaplama banyolarının bileşimleri ve çalışma şartları [55]

Banyo bileşimi, g/L	
Kromik asit, CrO ₃	200-400
Kromik asit/sülfat	80/1 -125/1
Çalışma koşulları	
Sıcaklık, °C	38-49
Katot akım yoğunluğu, A/m ²	810-1885
Katot verimi, %	8-12
Anot	Çözünmez anot (Pb %97 + %3 Sn)

Kaplama banyosu, Cr’nin +6 oksitlenme durumunda olduğu CrO₃’ü içerir. Bu H₂SO₄ tarafından sağlanan SO₄²⁻ varlığında bir dizi karmaşık reaksiyonla +3 oksidasyon durumuna indirgenmiştir. Cr³⁺ iyonları, substrat üzerinde biriken element Cr’ye indirgenir. Cr kaplama işlemi sırasında meydana gelen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir [35].

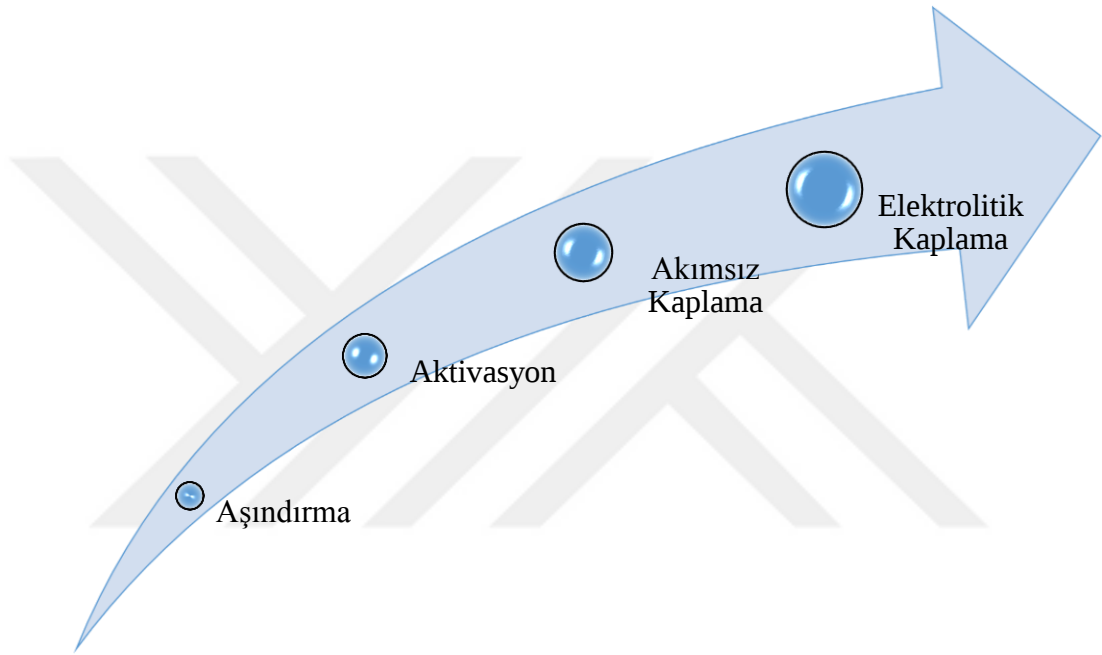


İyi tortular(birikim) elde etmek için Cr³⁺ iyonlarının miktarını kısıtlamak şarttır. Cr³⁺ iyonlarını kontrol etmek için, çözünmeyen anotlar, kurşun oksit tabakası ile kaplanır. Bu, Cr³⁺ ile Cr⁶⁺ oksidasyon durumunu oksitler. Genellikle Cr’den yapılan anotlar Cr

kaplamada kullanılmaz ve büyük konsantrasyonlarda Cr^{3+} iyonların varlığında elde edilen Cr'nin siyah birikiminin oluşmasından kaynaklanır [35].

3.3.2. PA plastiklerin metal ile kaplanması

Aşağıda gösterilen Şekil 3.4'de PA plastiklerinin elektrokaplanmasının çeşitli adımlarını göstermektedir. PA plastiklerin elektrokaplanması sırasında takip edilen çeşitli adımlar hakkında ayrıntılı bilgi, takip eden bölümlerde ele alınmıştır.



Şekil 3.4. P6 Plastikleri elektrokaplama ile ilgili adımlar

➤ Aşındırma prosesi; Mineral dolgu maddesi, dolgu yüzeyinden çözünecek ve çıkarılacak uygun bir organik veya mineral asit ile temas ettirilerek reçine yüzeyinden çıkarılabilir. Normalde 4,0'dan az ve tercihen yaklaşık 1,0-3,0 arasında bir normalliğe sahip olan asitler genellikle tercih edilir. Tercihen, aşındırılacak parçalar, uygun bir asit banyosuna, yaklaşık 15-45°C'lik (60-110°F) bir çalışma sıcaklığında daldırılır. Uygun asitler, bunların sudaki konsantrasyonları ve daldırma süreleri, Tablo 3.6'da verilmiştir [56].

Tablo 3.6. PA aşındırma için uygun asitler, konsantrasyonları ve daldırma süreleri [56]

Asit	Konsantrasyon, Hacimce %	Daldırma Süresi, dk
Asetic	65-85	3-10
Kromik, CrO ₃	2-4	3-10
Sitrik	90-100	3-10
Formik asit	40-60	3-10
Glikolik asit	80-100	3-10
Hidrobromik(%40)	15-25	3-10
Hidroklorik	10-60	3-10
Hidroflorik	2,5-10	1-5
Laktik	90-100	3-10
Nitrik	20-40	3-10
Oksalik asit	40-60	3-10
Fosforik	7-13	3-10
Propiyonik	90-100	3-10
Sülfürik	10-20	3-10
Toluen sülfonik	10-40	3-10

Shigemitsu H. 'nin yapmış olduğu patent çalışmasında; İnorganik dolgu maddesi, tek başlarına veya bunların bir karışımı olarak kullanılabilen vollastonit, talk, cam elyafı, karbon fiber, vb. içerir.

Bu buluşun gerçekleştirilmesinde, yukarıda bahsedilen poliamid reçinelerinin herhangi birinin geleneksel bir kalıplama yöntemiyle kalıplanmasıyla elde edilen istenen kalıplanmış bir ürün ilk önce bir sulu stanik klorür çözeltisi ile ilk aşındırma işlemine tabi tutulur. Bu ilk aşındırma işleminden sonra, kalıplanmış ürün su ile yıkanır. Daha sonra bir sulu asit çözeltisi ile ikinci aşındırma işlemine tabi tutulur.

Sulu stanik klorür çözeltisinin konsantrasyonu, ağırlıkça %5 - 50, tercihen ağırlıkça % 5 - 40 arasındadır.

İkinci aşındırma işlemi için kullanılan asit, hidroklorik asit, fosfonik asit, borik asit ve benzeri gibi inorganik asitleri ve asetik asit, formik asit, oksalik asit ve benzerleri gibi organik asitleri ve özellikle hidroklorik asit ve asetik asit tercihen kullanılır. Asitin

sulu çözeltisinin konsantrasyonu ağırlıkça %50 veya daha az, tercihen ağırlıkça %3 - 40'tır. Aşındırma işlemlerinin sıcaklıkları, aşındırma çözeltilerinin konsantrasyonu göz önüne alınmakla birlikte belirlenmesine rağmen, bunlar genellikle 20 - 70°C'dir. Aşındırma işlemlerinin ve konsantrasyonlarının sıcaklıklarını ayarlamak için işlemin kontrol edilmesi açısından tercih edilir. Aşındırma çözeltilerinin temas ettirilme işlemlerinin süreleri 5 - 30 dakika arasındadır [57].

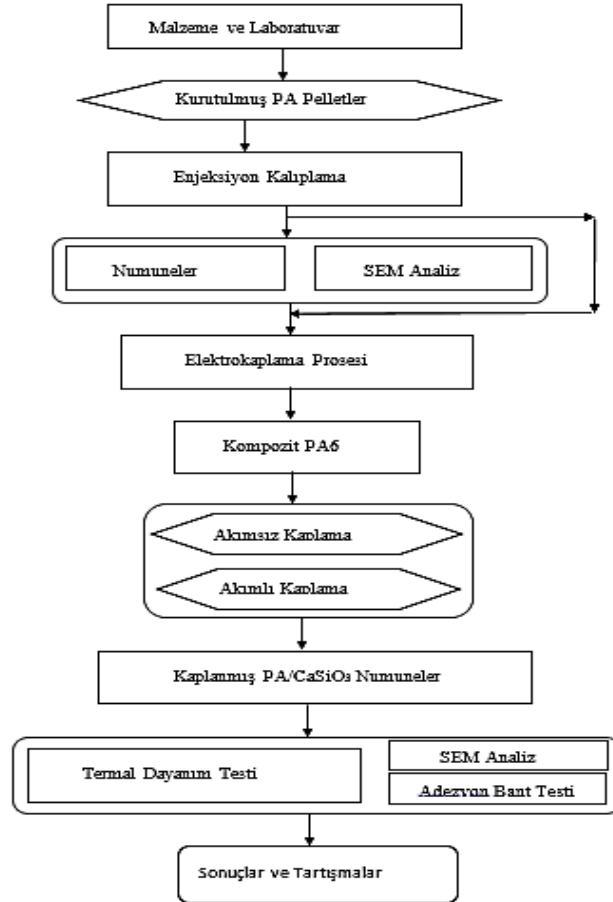
- Aktivasyon prosesi; Hassaslaştırıcı-aktif edici yöntem, kalıplanmış eşyanın yüzeyinde stanoz klorür, hipofosforik asit, hidragin klorür ya da benzeri, nispeten güçlü bir indirgeme maddesinin adsorbe edilmesini ve daha sonra kalıplanmış malzemenin bir katalizör çözeltisine daldırılmasını içerebilir. Altın, gümüş, paladyum veya benzeri soy metal iyonları, kalıplanmış ürünün yüzeyi üzerinde bir katalizör olarak biriktirilmesidir. Bu, katalizör-hızlandırıcı metodu, kalıplanmış malzemenin bir kalay-paladyum karma katalizör solüsyonuna daldırılmasını ve daha sonra, yüzey üzerinde bir katalizör olarak paladyumun depolanması için hidroklorik asit, sülfürik asit veya benzeri gibi bir asitle bahsedilen katalizör çözeltisinin aktive edilmesini içerir.
- Akımsız kaplama prosesi; Bir önceki bölümde ABS plastik kaplama için anlatılan akımsız nikel kaplama ve akımsız bakır prosesi geçerlidir. Bölüm 3.3.1 'e bakınız.
- Elektrolitik kaplama prosesi; Bir önceki bölümde ABS plastik kaplama için anlatılan akımlı bakır kaplama prosesi, çift katmanlı nikel (y. parlak nikel, parlak nikel) kaplama prosesi ve krom +6 kaplama prosesi geçerlidir. Bölüm 3.3.1 'e bakınız.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Örnek hazırlama aşamaları; PA6 M40 (%40 mineral dolgulu) polimer pelletler 4saat boyunca 80°C sıcaklıkta kurutularak standart test numuneleri oluşturmak için enjeksiyon kalıplama ile üretilir.

Sonra kalıplanmış PA numuneler elektrokaplama işlemine tabi tutulur. Bu çalışmanın en önemli kısmı PA numuneler için aşındırma, aktivasyon ve hızlandırıcı proseslerindeki süre ve konsantrasyon değerlerinin değiştirilmesidir. Bu parametrelerdeki değişim basamaklarında yüzey morfolojileri incelenmiştir.

Kaplanmış PA numunelerin yan kesitten SEM görüntüleri ve EDX analiz karakterizasyon çalışmaları, termal çevrim dayanım testleri yapılmıştır. Çalışmaya ait araştırma akış şeması Şekil 3.5 ' de verilmiştir.



Şekil 3.5. Araştırma akış şeması

4.1. Materyal

4.1.1. Hammadde

DuPont TM Minlon [®], sertlik, mukavemet ve çözgü direncini arttırırken, mükemmel kimyasal dayanım ve yüksek sıcaklıklarda özelliklerin tutulmasını sağlar. DuPont TM Minlon [®] takviyeli naylon, takviyesiz naylondan daha iyi boyutsal stabilite ve sürünme direnci ve cam takviyeli naylondan daha düşük bir çarpma sergilemektedir.

Hammaddeler orijinal olarak 3 mm'lik bir nominal granül boyutu ve rengi natural olan pellet formdadır. PA6'nın malzeme özellikleri sırasıyla Tablo 4.1'de listelenmiştir.

Tablo 4.1. PA6 %40 mineral dolgulu malzemenin özellikleri (Dupont)

Fiziksel	Kuru	Şarh	Birim	Test Metodu
Yoğunluk	1,45	--	g/cm ³	ISO 1183
Kalıp Çekmesi				ISO 294-4
Akış boyunca: 2mm	0,80	--	%	
Akış: 2mm	0,80	--	%	
Su emme				ISO 62
Doygunluk	5,4	--	%	
Denge	1,8	--	%	
Mekanik	Kuru	Şarh	Birim	Test Metodu
Çekme modülü(23°C)	6000	2200	MPa	ISO 527-2
Çekme gerilme(23°C)	87,1	59,0	MPa	ISO 527-2
Çekme germe(23°C)	10,0	25,0	%	ISO 527-2
Eğilme modülü(23°C)	5900	--	MPa	ISO 178
Darbe	Kuru	Şarh	Birim	Test Metodu
Charpy çentik darbe dayanımı				ISO 179/1eA
-30°C	4,0	5,0	kJ/m ²	
23°C	5,5	8,0	kJ/m ²	
Charpy çentiksiz darbe dayanımı				ISO 179/1eU
-30°C	95	95	kJ/m ²	
23°C	130kJ/m ²	Kırılma yok		
Çentikli ızod darbe dayanımı				ISO 180/1A
-30°C	4,0	4,5	kJ/m ²	
23°C	5,0	7,0	kJ/m ²	
Termal	Kuru	Şarh	Birim	Test Metodu
Isı sapma sıcaklığı				ISO 75-1/-2
0,45MPa	196	--	°C	
1,8MPa	110	--	°C	
Erime sıcaklığı, 10°C/min	221	--	°C	ISO 11357-1/-3

Tablo 4.1. (Devam) PA6 %40 mineral dolgulu malzemenin özellikleri (Dupont)

Eriyiğin ısı iletkenliği	0,27	--	W/(mK)	--
Vicat yumuşama sıcaklığı, 50°C/h, 50N	210	--	°C	ISO 306
Kimyasal Dayanım	İyi		Kötü	
Asetik asit(%5 kütlece), 23°C	☺		--	
Sitrik asit çözeltisi(%10 kütlece), 23°C	☺		--	
Laktik asit(%10 kütlece), 23°C	☺		--	
Hidroklorik asit(%36 kütlece), 23°C	--		☹	
Nitrik asit(%40 kütlece), 23°C	--		☹	
Sülfürik asit(%5 kütlece), 23°C	--		☹	
Sülfürik asit(%38 kütlece), 23°C	--		☹	
Kromik asit çözeltisi(%40 kütlece), 23°C	--		☹	

4.1.2. Kaplama için polipropilen tank

EKSAŞ AŞ. tarafından 2 adet 5l'lik Cu ve Ni elektro kaplama için polipropilen tank (PP) üretilmiştir. Kimyasal ve asite karşı dayanımı artırmak için tankın iç kısmı PVC ile kaplanmıştır.



Şekil 4.1. Polipropilen tank

4.1.3. Isıtıcı, redresör, ısı sensörü ve hava üfleyici

Elektro kaplama özelliklerinin incelenebileceği basit ve etkili bir cihazdır. Tek bir test parçası üzerinde çok çeşitli katot akım yoğunluklarının kaplama filmi gözlemlenebildiğinden, optimal kaplama koşulları ve kimyasalların eksikliği veya fazlalığından (katkı maddeleri gibi) etkilere, eser miktarın varlığına ilişkin çalışmalar

yapmak mümkündür. Bağlı DC güç kaynağındaki dalgalanma yaklaşık % 4'tür, ancak güç kaynağı maksimum 10A akımıyla güvenilirdir.



Şekil 4.2. Güç kaynağı, termostat, ısıtıcı, hava pompası

4.1.4. Elektro kaplama torbaları

Anot torbası (Şekil 4.3) temel olarak Katı Anot Parçacıklarının (SAP) elektro kaplama çözeltisine girmesini önleyen bir filtredir. Genellikle galvanik solüsyondaki SAP'lerin kaplama parçaları üzerinde pürüzlülüğe neden olacağı gözlemlenir.



Şekil 4.3. Cu ve Ni kaplamada kullanılan elektrokaplama anot torbası

Araştırmada kullanılan elektrokaplama anot torbaları, Coventya tarafından temin edilen PP “materyalden oluşmaktadır. Torbaların yanları, kaplama banyosundaki hava çalkalama işleminin yarattığı kaba hareket ile torbanın yırtılmasını önlemek için çift dikişlidir. PP malzemenin alkalilere, mineral asitlere, organik asitlere, organik solventlere ve oksitleyici ajanlara karşı mükemmel bir direnci vardır.

4.1.5. Bakır ve Nikel anotlar

Ni ve Cu anotları [Şekil 4.4 (a-b)] Ortam Metal ve Luvata' dan tedarik edilir. Cu anotlar Elektrolitik Bakır ve Fosfor De - Oksitlenmiş olmak üzere iki çeşittir. EC saf bir bakır formudur ve siyanürlü bakır kaplama banyolarında kullanılır. Fosfor De - Oksitlenmiş anotları, ortalama % 0,05 fosfor üzerinde düşük bir fosfor izine sahiptir. Fosfor De - Oksitlenmiş anotlar organik katkı maddeleri kullanan asit Cu kaplama çözeltilerinde önemlidir. Elektro kaplamada organik katkıları kullanıldığı için, çalışmada ikinci tip anot kullanılmıştır.

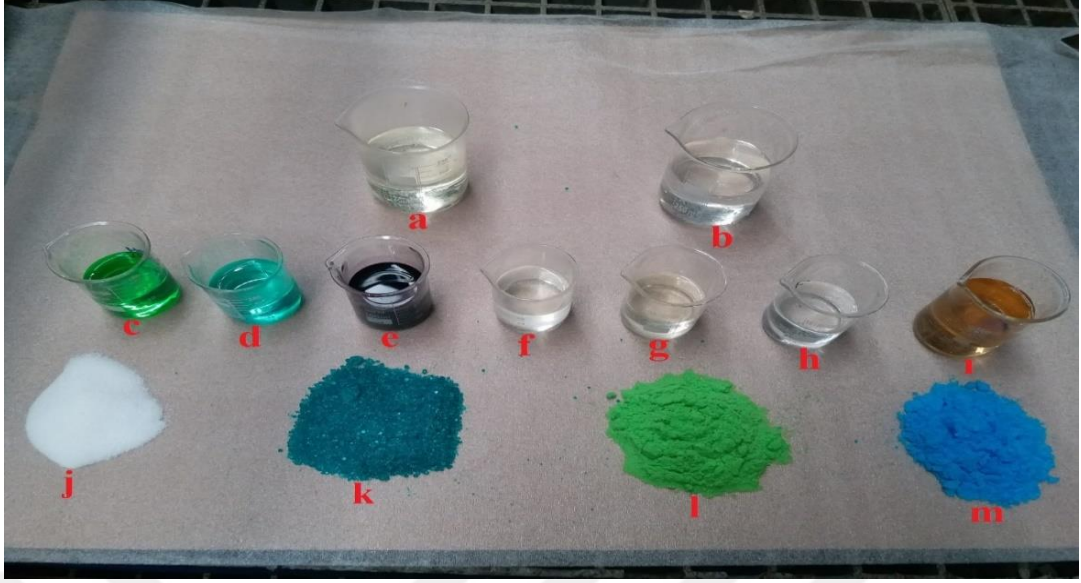


Şekil 4.4. Nikel ve Bakır anotlar

Elektrolitik Ni anotları çalışmada kullanılmıştır. Bunlar Ni anotlarının en saf tipi ve genellikle daha az pahalıdır. Bunlar genellikle şeritler halinde veya küçük parçalar halinde ('F' - daireler, 'R' - mermi) mevcuttur. Çalışmada düz tip Ni anot kullanılmıştır.

4.1.6. Elektrolitik çözeltinin hazırlanması için kimyasallar

Elektrolitik banyoların hazırlanmasında kullanılan kimyasallar Şekil 4.5'de sırasıyla; Hidroklorik asit (a), Sülfürik asit (b) Ortam Metal Kimya'dan tedarik edilmiştir. Cubrac 440 Base (c), Cubrac 440 Brightener (d), Cubrac 440 Leveller (e), Crystal Surfact 47G (f), Criterion Sb100 Brightener (g), Criterion Sb 100 Additive (h), Criterion Sb100 Base (i) Coventya'dan tedarik edilmiştir. Bakır sülfat tuzu (m), Nikel sülfat tuzu (l), Nikel klorür tuzu (k), Borik asit (j) Ortam Metal Kimya'dan tedarik edilmiştir.



Şekil 4.5. Elektro kaplamada kullanılan kimyasallar

4.2. Kullanılan Yöntemler

4.2.1. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile PA numunelerin hazırlanması

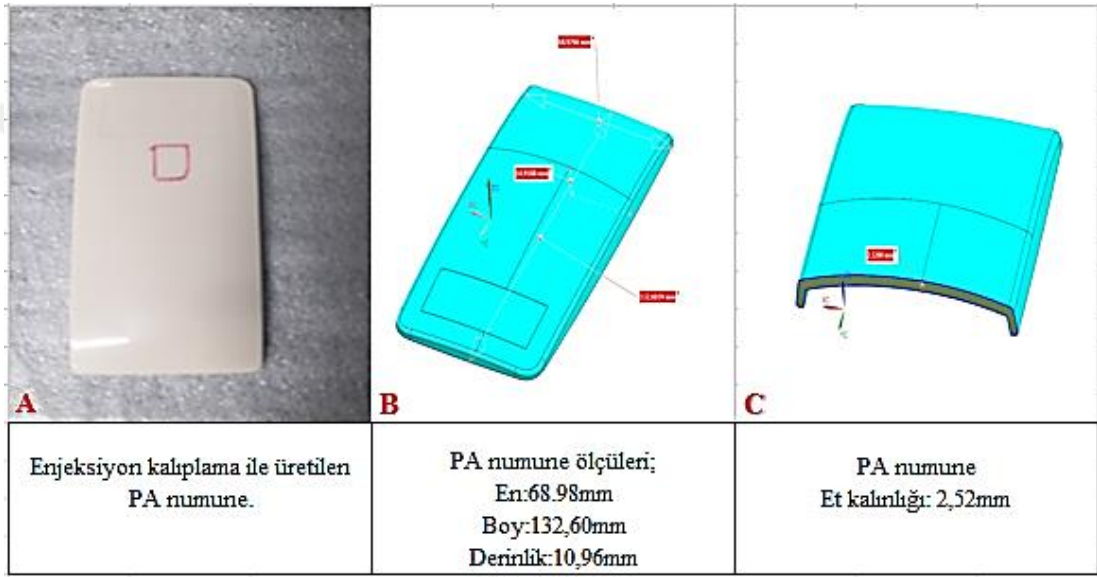
PA numunelerin hazırlanmasında HAITIAN 1200KN markalı, Şekil 4.6'deki gibi 120T kapasiteli bir enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Enjeksiyon kalıplama işlemi pellet termoplastik (PA6) enjeksiyon makinesinin haznesine beslenerek gerçekleştirilir. Enjeksiyon makinesi, pelletlerin sıvılaştırılması için ısıtıcıların sağlandığı içi boş çelik bir kovandan oluşur; Namlu ayrıca, erimiş plastiğin tüm kovan boyunca ve kalıba doğru ilerletilmesi için bir döner vida içerir.



Şekil 4.6. PA numunelerin üretilmesinde kullanılan enjeksiyon makinesi

Namlu sıcaklığı 220-280°C arasında değişir. Enjeksiyon makinesinin dört bölgesinin sıcaklıkları şunlardır; besleme bölgesi 220°C, sıkıştırma bölgesi 240°C, ölçüm alanı

260°C ve meme ucu 280 ° C'dir. Kovan içinde yeterli miktarda plastik toplandıktan sonra, plastiği bir döküm deliğinden kalıp boşluğuna enjekte etmek için vidayı ileri itmek için hidrolik bir itici kullanılır. Kalıbın plastiğe enjekte edilmesinden önce kalıbın ısındığını görmek için de özen gösterilir. Bu işlem, sertleşmeden önce kalıbın içine hızlı bir şekilde enjeksiyon yapılmasını sağlar. Kalıplama, daha sonra kalıp boşluğunun şeklini alır. Numuneler, kaplama prosesine alınmadan önce 24 saat süreyle 80°C'lik etüvde saklanır. Şekil 4.7 A,B,C 'de üretilen numune ve numuneye ait en, boy, derinlik ve et kalınlık ölçüleri gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Üretilen numune ve eni, boyu, derinliği, et kalınlık ölçüleri

4.2.2. PA numunelerinin metalizasyonu

ABS plastiklerin elektrokaplanması sırasında takip edilen çeşitli adımlar hakkında ayrıntılı bilgi, takip eden bölümlerde ele alınmıştır.

4.2.2.1. Aşındırma

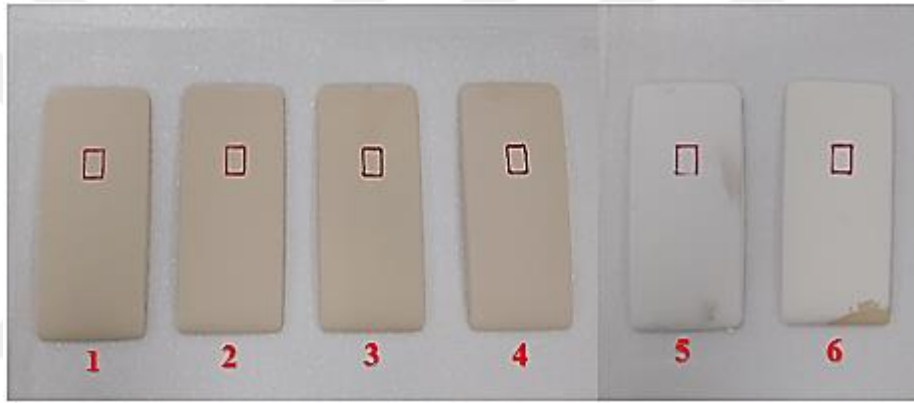
Bu süreçte, örnekler etilen glikol ve hidroklorik asit içeren bir tank içine daldırılır. Aşındırma çözeltisi, numunelerin yüzeyinde küçük mikroskopik delikler oluşturur. Bu delikler metalik parçacıkları tutacak yerler olarak işlev görür. Hazırlanan aşındırma banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri Tablo 4.2'de gösterildiği gibidir.

Banyonun %75'i kadar etilen glikol banyoya ilave edilir. Daha sonra gerekli miktarda Silken Etch PA 310 ilave edilerek banyo sıcaklığı 45°C'de sabit tutularak homojen

karışım sağlanıncaya kadar karıştırılır. Aşındırılacak numuneler aşındırma çözeltisine daldırılır (Şekil 4.8). Aşındırma işlemi bittikten sonra %33'lük HCl asit solüsyonu ile durulanır ve daha sonra demineralize suda durulanır.

Tablo 4.2. Aşındırma banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri

Numune	Kimyasal ve Konsantrasyon	
	Silken Etch PA 310 (HCL)	Etilen Glikol
1,2,3,7,8,9,10	245ml/l	%75
4	300ml/l	%75
5	350ml/l	%75
6	400ml/l	%75

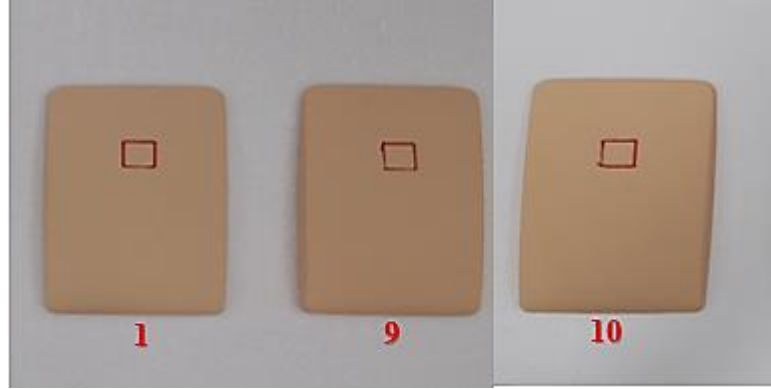


Şekil 4.8. Aşındırılmış PA numuneler

4.2.2.2. Aktivasyon

Aynı zamanda, katalizörleştirme işlemi olarak da adlandırılan, aktivasyon işlemi, yüzeydeki bir katalitik filmin, elektrolitik metal kaplama için substratı hazırlamak üzere biriktirildiği bir işlemdir. Tablo 4.5’de aktivasyon banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri verilmiştir.

Bir önceki adımdan mikro ve makro gözenekli örnekler, Tablo 4.4’de verilen sürelerde banyoya daldırılır ve çıkarılır. Farklı sürelerde aktivasyon işlemine tabi tutulmuş numuneler Şekil 4.9’daki gibidir. Daha sonra demineralize suda durulanır. Numuneler katalizörlerin hızlı indirgenmesi için hızlandırıcı banyoya daldırılır. Tablo 4.5’de hızlandırıcı banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri Tablo 4.6’da hızlandırıcı banyoya daldırılma süreleri verilmiştir.



Şekil 4.9. Aktivasyon işlemine tabi tutulmuş numuneler

Tablo 4.3. Aktivasyon banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri

Numune	Kimyasal	Konsantrasyon
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Silken Catalyst PA 510	500ppm
	Silken Etch PA 310	138ml/L

Tablo 4.4. Numunelerin aktivasyon banyosuna daldırma süreleri

Numune	Süre
1,2,3,4,5,6,9,10	5dk
7	10dk
8	15dk

Tablo 4.5. Hızlandırıcı banyo kimyasallar ve bunların bileşimleri

Numune	Kimyasal	Konsantrasyon
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Silken Acceleratör 610F	28ml/l
	Demineralize su	%97

Tablo 4.6. Numunelerin hızlandırıcı banyosuna daldırma süreleri

Numune	Süre
1,2,3,4,5,6,7,8	3,5dk
9	7,5dk
10	11,5dk

4.2.2.3. Akımsız kaplama

Çözelti, istenen oranlarda nikel sülfat, sodyum hipofosfit ve demineralize su karıştırılması, ardından amonyum hidroksit ile ph'nın ayarlanması ile hazırlanır.

Aktivasyon işleminin tamamlanmasından sonra, kısmen amonyum hidroksit ile kompleks haline getirilmiş alkalın banyoya, tüm PA numuneler yaklaşık 9,0 pH' da 12 dakika boyunca 30°C'de daldırılır. Daha sonra demineralize su ile durulanır. Kullanılan kimyasallar ve bunların bileşimleri Tablo 4.7'de listelenmiştir.

Tablo 4.7. Akımsız Ni banyosu kimyasallar ve bunların bileşimleri

Numune	Kimyasal	Konsantrasyon
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Nikel sülfat hekzahidrat, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2,5g/L
	Sodyum hipofosfit hidrat, $\text{NaPH}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	15g/L
	Amonyum hidroksit, NH_4OH (%30)	pH:9

4.2.2.4. Asit bakır kaplama

Asit bakır kaplama, “ Bakır elektrokaplama” olarak adlandırılır. Asit bakır kaplama çözeltisi; bakır sülfat, sülfürik asit ve hidroklorik asidin demineralize su ile karıştırılması ile hazırlanır. Kullanılan kimyasallar ve bunların bileşimleri Tablo 4.8'de listelenmiştir. Hazırlanan çözelti homojenliğe ulaşmak için yüksek şiddetteki hava ile 1saat karıştırılır. Hazırlanan çözeltiye, Cubrac 440 Base, Cubrac 440 Brightener ve Cubrac 440 Leveller organiklerde ilave edilir ve daha sonra elektrokaplama banyosuna aktarılır.

Bakır anodu, titan sepete konularak banyo içersine yerleştirilir. Akım yoğunluğu $2,5\text{A}/\text{dm}^2$ uygulanır ve çalışma sıcaklığı 25°C civarında tutulur. Mevcut verimlilik % 95-99 arasındadır. PA numuneler daha sonra hazırlanan çözeltiye 45 dakika süreyle daldırılır. Elektrolize edilmiş numuneler daha sonra bakır parlak bakır tabaka yüzeyini temizlemek ve matlaştırmak için %50'lik H_2SO_4 ile durulanır. Numuneler daha sonra yüzeydeki asidi temizlemek için demineralize suda durulanır.

Tablo 4.8. Asit bakır banyosu kimyasalları ve bunların bileşimleri

Numune	Kimyasal	Konsantrasyon
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Bakır sülfat, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	190g/L
	Sülfürik asit, H_2SO_4	65g/L
	Hidroklorik asit, HCl	90mg/L
	*Cubrac 440 Base	8ml/L
	*Cubrac 440 Brightener	---
	*Cubrac 440 Leveller	0,5ml/L

* Organik bileşikler. Base (taşıyıcı), brightener (parlatıcı), leveller(düzenleyici).

4.2.2.5. Nikel (Y. Parlak Ni ve Parlak Ni) kaplama

Yarı parlak nikel kaplama çözeltisi; bakır sülfat, sülfürik asit ve borik asidin demineralize su ile karıştırılması ile hazırlanır. Kullanılan kimyasallar ve bunların bileşimleri Tablo 4.9'da listelenmiştir. Hazırlanan çözeltiye Criterion Sb 100 Base, Criterion Sb 100 Brightener, Criterion Sb 100 Additive, Crystal Surfact 47 G organikleri de ilave edilir ve elektrokaplama banyosuna aktarılır.

Çözeltinin çalışma sıcaklığı 55°C'de sabit tutulur, nikel anot titan sepete konularak çözeltiyi içeren banyoya yerleştirilir. Akım yoğunluğu 2,2A/dm² uygulanır. Mevcut verimlilik yaklaşık % 95'tir. Bakır kaplama örnekleri daha sonra nikel kaplama banyosu solüsyonuna yaklaşık 12-16 dakika daldırılır. Kaplanan örnekler daha sonra demineralize su ile durulanır.

Parlak nikel kaplama solüsyonunda yarı parlak nikel çözeltisi gibi aynı koşullar, kimyasallar ve konsantrasyonlarda kurulur.

Tablo 4.9. Nikel banyosu kimyasalları ve bunların bileşimleri

Numune	Kimyasal	Konsantrasyon
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Nikel sülfat, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	290g/L
	Nikel klorid, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50g/L
	Borik asit, H_3BO_3	50g/L
	*Criterion SB 100 Base	15ml/L
	*Criterion SB 100 Brightener	0,6ml/L
	*Criterion SB 100 Additive	0,3ml/L
	*Crystal Surfact 47 G	10ml/L

* Organik bileşikler. Base (taşıyıcı), brihtener (parlatıcı), additive (bükme gücü), 47 G (nemlendirici). “Bükme gücü; banyo içerisinde 2 elektrot arasındaki en uzak noktaları kaplama gücüdür.”

4.2.2.6. Krom (+6 Değerlikli) kaplama

Krom kaplama çözeltisi; kromik asit ve sülfürik asitin demineralize su ile karıştırılması ile hazırlanır.

Kullanılan kimyasallar ve bunların bileşimleri Tablo 4.10'da listelenmiştir. Krom kaplama mükemmel sertlik, parlaklık, korozyon ortamlara karşı dirençli parlak görünüm sağlar ve düşük maliyetle kolayca uygulanabilir. Çözeltinin çalışma sıcaklığı 40°C’dir. Anot olarak aşınmaya dayanıklı kurşun anotlar kullanılır. Akım yoğunluğu 5A/dm²’dir. Parlak nikel banyosundan çıkan PA numuneler +6 değerlikli krom banyosu solüsyonuna 4 dakika daldırılır. Kaplanan örnekler daha sonra demineralize su ile durulanır.

Tablo 4.10. Krom banyosu kimyasalları ve bunların bileşimleri

Numune	Kimyasal	Konsantrasyon
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Kromik asit, CrO_3	280g/L
	Kromik asit/sülfat	280:1

4.3. Karakterizasyon Yöntemleri

4.3.1. Termal çevrim dayanım testi

Kaplanmış numuneler; BİNDER ED 720 ısıtma fırını ve Uğur UED 380 derin dondurucu kullanılarak termal çevrim dayanım testine tabi tutulur. Bu test yöntemi genellikle plastik yüzey üzerine kaplamanın yapışmasını ölçmek için yapılır. Bu testte dikkat edilmesi gereken en önemli husus sıcaklığın plastiğin erime sıcaklığından fazla olmamasına dikkat etmektir.

Numuneler önce 104°C’de 60dk boyunca ısıtma fırınında bırakılır. Sonra 25°C’de 15dk ortamda bekletilir. Daha sonra -30°C’de 60dk boyunca soğutma kabinde bırakılır. Bu işlem aynı numunelerle devam edilerek 3 kez tekrarlanır.

4.3.2. Cross – Section

Kaplanmış numuneler Metkon MİCRACUT 152 cihazı ile hassas kesim yapılarak soğuk bakalitleme işlemi için hazırlanır. Soğuk bakalitleme yapılan numuneler Metkon FORCIPOL 2V zımparalama ve parlatma cihazı ile SEM için hazırlanır. Kaplanmış numuneler öncelikle Metkon DEMPAX Ø200 Zımpara, 800 Kum ile 7dk, Metkon DEMPAX Ø200 Zımpara, 2500 Kum ile 13dk zımparalanır. Sonra FEDO-3 Ø200mm, 3µ elmas süspansiyon ile 8dk, Metkon FEDO-1S Ø200mm, 1µ elmas süspansiyon ile 2,5dk parlatılır.

4.3.3. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve enerji dağılımlı x-ışını (EDX) analizleri

Plastik ve metalize olmuş numuneler, QUORUM Q150R ES model kaplayıcı ile %80Au+%20 Pd oranlarında SEM için kaplanmıştır.

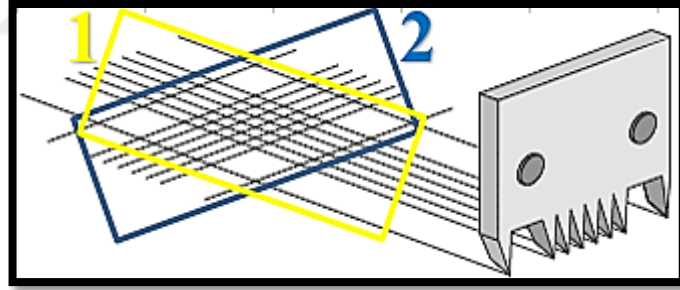
Yüzeyleri altın ve paladyum ile kaplanmış numunelerin mikro yapıları ve yüzey morfolojileri ZEISS SUPRA 40VP model taramalı elektron mikroskobu ile görüntülendi ve enerji dağılımlı x-ışını analizleri yapıldı (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı).

4.3.4. Adezyon bant testi

Kaplamaların dayanıklılığı birçok uygulamada temel öneme sahiptir ve bu dayanıklılığı yöneten ana faktörlerden biri yapışmadır [58]. Yapışma, iki bitişik malzeme arasındaki bağı (kimyasal veya fiziksel) ifade eder ve bunların tam ayrılmasını sağlamak için gerekli olan kuvvet ile ilgilidir [59].

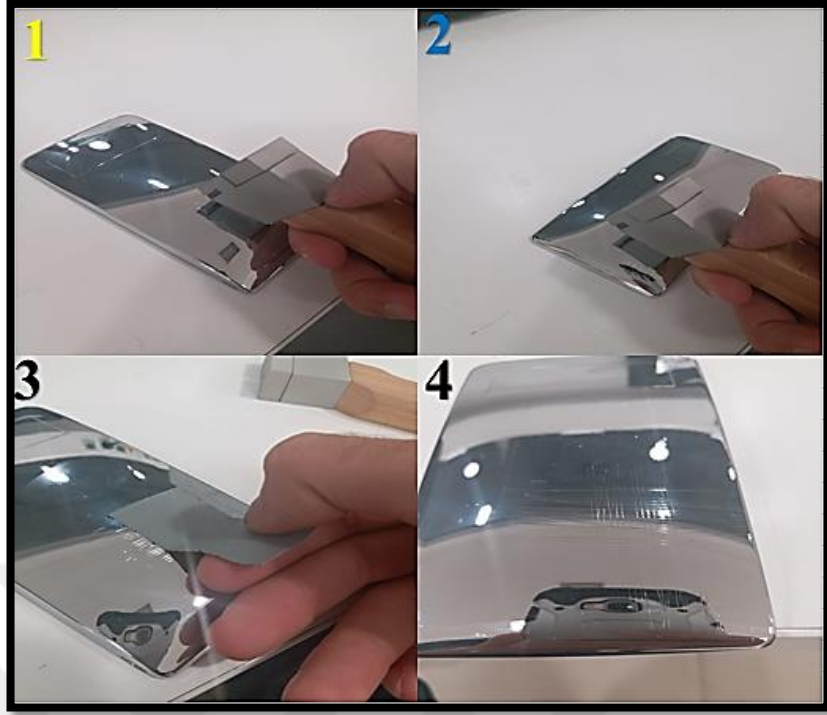
Bir kaplamanın yüzeye yapışması, işlevi için kritik öneme sahiptir. Mekanik, kimyasal ve metalurjik faktörler bu yapışmalara katkıda bulunabilir. Bir kaplamanın muhafaza edilmesi ve işlevini yerine getirmesi için, alt tabakaya yapışması, mekanik gerilmelere ve elastoplastik bozulmalara, termal strese ve çevreye veya işlem sıvısının yer değiştirmesini tolere etmelidir. Bir kaplamanın iyi yapışma performansı, atomik yapışma yapısı, elastik modülleri ve gerilme durumu, kalınlığı, saflığı ve kırılma tokluğu dahil olmak üzere, arayüz bölgesinin çeşitli özelliklerine bağlıdır [60].

Adezyon bant testinde, Şekil 4.10’da belirtilen yönlerde kaplama üzeri çapraz kesici alet ile numuneler çizilir.



Şekil 4.10. Çapraz kesici ile parça üzerinin çizilmesi

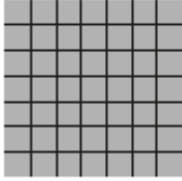
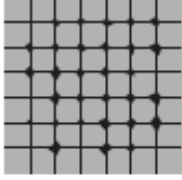
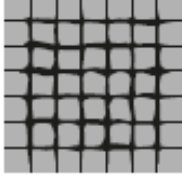
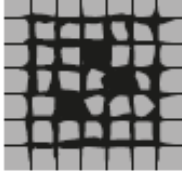
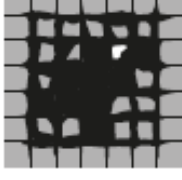
Bu prosedür de özel bir yapışma bandı (Tesa 4657) kullanılır. Bant ızgaraya bastırılır ve daha sonra yumuşak bir hareketle hızla çekilir. Izgara alanı daha sonra aydınlatılmış bir büyüteç kullanılarak incelenir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Adezyon bant test uygulanişı

Bu şekilde elde edilen sonuçlar daha sonra aşağıdaki tabloda verilen şekillerle karşılaştırılmaktadır. Tablo 4.11 her bir derecelendirmenin bir açıklamasını sunmaktadır [61].

Kaplanmış numuneler BYK - Gardner çapraz kesim test cihazı ile DIN EN ISO 2409, ASTM D 3002, ASTM D 3359 Uluslararası standartlara uygun olarak yapışma testleri yapılmıştır.

	ISO 0 / ASTM 5B - Kesim kenarları tamamen pürüzsüz - Kafes karelerinin hiçbiri ayrılmamış
	ISO 1 / ASTM 4B - Kesimlerin kesişiminde küçük pulların ayrılması - Maks. Çapraz kesim alanının% 5'i etkilenir
	ISO 2 / ASTM 3B - Kenarlarda ve kesişimlerde ince kaplama tabakaları dökülmüş - Etkilenen çapraz kesim alanı:% 5 -% 15
	ISO 3 / ASTM 2B - Kareler kısmen / tamamen hasarlıdır - Etkilenen çapraz kesim alanı:% 15 -% 35
	ISO 4 / ASTM 1B - Kareler tamamen soyulmuş / dökülmüş - Etkilenen çapraz kesim alanı:%35-%65
	ISO 5 / ASTM 0B - ISO 4 veya ASTM 1B'den daha kötü herhangi bir dökülme - Etkilenen çapraz kesim alanı>% 65

Şekil 4.12. Adezyon bant test metodu sınıflandırma standartları [61]

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

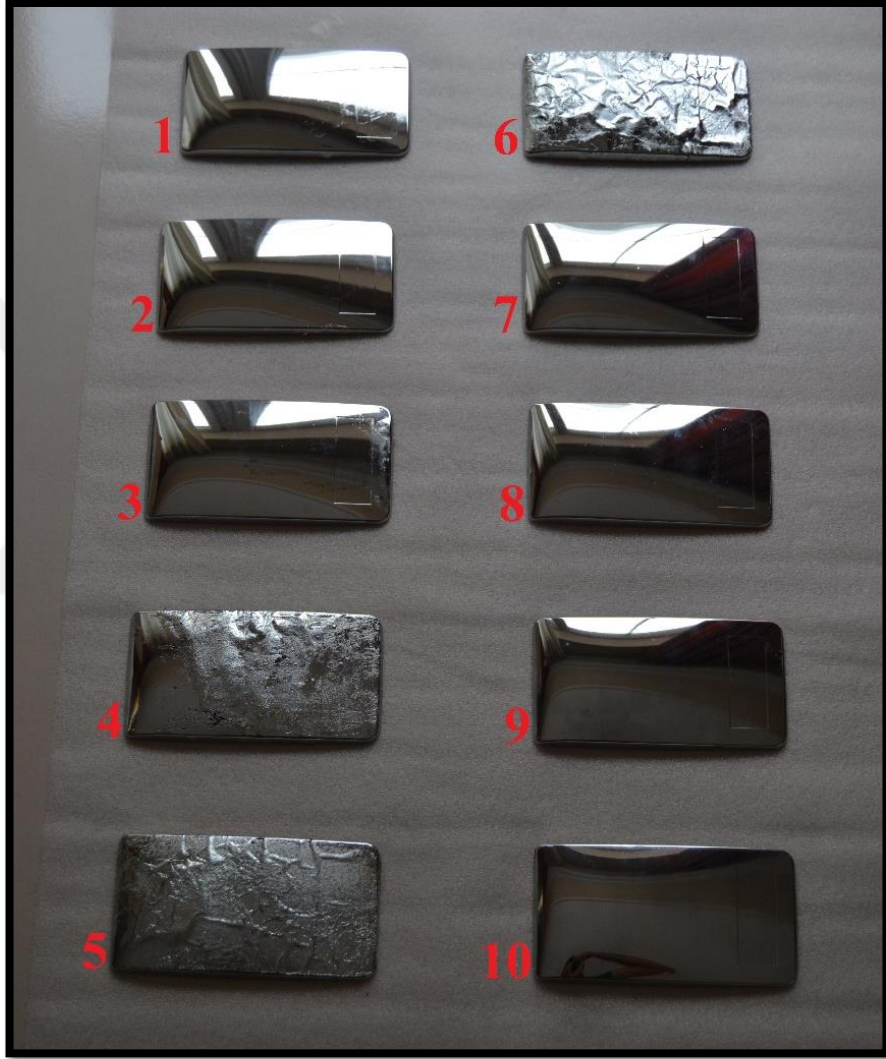
Bu bölümde verilen bulgulara, farklı aşındırma süresi, farklı aşındırma konsantrasyonu, farklı katalizör süreleri ve farklı hızlandırıcı sürelerine göre numuneler hazırlanmış olup termal çevrim dayanım testine tabi tutulmuştur. Ayrıca ön işlemlerde SEM görüntüleri ve kaplanmış numunelerin SEM/EDX analizleri yapılmıştır. Tüm numuneler için kullanılan parametreler Tablo 5.1’de verilmiştir. Numunelerde sarı renkli dolgu ile belirtilmiş parametreler değiştirilmiş parametreleri göstermektedir.

Tablo 5.1. Tüm numuneler için kullanılan proses parametreleri

Numune	Gözetim	Aşındırma			Aşındırıcı			Kuvvetli Yıkama				Fakir	Y. Parlatma	Parlatma	Kum +6
		Sıcaklık / Zaman / C / dk	Kons. / Zaman / ml / dk	Kons. / Zaman / ml / dk	Sıcaklık / Zaman / C / dk	Kons. / Zaman / ml / dk	Kons. / Zaman / ml / dk	Sıcaklık / Zaman / C / dk	Kons. / Zaman / ml / dk	Kons. / Zaman / ml / dk	Kons. / Zaman / ml / dk				
1	Yığılma içi	45 / 15 / 245	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
2	Çelik ve Katalizör	45 / 20 / 245	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
3	Çelik ve Katalizör	45 / 30 / 245	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
4	Çelik ve Katalizör	45 / 15 / 300	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
5	Çelik ve Katalizör	45 / 15 / 330	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
6	Çelik ve Katalizör	45 / 15 / 400	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
7	Yığılma içi	45 / 15 / 245	10 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
8	Yığılma içi	45 / 15 / 245	15 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
9	Yığılma içi	45 / 15 / 245	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk
10	Çelik	45 / 15 / 245	5 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	30 / 3 / 138 / 500 ppm	2,2 amp-16 dk	2,2 amp-14 dk	2,2 amp-14 dk	5 amp-4 dk

5.1. Termal Çevrim Dayanım Sonuçları

Numuneler önce 104°C’de 60dk boyunca ısıtma fırınında bırakılır. Sonra 25°C’de 15dk ortamda bekletilir. Daha sonra -30°C’de 60dk boyunca soğutma kabinde bırakılır. Bu işlem aynı numunelerle devam edilerek 3kez tekrarlanır. Termal çevrim dayanım testi sonrasında numunelerin görüntüleri Şekil 5.1’de verilmiştir.



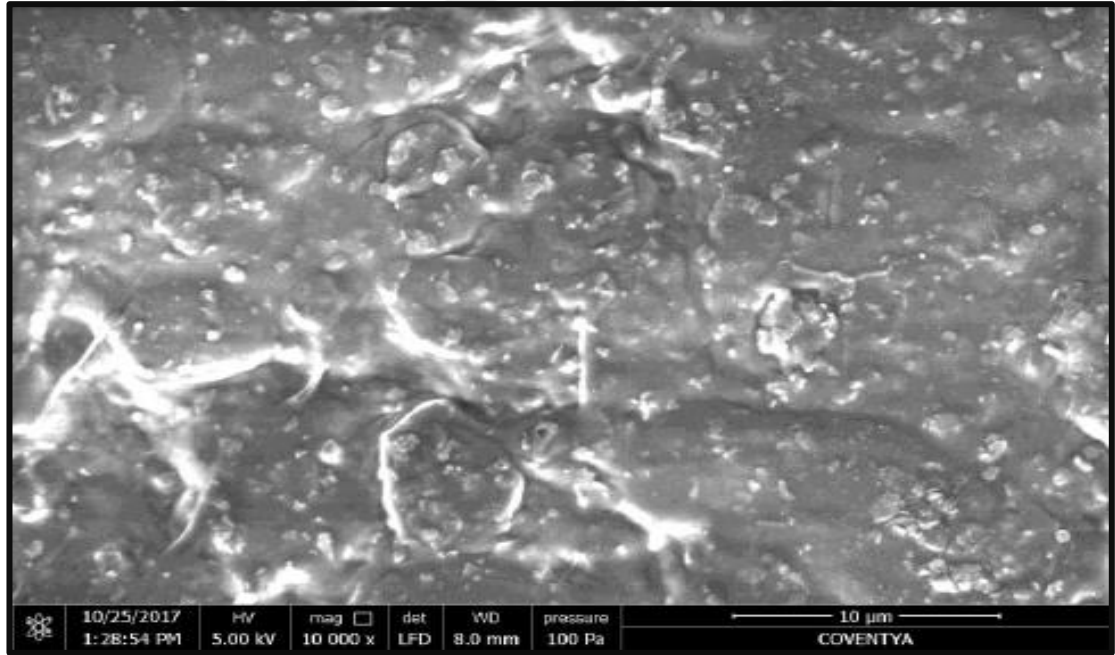
Şekil 5.1. Termal çevrim dayanım testi sonrası numuneler

Termal çevrim dayanım gözlem sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Termal çevrim dayanım test sonuçları

Numune	Gözlem	Sonuç
1	Çatlak, kabarma yok	Yapışma iyi
2	Çatlak, kabarma var	Yapışma kötü
3	Çatlak, kabarma var	Yapışma kötü
4	Çatlak, kabarma var	Yapışma kötü
5	Çatlak, kabarma var	Yapışma kötü
6	Çatlak, kabarma var	Yapışma kötü
7	Çatlak, kabarma yok	Yapışma iyi
8	Çatlak, kabarma yok	Yapışma iyi
9	Çatlak, kabarma yok	Yapışma iyi
10	Çatlak var	Yapışma kötü

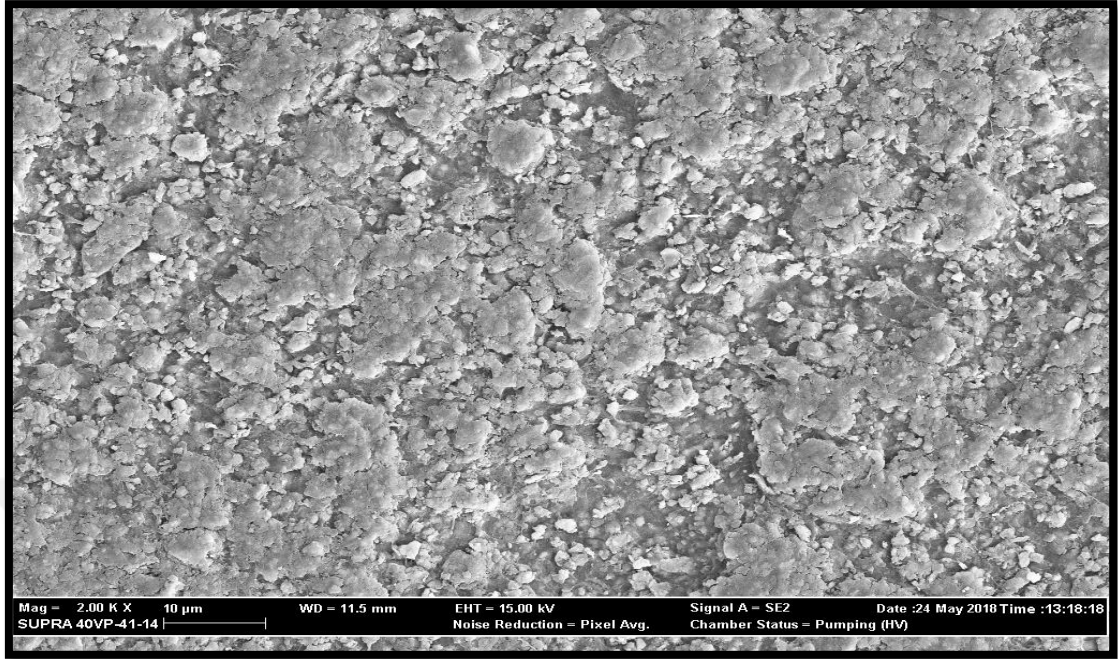
5.2. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını (EDX) Analiz Sonuçları



Şekil 5.2. Plastik PA numune aşındırılmamış SEM mikrografi

Şekil 5.2’de aşındırılma işlemine tabi tutulmamış PA malzemenin SEM mikrografi verilmiştir.

5.2.1. Numune 1 SEM / EDX analiz sonuçları

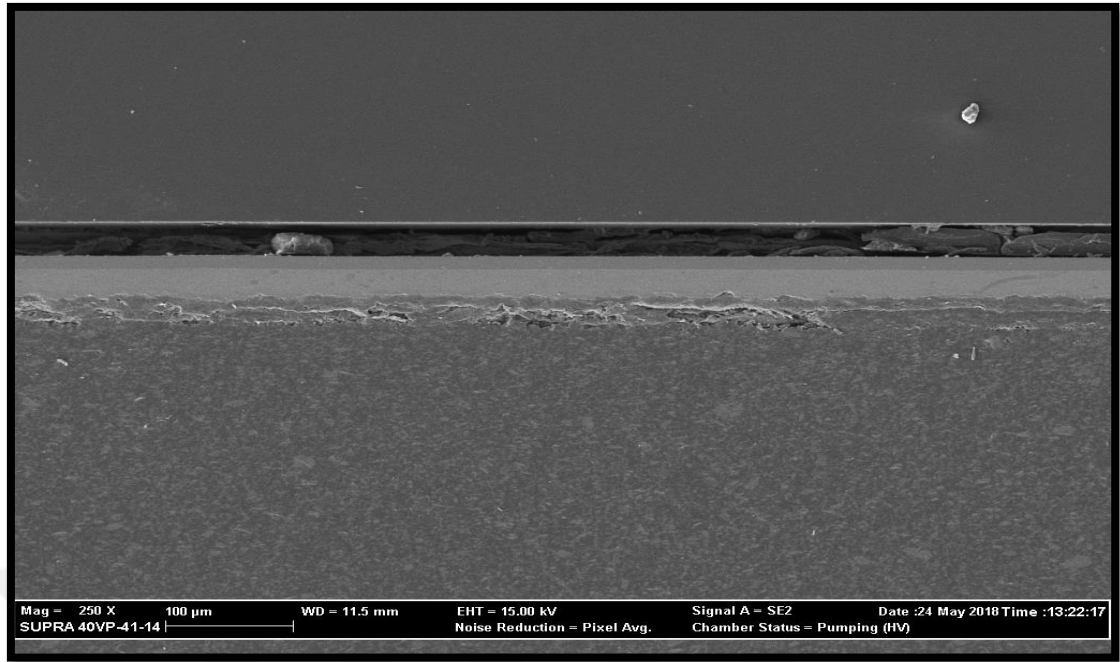


Şekil 5.3. Plastik PA numune 1'in 15dk aşındırma SEM mikrografi

Tablo 5.3. Numune 1 proses parametreleri

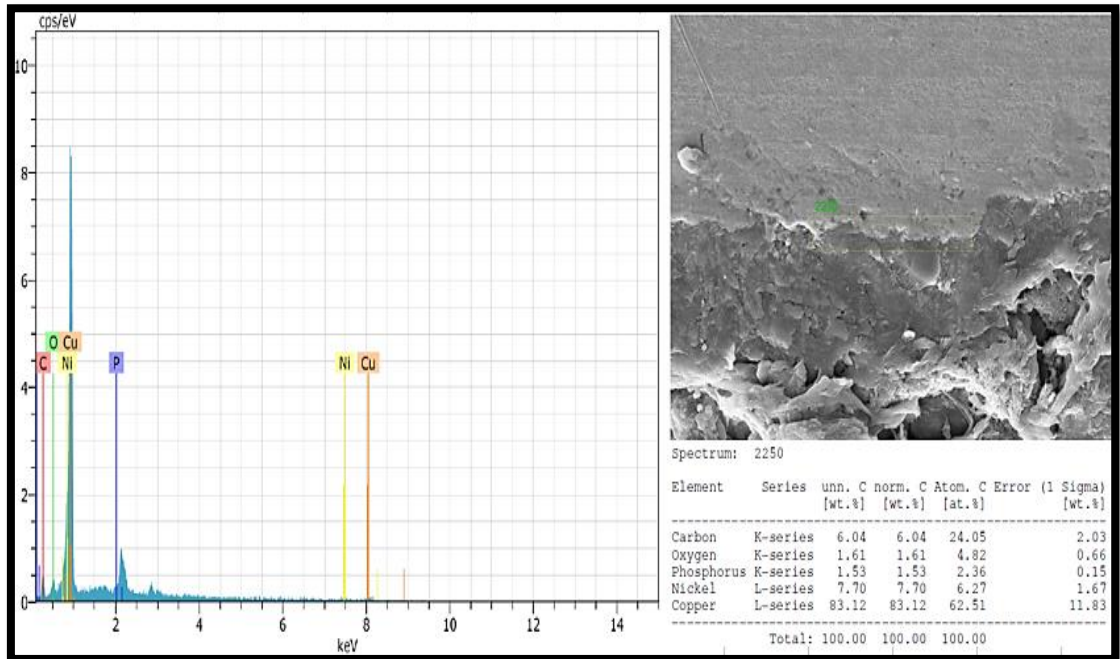
Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	245	30	5	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Tablo 5.3'de numune 1 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.3'deki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografi aşındırılmış PA yüzeyini göstermektedir. Plastiğin yüzeyinde oluşturulan mikro ve makro gözenekler, biriktirilmiş metal için bağlanma bölgelerini temin etmektedir.



Şekil 5.4. Metalize PA numune 1'in yan kesit SEM mikrografı

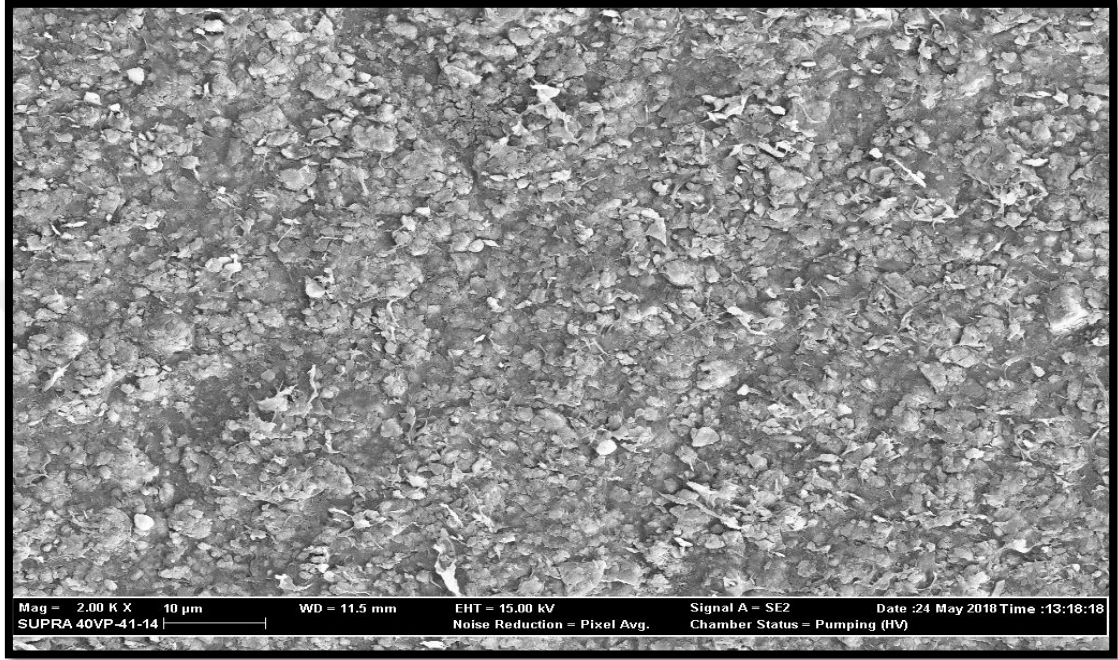
PA numune 1'in yan kesitten SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 29,64 μ ve nikel tabaka kalınlığı: 13,27 μ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.4). Numune 1'in termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik tabaka ile metal film tabakanın birbirine iyi yapıştığı gözlenmiştir.



Şekil 5.5. PA numune 1'in EDX analizi

Şekil 5.5’da PA numune 1’in plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde herhangi bir safsızlık görülmemiştir. Bakır element yüzdesi 83,12 olarak görülmektedir.

5.2.2. Numune 2 SEM / EDX analiz sonuçları

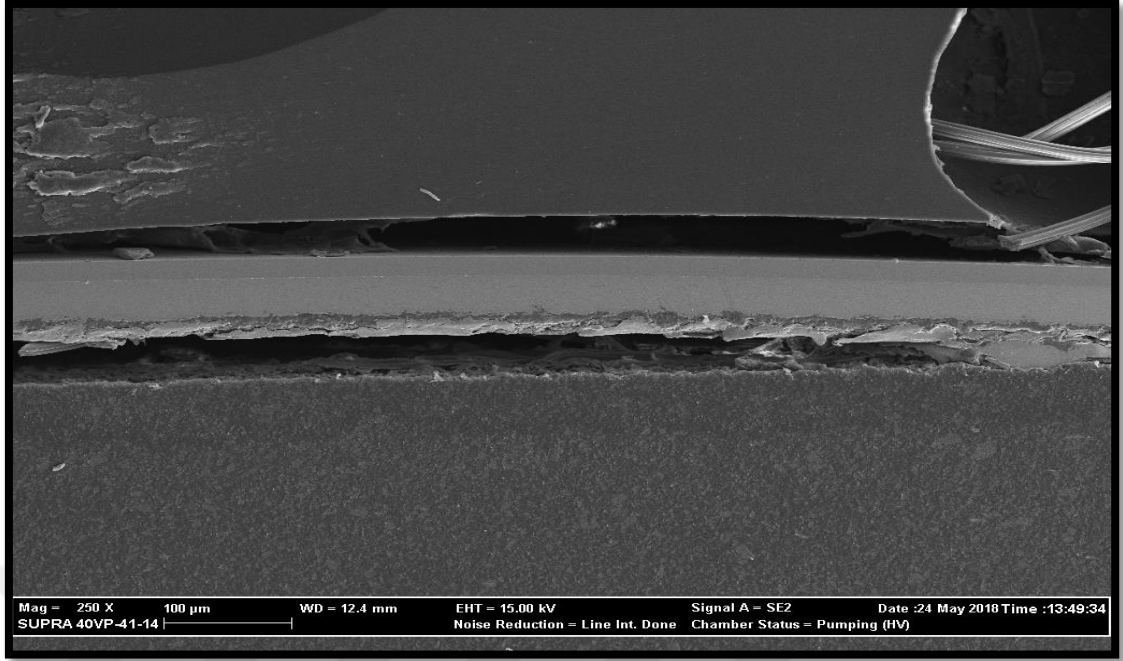


Şekil 5.6. Plastik PA numune 2’in 20dk aşındırma SEM mikrografi

Tablo 5.4. Numune 2 proses parametreleri

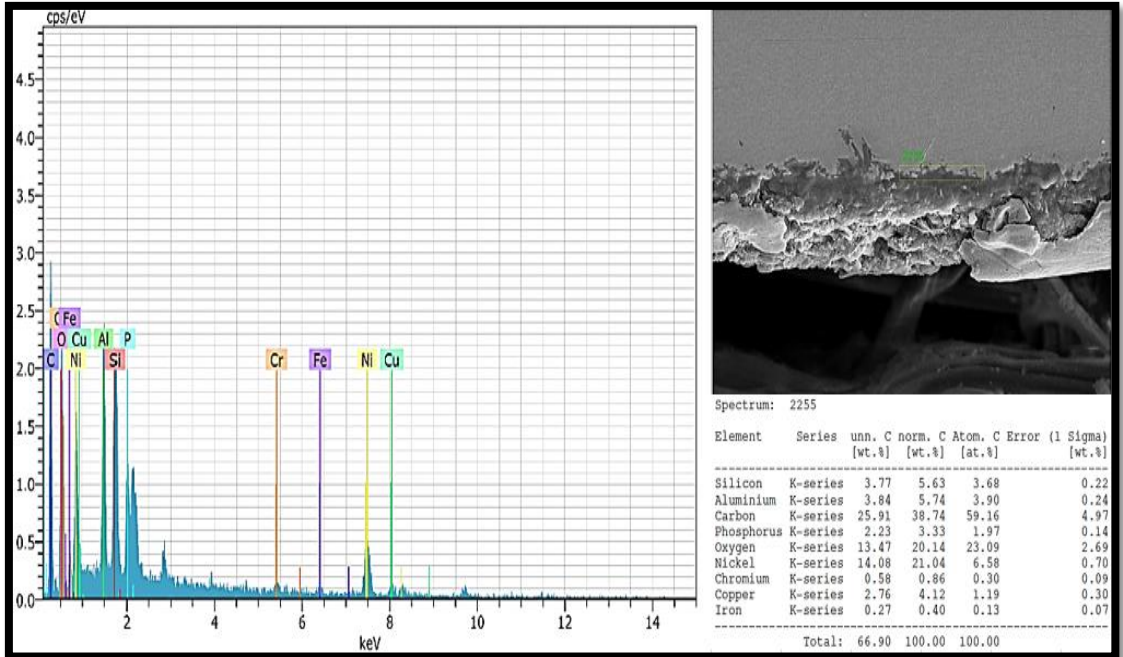
Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510 ppm	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	20	245	30	5	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Tablo 5.4’de numune 2 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.6’deki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografi aşındırılmış PA yüzeyini göstermektedir. Plastik yüzeyinde oluşturulan mikro ve makro gözenekler, biriktirilmiş metal için bağlanma bölgelerini temin etmektedir. Ayrıca numune 1’e göre (Şekil 5.3) PA yüzeyi daha engebeli yapıya sahiptir. Makro ve mikro gözenekler daha yoğun ve derin olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ise aşındırma süresinin fazla olmasıdır.



Şekil 5.7. Metalize PA numune 2'in yan kesit SEM mikrografi

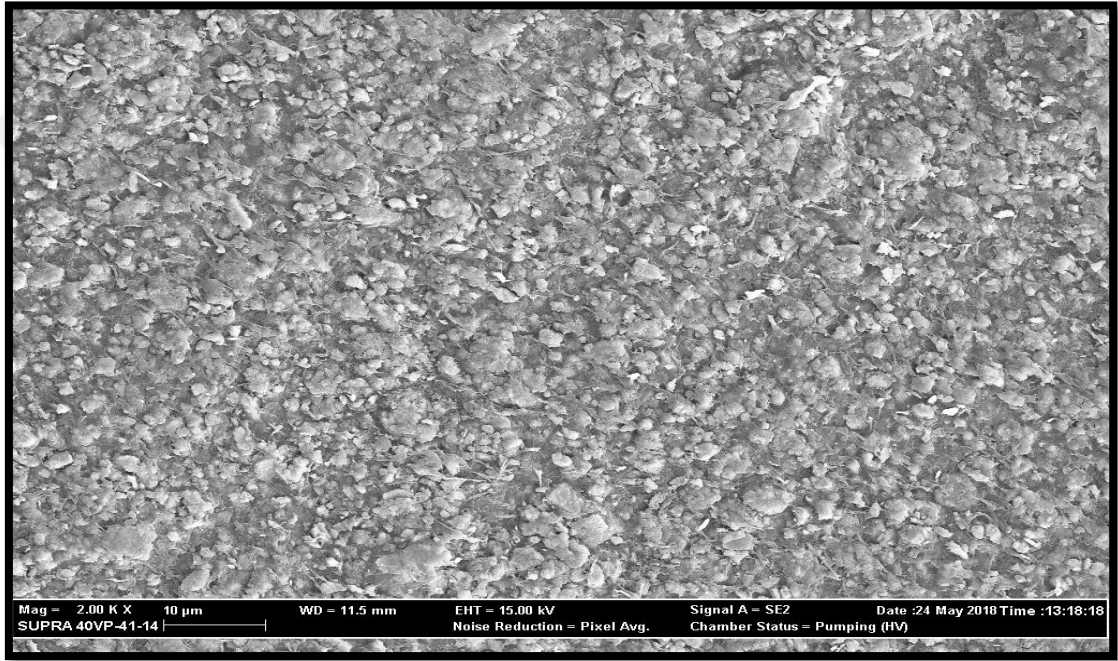
PA numune 2'nin yan kesitten SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 39,28 μ ve nikel tabaka kalınlığı: 19,77 μ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.7). Numune 2 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın ayrıldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.8. PA numune 2'in EDX analizi

Şekil 5.8’de PA numune 2’in plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde çeşitli safsızlıklar görülmüştür. Bakır element yüzdesi 2,76 olarak görülmektedir. PA yapısal elementlerin yüzdeleri yüksek olduğu görülmektedir. Buda fazla aşındırma süresi ile PA malzemenin yapısının bozulduğu göstermektedir. Bu nedenle plastik tabaka yüzeyinde deformasyon oluşmuştur. Plastik yüzey ile metal film tabaka kötü yapışma göstererek birbirinden ayrılmıştır.

5.2.3. Numune 3 SEM / EDX analiz sonuçları



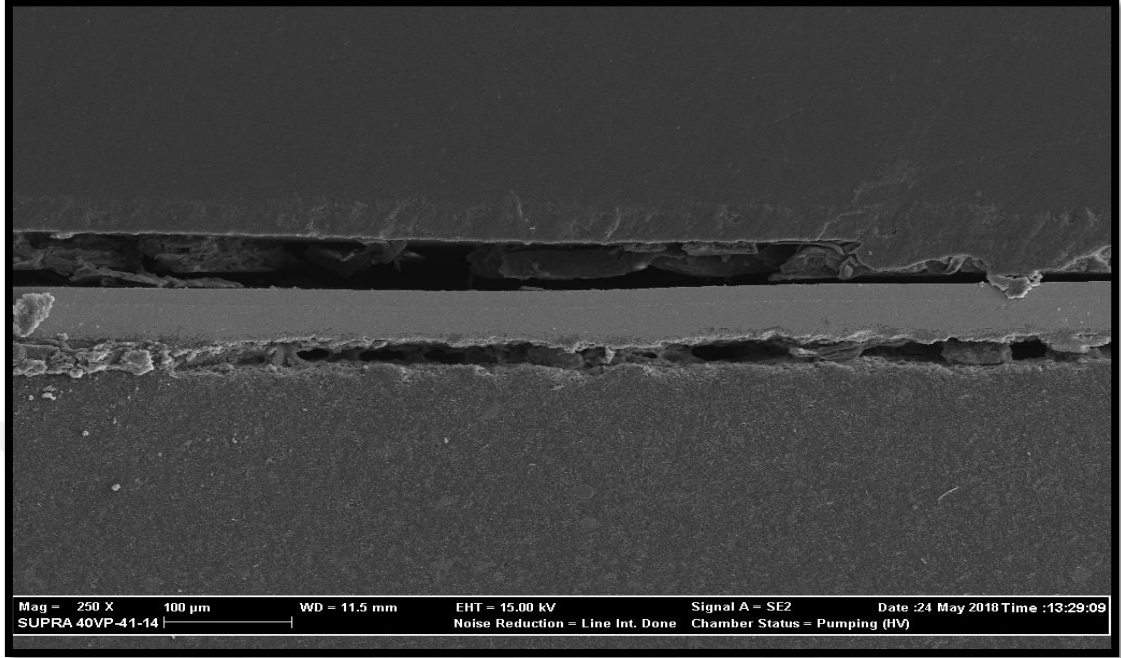
Şekil 5.9. Plastik PA numune 3’ün 30dk aşındırma SEM mikrografi

Tablo 5.5. Numune 3 proses parametreleri

Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	30	245	30	5	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Tablo 5.5’de numune 3 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.9’daki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografi aşındırılmış PA yüzeyini göstermektedir. Plastikğin yüzeyinde oluşturulan mikro ve makro gözenekler, biriktirilmiş metal için bağlanma bölgelerini temin etmektedir. Ayrıca numune 1 (Şekil 5.3) ve numune 2’ye (Şekil 5.6)

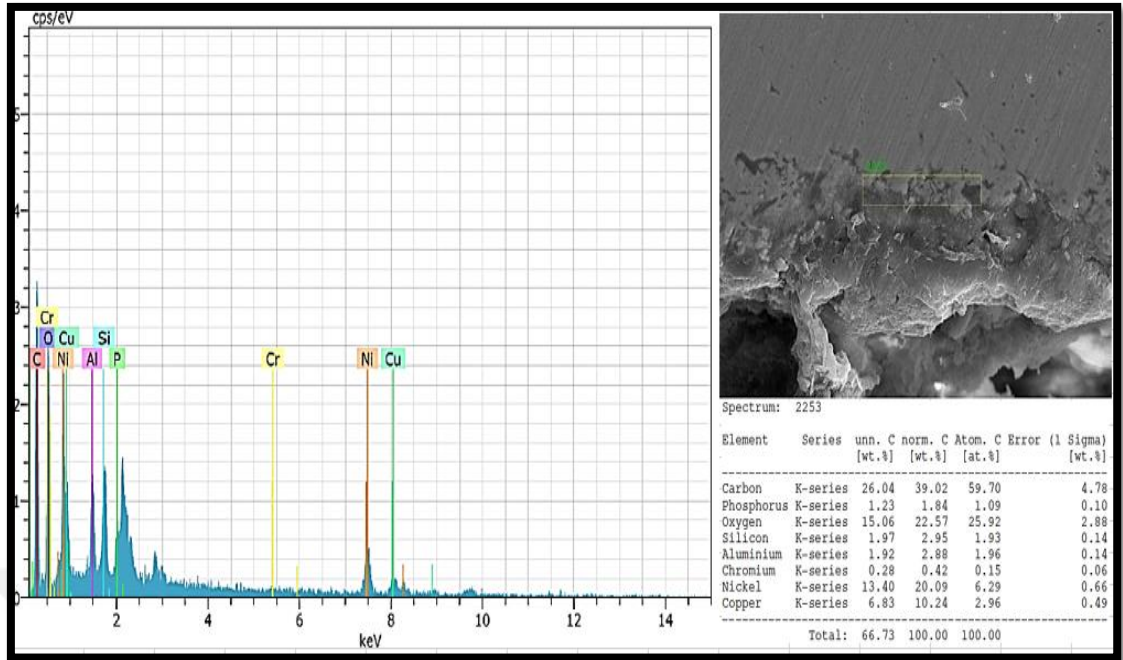
göre PA yüzeyi daha engebeli yapıya sahiptir. Makro ve mikro gözenekler daha yoğun ve derin olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ise aşındırma süresinin fazla olmasıdır.



Şekil 5.10. Metalize PA numune 3'ün yan kesit SEM mikrografı

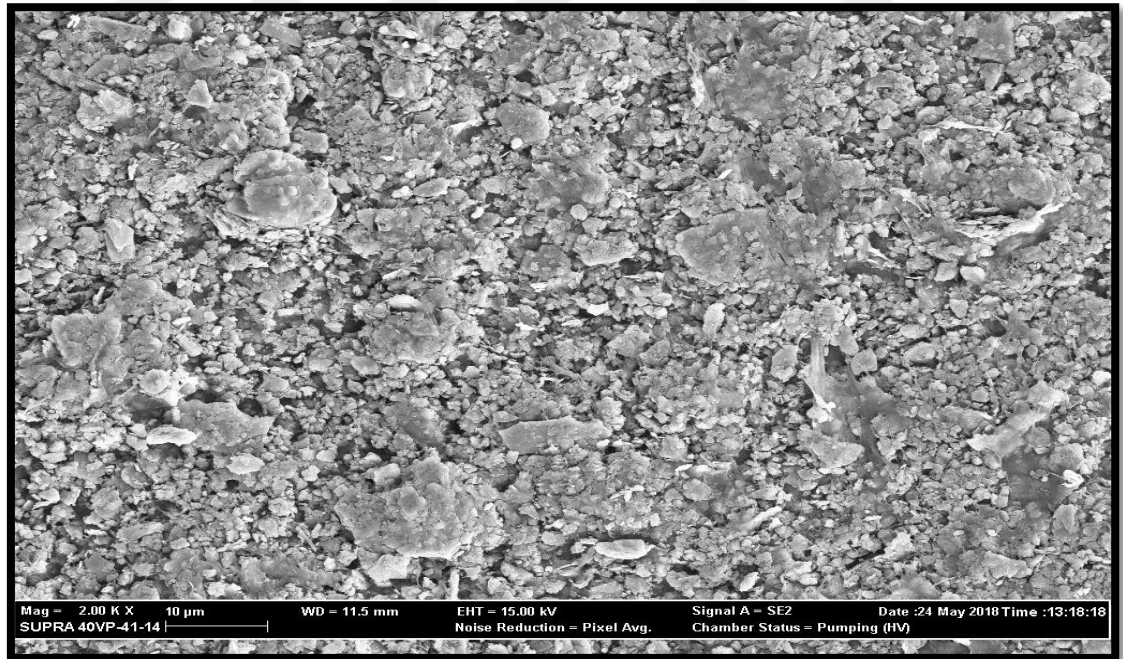
PA numune 3'ün yan kesitten SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 31,70 μ ve nikel tabaka kalınlığı: 16,34 μ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.10). Numune 3 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın ayrıldığı ve plastik ile metal tabakanın yapışması kötü olduğu gözlenmiştir.

Şekil 5.11'de PA numune 3'ün plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde çeşitli safsızlıklar görülmüştür. Bakır element yüzdesi 6,83 olarak görülmektedir. PA yapısal elementlerin yüzdeleri yüksek olduğu görülmektedir. Buda fazla aşındırma süresi ile PA malzemenin yapısının bozulduğu göstermektedir. Bu nedenle plastik tabaka yüzeyinde deformasyon oluşmuştur. Plastik yüzey ile metal film tabaka kötü yapışma göstererek birbirinden ayrıldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.11. PA numune 3'ün EDX analizi

5.2.4. Numune 4 SEM / EDX analiz sonuçları

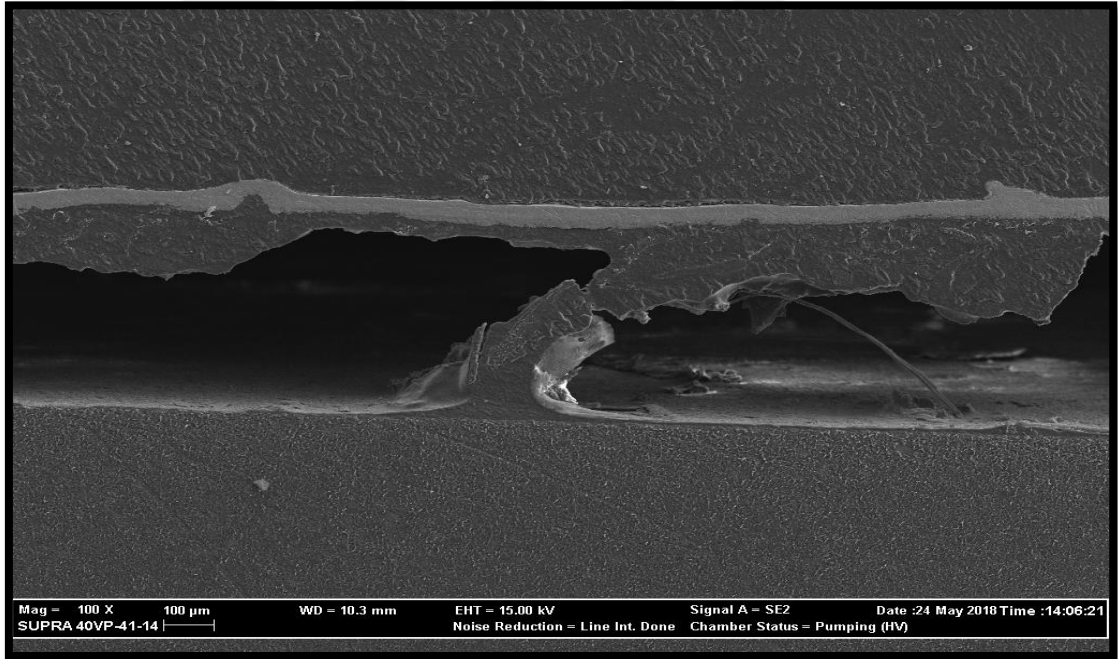


Şekil 5.12. Plastik PA numune 4'ün 300g/L kons.'da aşındırma SEM mikrografı

Tablo 5.6. Numune 4 proses parametreleri

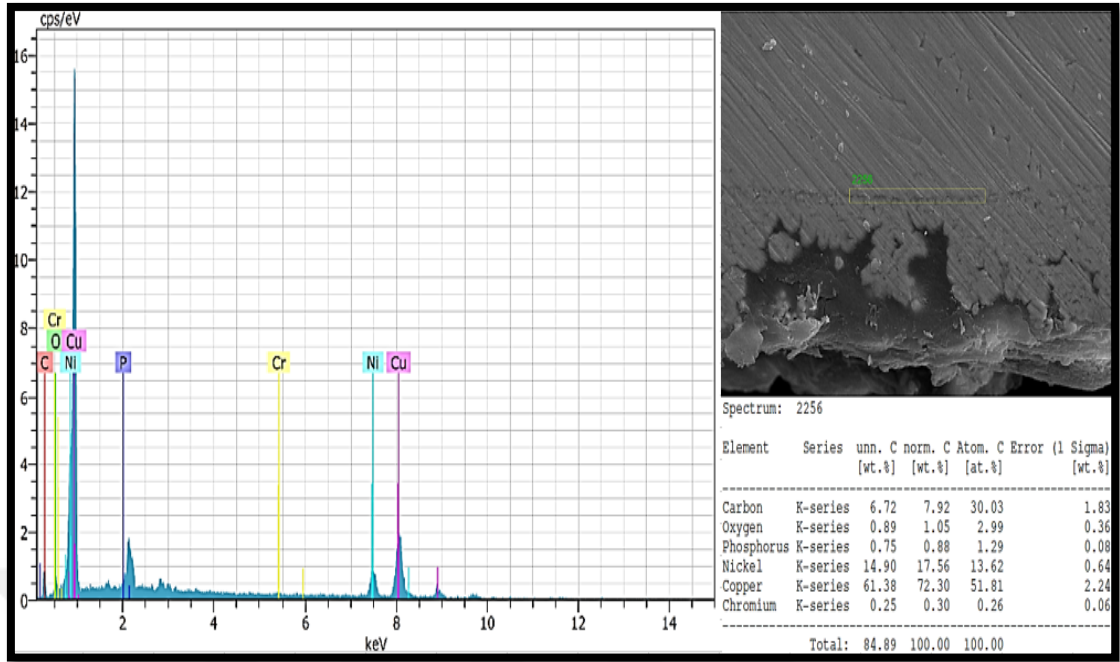
Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	300	30	5	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Tablo 5.6’da numune 4 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.12’deki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografi aşındırılmış PA yüzeyini göstermektedir. Plastik yüzeyinde oluşturulan mikro ve makro gözenekler, biriktirilmiş metal için bağlanma bölgelerini temin etmektedir. Ayrıca numune 1 (Şekil 5.3), numune 2 (Şekil 5.6) ve numune 3’e (Şekil 5.9) göre PA yüzeyi daha engebeli yapıya sahiptir. Makro ve mikro gözenekler daha yoğun ve derin olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ise aşındırma konsantrasyonu’nun ilk 3 numuneye göre fazla olmasıdır.



Şekil 5.13. Metalize PA numune 4’ün yan kesit SEM mikrografi

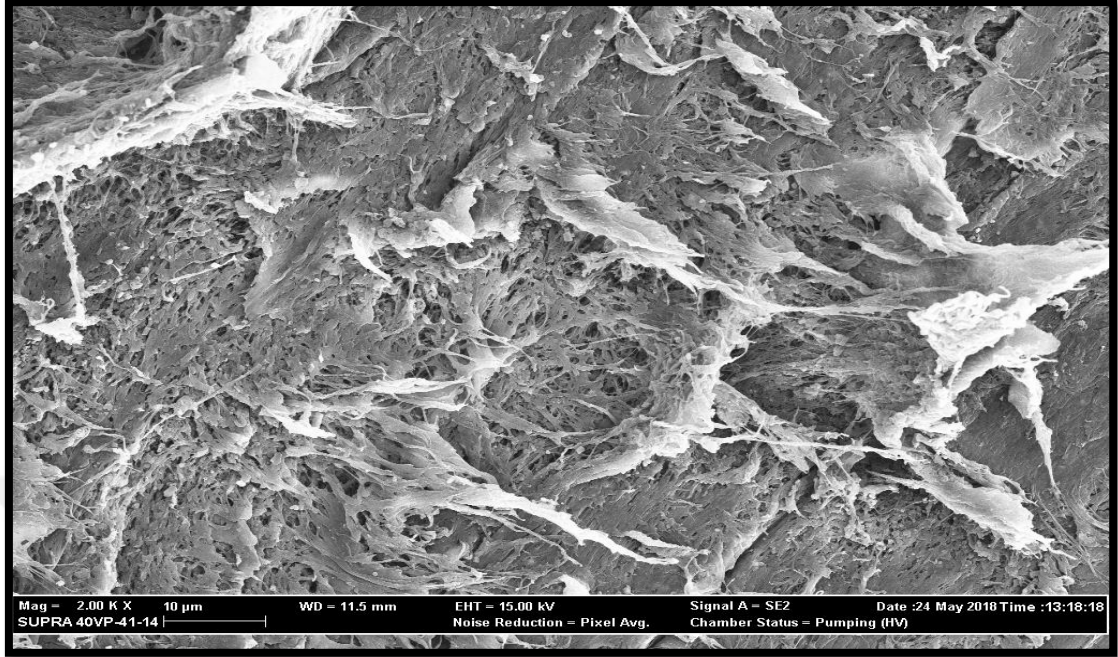
PA numune 4’ün yan kesitten SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 30,94 µ ve nikel tabaka kalınlığı: 12,51 µ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.13). Numune 4 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın ayrıldığı ve plastik ile metal tabakanın yapışması kötü olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.14. PA numune 4'ün EDX analizi

Şekil 5.14'de PA numune 4'ün plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde çeşitli safsızlıklar görülmüştür. Bakır element yüzdesi 61,38 olarak görülmektedir. Fazla konsantrasyonlu aşındırma ile PA malzemenin yapısının bozulduğu ve deformasyona uğradığı gözlenmiştir. Plastik yüzey ile metal film tabaka kötü yapışma göstererek birbirinden ayrıldığı gözlenmiştir.

5.2.5. Numune 5 SEM / EDX analiz sonuçları

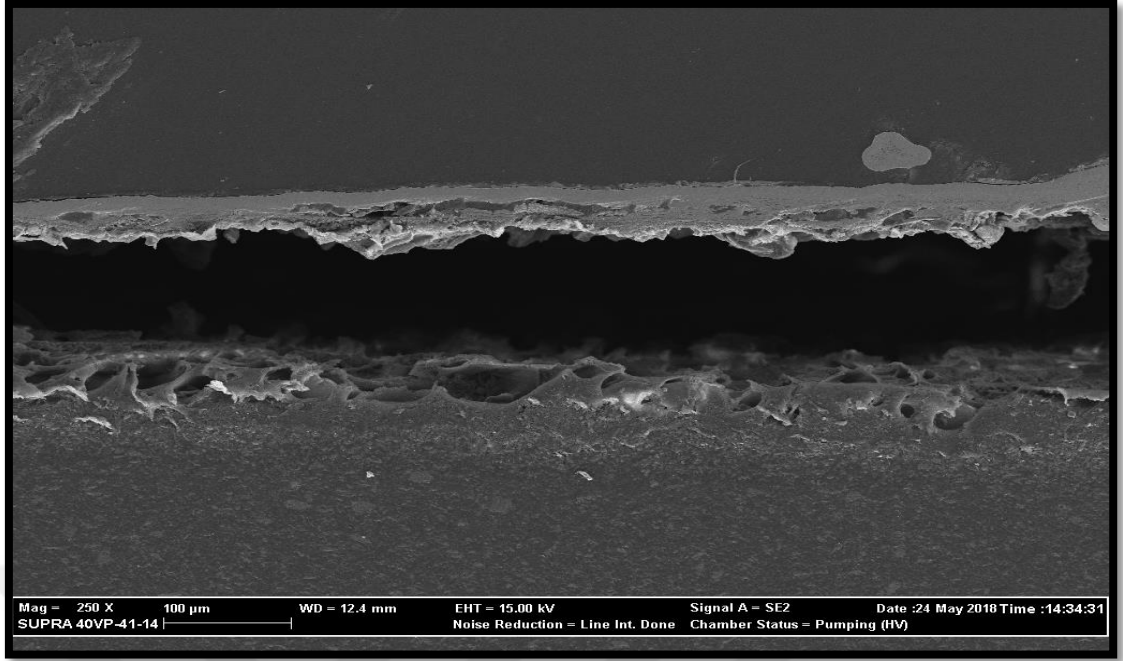


Şekil 5.15. Plastik PA numune 5'in 350g/L kons.'da aşındırma SEM mikrografi

Tablo 5.7. Numune 5 proses parametreleri

Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	350	30	5	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

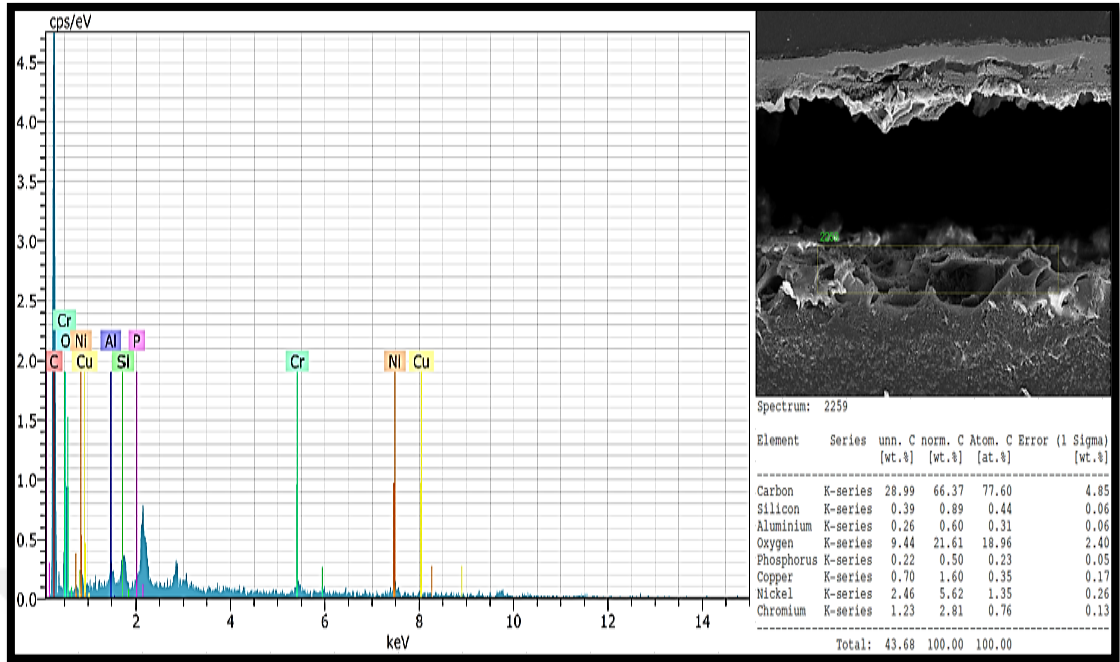
Tablo 5.7'de numune 5 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.15'deki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografi aşındırılmış PA yüzeyini göstermektedir. PA yüzeyin yüksek konsantrasyon nedeniyle deforme olduğu gözlenmiştir. Plastik yüzeyinde biriktirilmiş metal için bağlanma bölgeleri temin edilememiştir.



Şekil 5.16. Metalize PA numune 5'in yan kesit SEM mikrografı

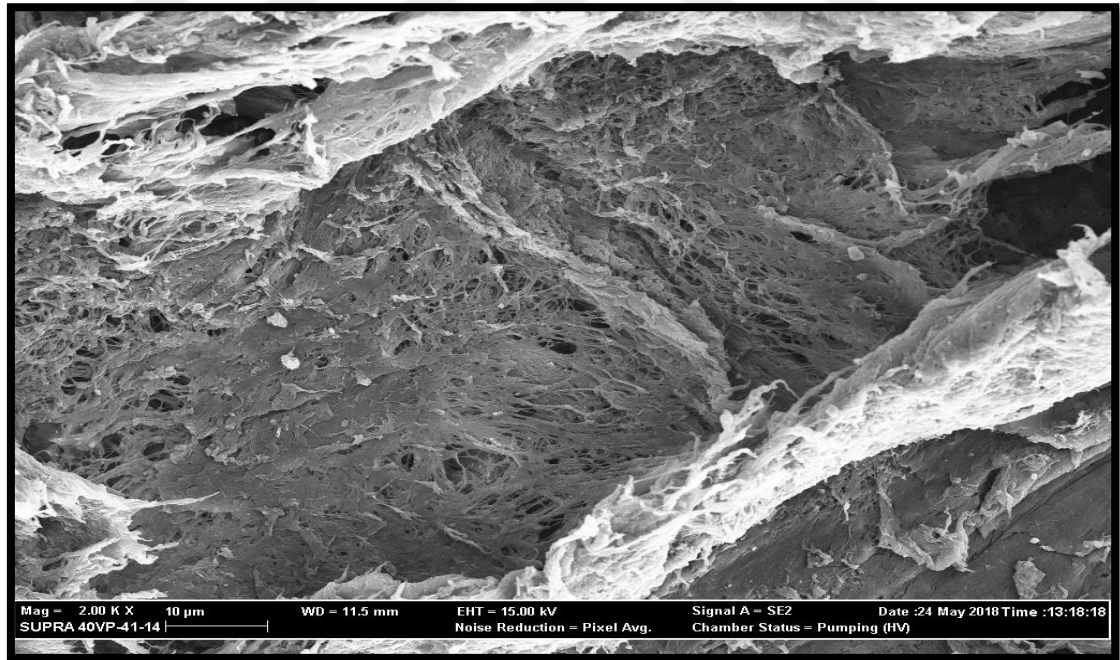
PA numune 5'in yan kesitten SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: $6,85 \mu$ ve nikel tabaka kalınlığı: $12,33 \mu$ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.16). Numune 5 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın ayrıldığı ve plastik ile metal tabakanın yapışması kötü olduğu gözlenmiştir. PA yüzey deformasyona uğradığı için biriktirilmiş metal için bağlanma bölgeleri temin edilememiştir. Buna bağlı olarak aktivasyon, kimyasal Ni (akımsız kaplama) ve asit bakır kaplama proseslerinde metal birikimleri olmamıştır. Bakır tabaka kalınlığının kötü olması plastik ile metal tabaka arasındaki yapışmayı olumsuz etkilemiştir.

Şekil 5.17'de PA numune 5'in plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde çeşitli safsızlıklar görülmüştür. Bakır element yüzdesi 0,70 olarak görülmektedir. PA yapısal elementlerin yüzdeleri yüksek olduğu görülmektedir. Fazla konsantrasyonlu aşındırma ile PA malzemenin yapısının bozulduğu ve deformasyona uğradığı gözlenmiştir. Plastik yüzey ile metal film tabaka kötü yapışma göstererek birbirinden ayrıldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.17. PA numune 5'in EDX analizi

5.2.6. Numune 6 SEM / EDX analiz sonuçları

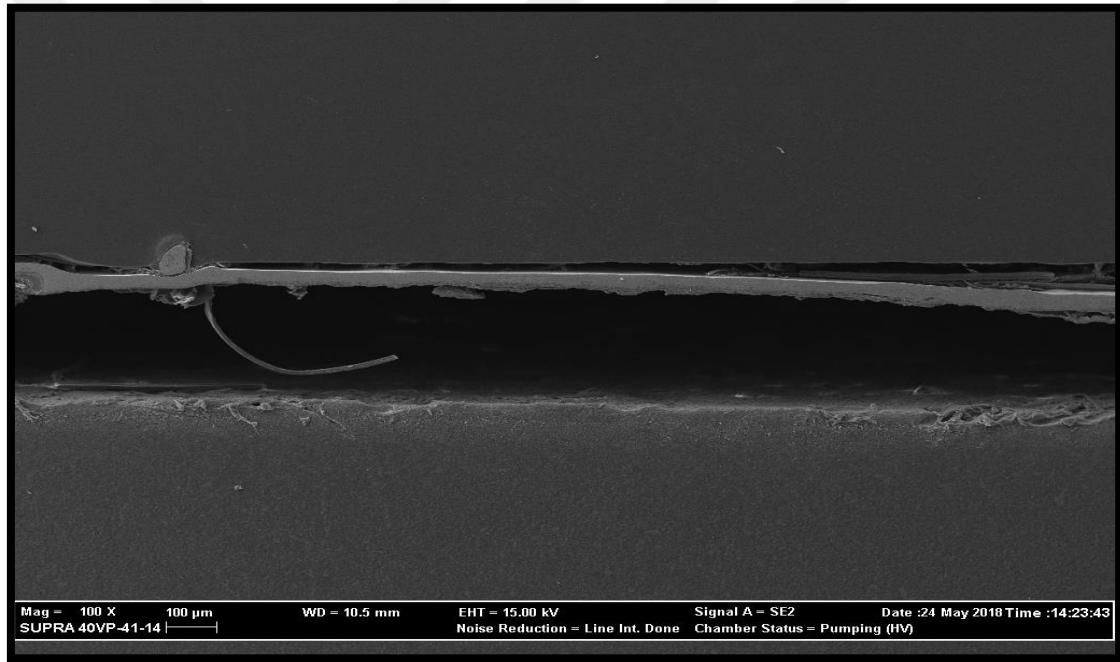


Şekil 5.18. Plastik PA numune 6'nın 400g/L kons.'da aşındırma SEM mikrografı

Tablo 5.8. Numune 6 proses parametreleri

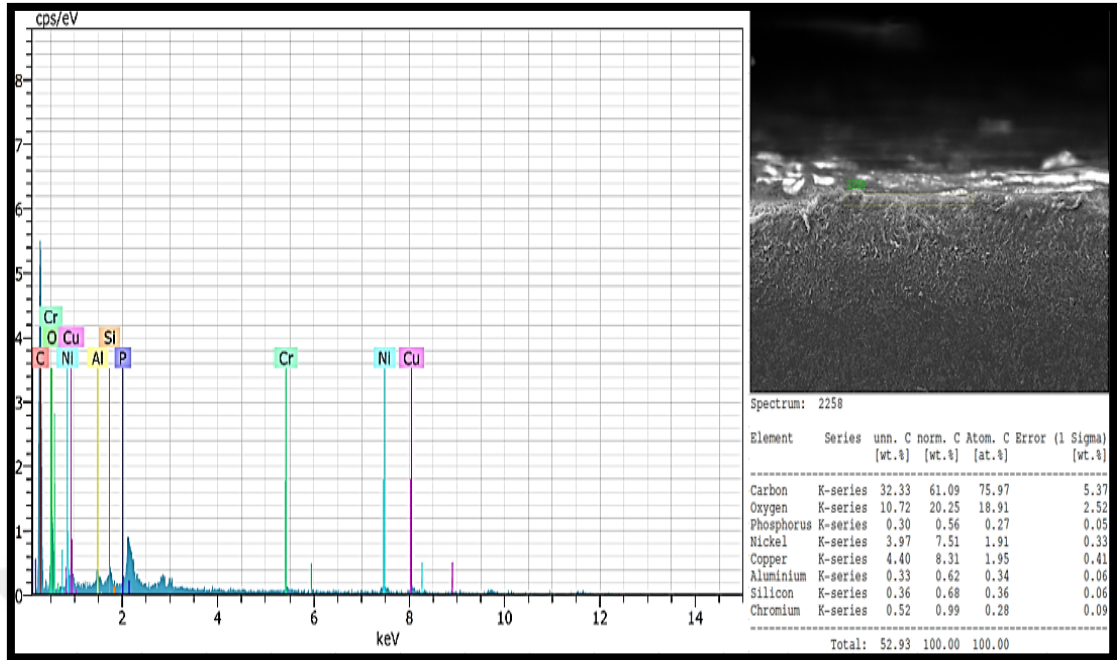
Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510 ppm	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	400	30	5	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Tablo 5.8’de numune 6 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.18’deki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografı aşındırılmış PA yüzeyini göstermektedir. PA yüzeyin yüksek konsantrasyon nedeniyle deforme olduğu gözlenmiştir. Plastik yüzeyinde biriktirilmiş metal için bağlanma bölgeleri temin edilememiştir.



Şekil 5.19. Metalize PA numune 6’nın yan kesit SEM mikrografı

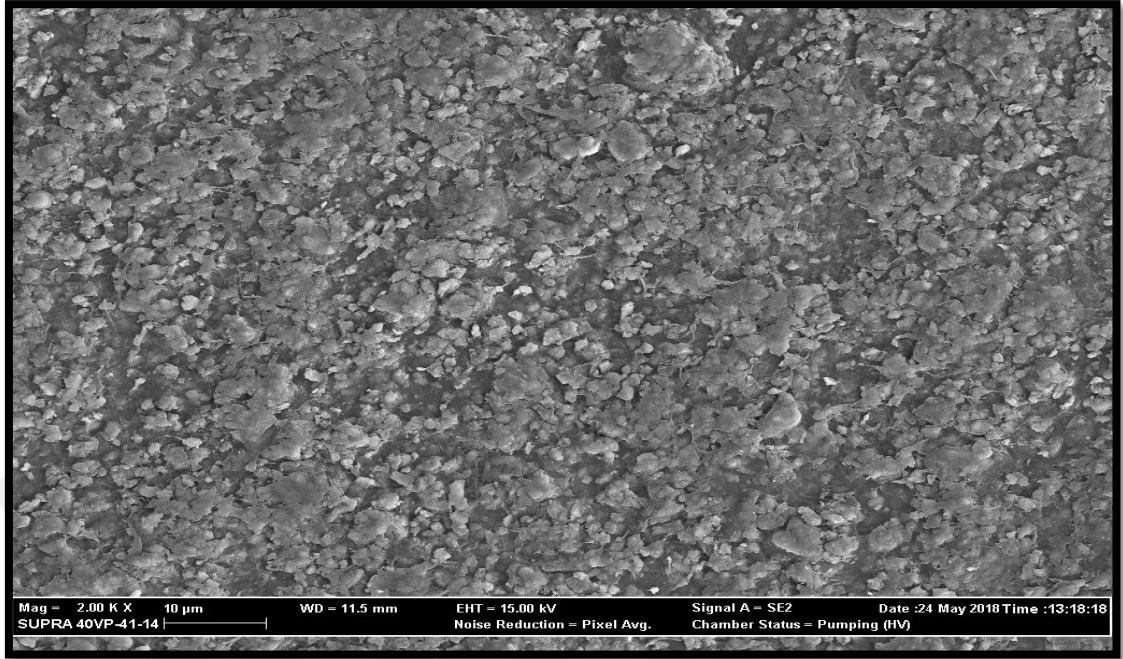
PA numune 6’nın yan kesitten SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 13,23 μ ve nikel tabaka kalınlığı: 11,88 μ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.19). Numune 6 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın ayrıldığı ve plastik ile metal tabakanın yapışması kötü olduğu gözlenmiştir. PA yüzey deformasyona uğradığı için biriktirilmiş metal için bağlanma bölgeleri temin edilememiştir. Buna bağlı olarak aktivasyon, kimyasal Ni (akımsız kaplama) ve asit bakır kaplama proseslerinde metal birikimleri olmamıştır. Bakır tabaka kalınlığının kötü olması plastik ile metal tabaka arasındaki yapışmayı olumsuz etkilemiştir.



Şekil 5.20. PA numune 6'nın EDX analizi

Şekil 5.20'de PA numune 6'nın plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde çeşitli safsızlıklar görülmüştür. Bakır element yüzdesi 4,40 olarak görülmektedir. PA yapısal elementlerin yüzdeleri yüksek olduğu görülmektedir. Fazla konsantrasyonlu aşındırma ile PA malzemenin yapısının bozulduğu ve deformasyona uğradığı gözlenmiştir. Plastik yüzey ile metal film tabaka kötü yapışma göstererek birbirinden ayrıldığı gözlenmiştir.

5.2.7. Numune 7 SEM / EDX analiz sonuçları

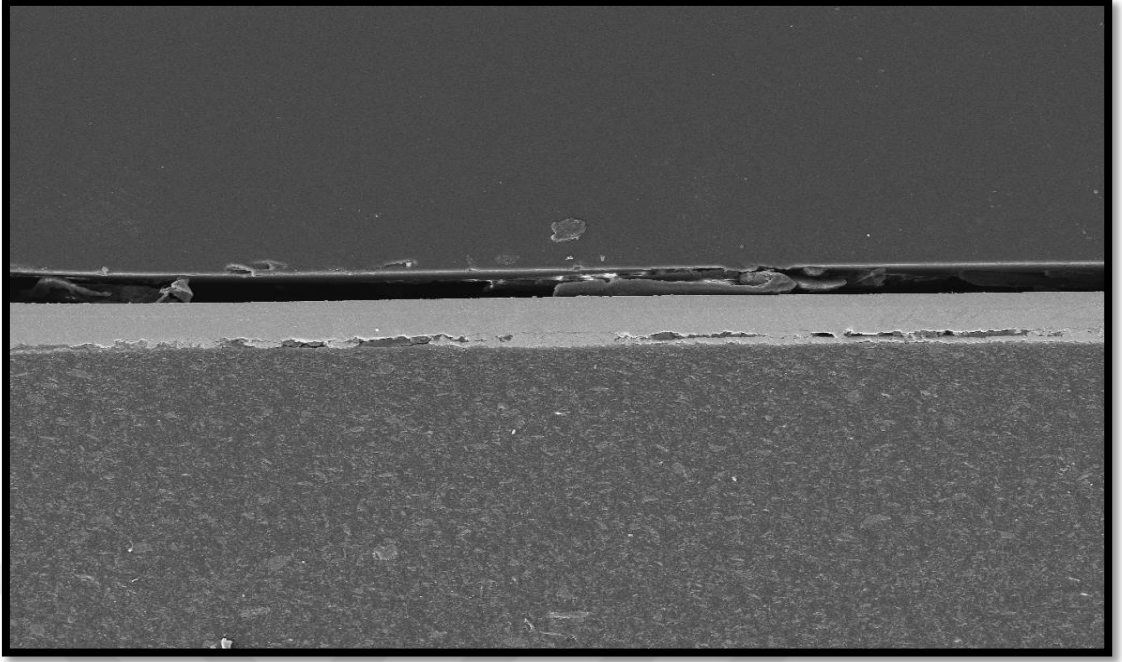


Şekil 5.21. Plastik PA numune 7'nin aktivasyon sonrası SEM mikrografı

Tablo 5.9. Numune 7 proses parametreleri

Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510 ppm	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	245	30	10	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

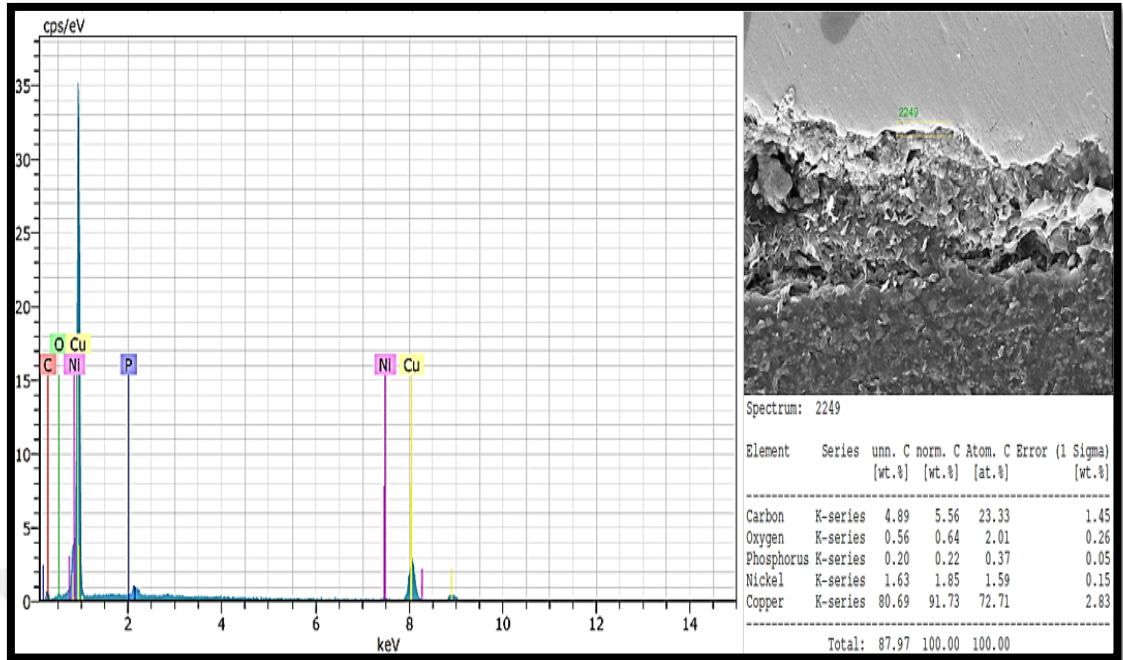
Tablo 5.9'da numune 7 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.21'deki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografı PdCl_2 ile aktive edilmiş PA yüzeyini göstermektedir. PA yüzeyinde PdCl_2 katalizör esaslı kaplama yapısı var olup, yüzeyde farklı boyutlarda dağılım gösterdiği gözlenmektedir.



Şekil 5.22. Metalize PA numune 7'nin yan kesit SEM mikrografı

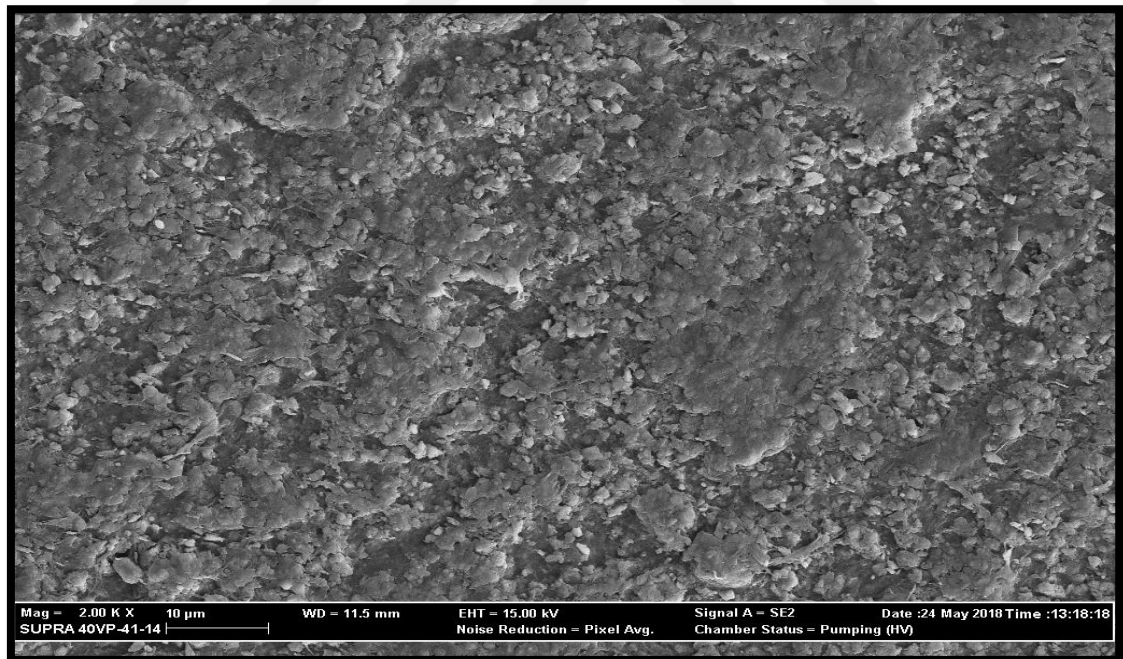
PA numune 7'nin yan kesitten 250 X ve 100 μm SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 31,63 μ ve nikel tabaka kalınlığı: 13,02 μ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.22). Numune 7 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın iyi yapışma gösterdiği gözlenmiştir. Aktivasyon süresindeki artış poliamid yüzeydeki PdCl_2 miktarını artırarak plastik tabaka ile metal tabakanın yapışmasına olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir.

Şekil 5.23'de PA numune 7'nin plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde herhangi bir safsızlık görülmemiştir. Bakır element yüzdesi 80,69 olarak görülmektedir.



Şekil 5.23. PA numune 7'nin EDX analizi

5.2.8. Numune 8 SEM / EDX analiz sonuçları

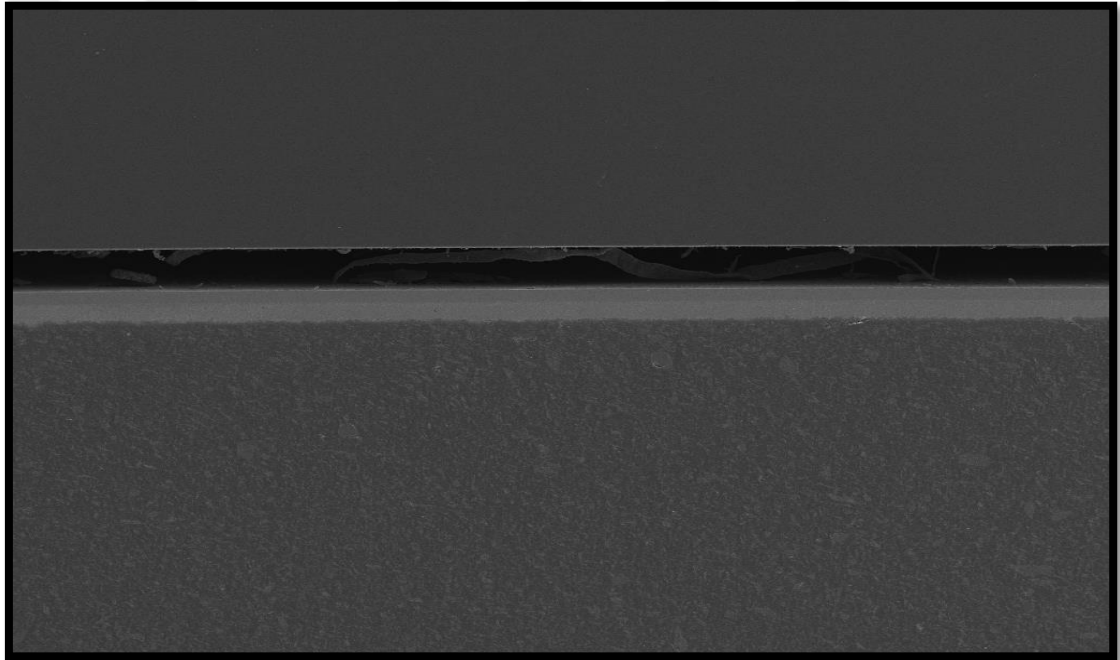


Şekil 5.24. Plastik PA numune 8'in aktivasyon sonrası SEM mikrografı

Tablo 5.10. Numune 8 proses parametreleri

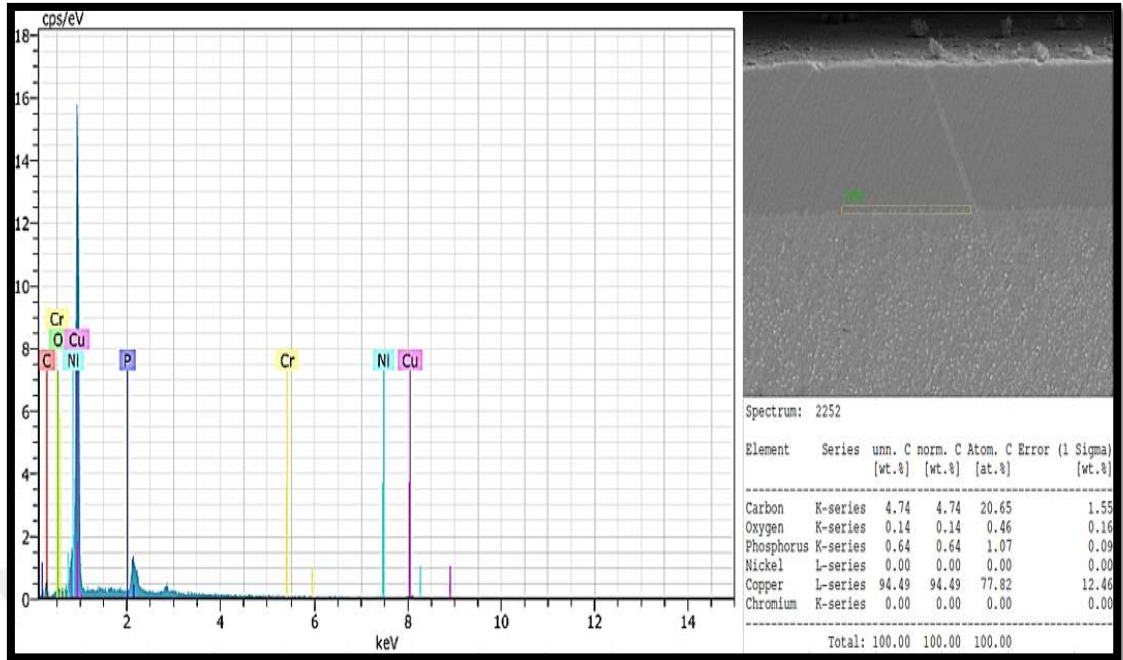
Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	245	30	15	138	500 ppm	30	3,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Şekil 5.10’da numune 8 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.24’deki 10 mikron boyutundaki SEM mikrografı PdCl₂ ile aktive edilmiş PA yüzeyini göstermektedir. PA yüzeyinde PdCl₂ katalizör esaslı kaplama yapısı var olup, numune 7’ye göre yüzeyde daha yoğun ve farklı boyutlarda dağılım gösterdiği gözlenmektedir.



Şekil 5.25. Metalize PA numune 8’in yan kesit SEM mikrografı

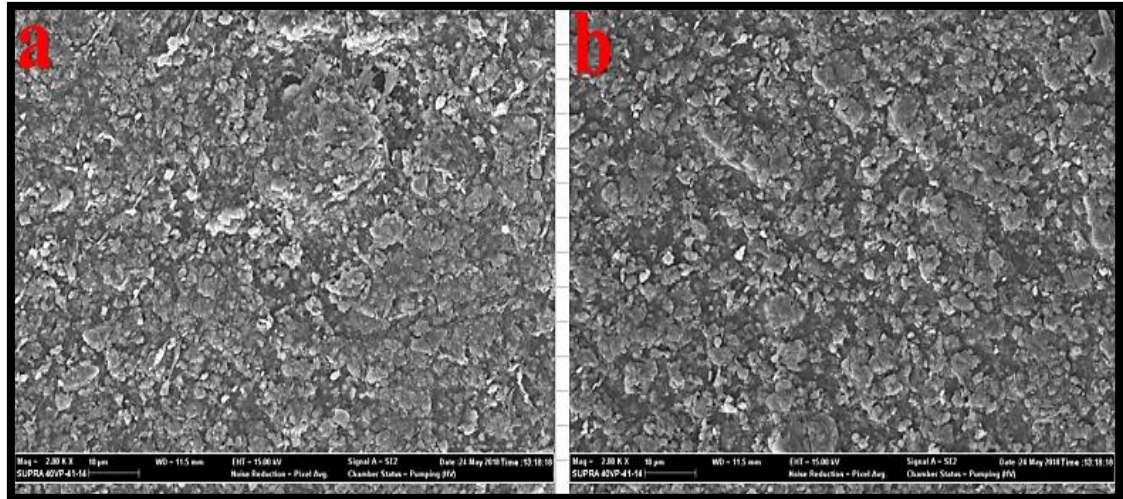
PA numune 8’in yan kesitten 250 X ve 100 µm SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 18,52 µ ve nikel tabaka kalınlığı: 13,02 µ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.25). Numune 8 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın mükemmel yapışma gösterdiği gözlenmiştir. Aktivasyon süresindeki artış poliamid yüzeydeki PdCl₂ miktarını artırarak plastik tabaka ile metal tabakanın yapışmasına olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.26. PA numune 8'in EDX analizi

Şekil 5.26'da PA numune 8'in plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde herhangi bir safsızlık görülmemiştir. Bakır element yüzdesi 94,49 olarak görülmektedir.

5.2.9. Numune 9 SEM / EDX analiz sonuçları

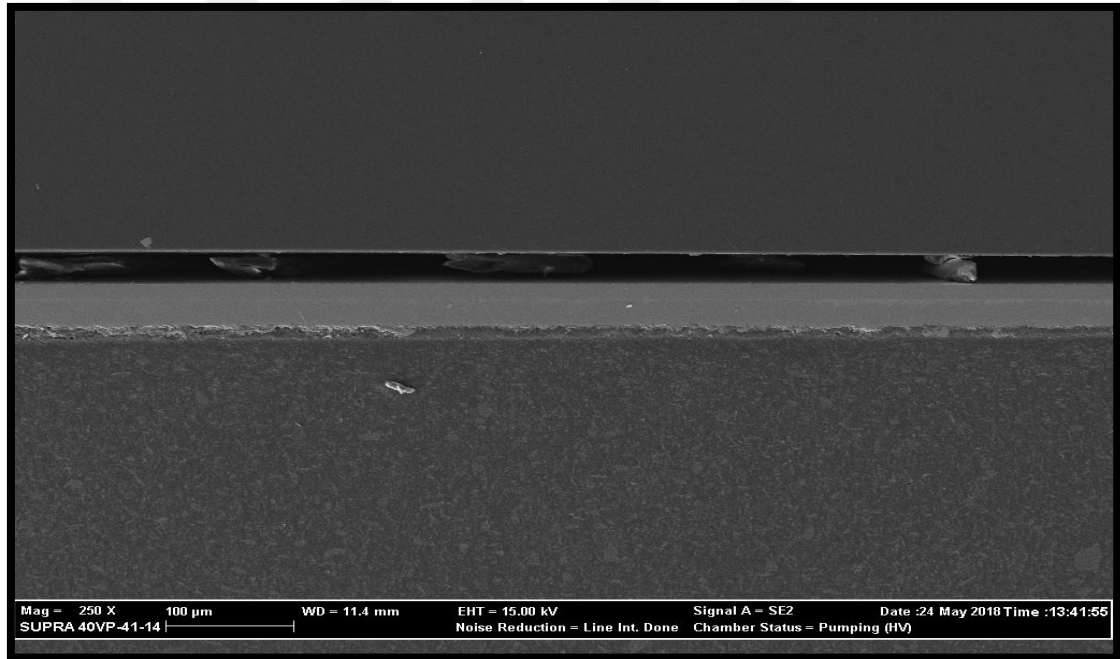


Şekil 5.27. Plastik PA numune 1 (a) ve numune 9'un (b) hızlandırıcı sonrası SEM mikrografları

Tablo 5.11. Numune 9 proses parametreleri

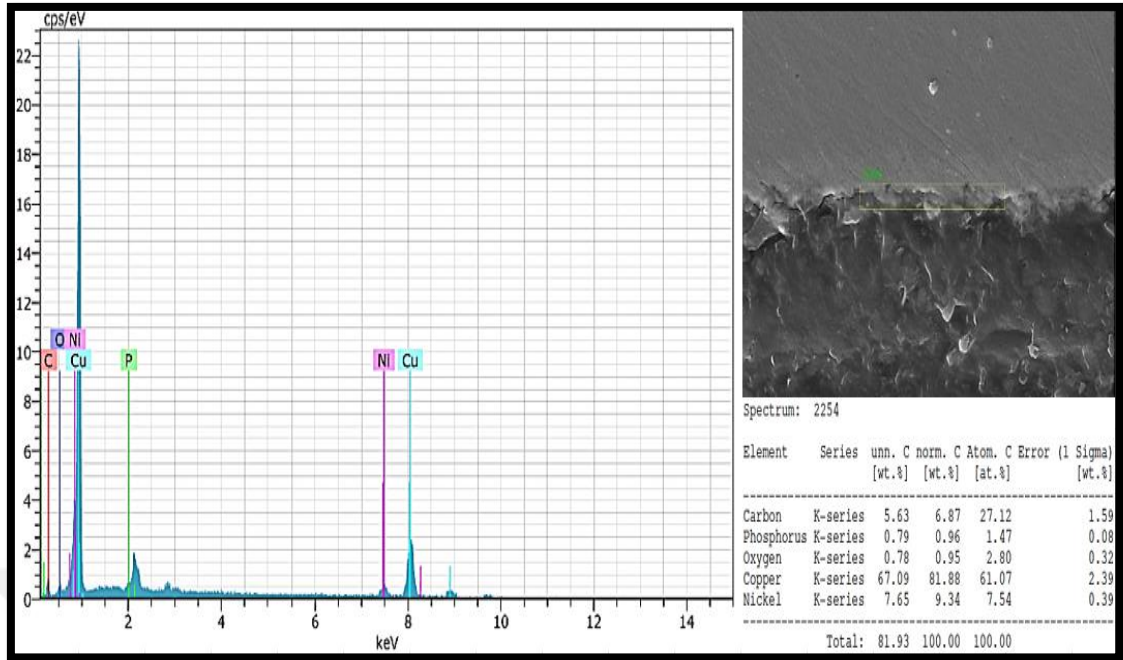
Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	245	30	5	138	500 ppm	30	7,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Tablo 5.11’de numune 9 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.27’deki SEM mikrografi hızlandırıcı prosesine tabi tutulmuş PA yüzeyini göstermektedir. Numune 1’in (Şekil 5.27 – a), numune 9’a (Şekil 5.27 – b) göre yüzey yapısı daha büyük kitlesel PdCl_2 oluşumlarına sahip olduğu gözlenmiştir. Numune 9’un hızlandırıcı proses süresi fazla olduğu için yüzeydeki PdCl_2 yapıları azalmıştır.



Şekil 5.28. Metalize PA numune 9’un yan kesit SEM mikrografi

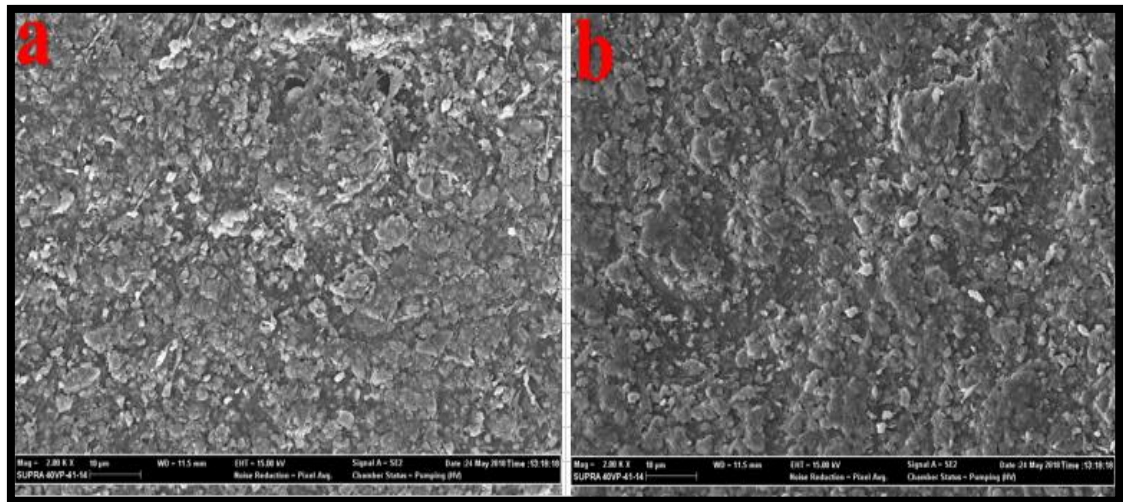
PA numune 9’un yan kesitten SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 26,35 μ ve nikel tabaka kalınlığı: 15,02 μ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.28). Numune 9 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın mükemmel yapışma gösterdiği gözlenmiştir. Hızlandırıcı süresindeki 4dk’lık artış poliamid yüzeydeki PdCl_2 miktarını belirli miktarda azaltmıştır. Fakat plastik gtabaka ile metal tabakanın yapışmasını olumsuz etkilemediği gözlenmiştir.



Şekil 5.29. PA numune 9'un EDX analizi

Şekil 5.29'da PA numune 9'un plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde herhangi bir safsızlık görülmemiştir. Bakır element yüzdesi 67,09 olarak görülmektedir.

5.2.10. Numune 10 SEM / EDX analiz sonuçları

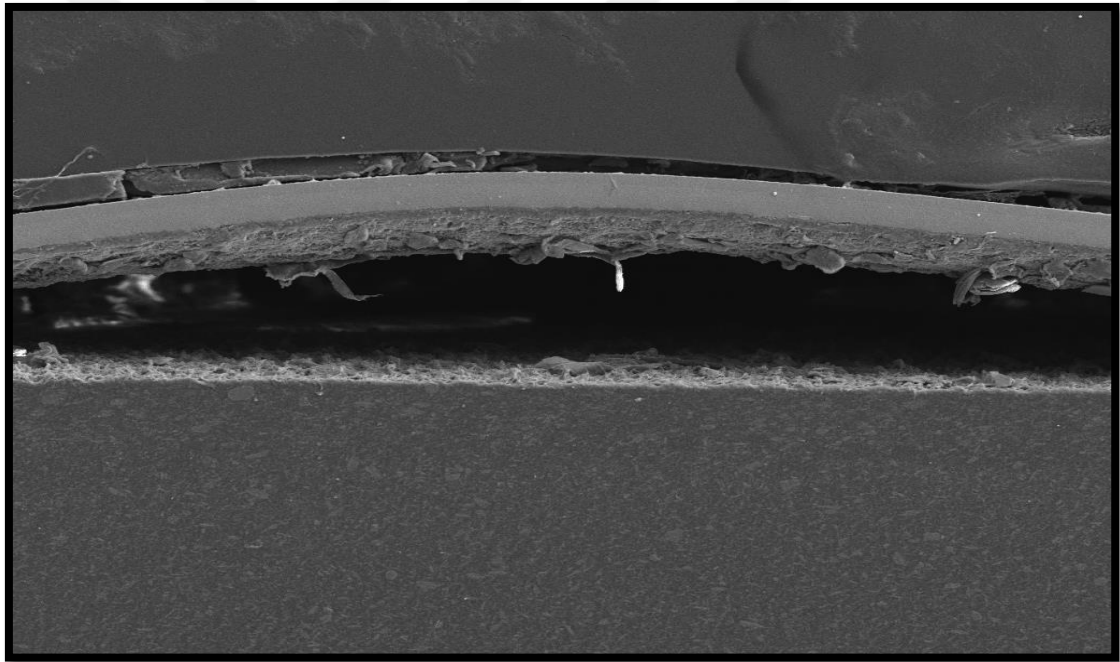


Şekil 5.30. Plastik PA numune 1 (a) ve numune 10'un (b) hızlandırıcı sonrası SEM mikrografları

Tablo 5.12. Numune 10 proses parametreleri

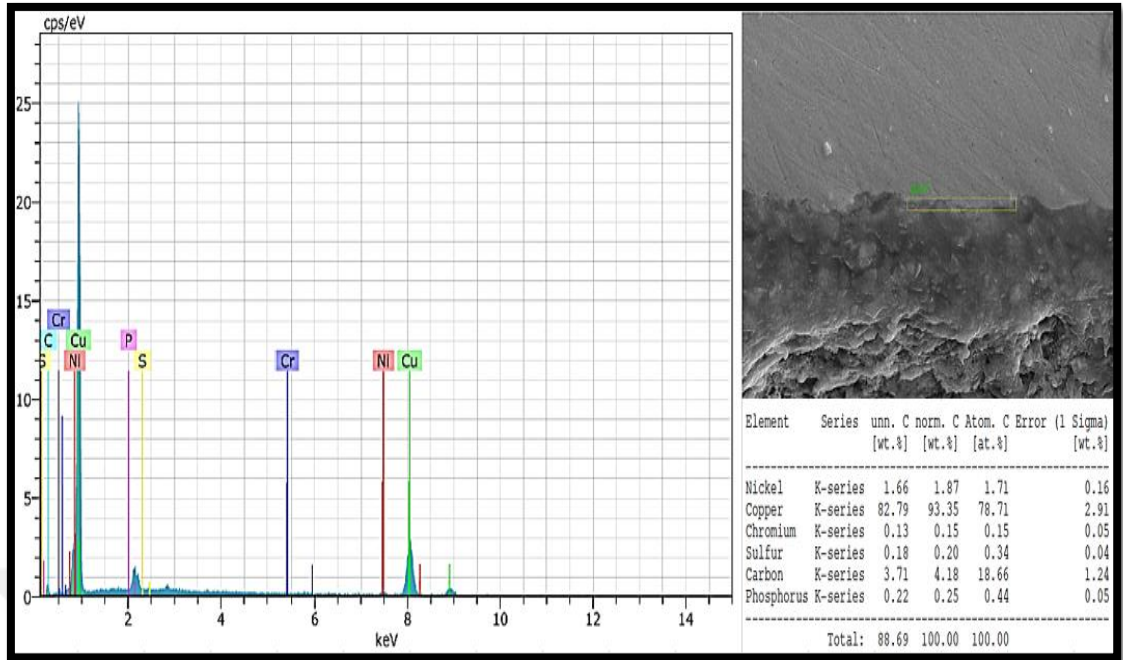
Aşındırma			Aktivasyon				Hızlandırıcı				Kimyasal Nikel				
Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 310 ml/l	Kons. PA 510 ppm	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. PA 610F ml/l	pH	Sıcaklık C	Zaman dk	Kons. Hipofosfit ml/l	Kons. Nikel ml/l	pH
45	15	245	30	5	138	500 ppm	30	11,50	28	11,5	30	12	15	2,5	9

Tablo 5.12’de numune 9 proses parametreleri verilmiştir. Şekil 5.30’daki SEM mikrografi hızlandırıcı prosesine tabi tutulmuş PA yüzeyini göstermektedir. Numune 1’in (Şekil 5.30 – a), numune 10’a (Şekil 5.30 – b) göre yüzey yapısı daha büyük kitlesel PdCl_2 oluşumlarına sahip olduğu gözlenmiştir. Numune 10’un hızlandırıcı proses süresi fazla olduğu için yüzeydeki PdCl_2 yapıları azalmıştır.



Şekil 5.31. Metalize PA numune 10’un yan kesit SEM mikrografi

PA numune 10’un yan kesitten 250 X ve 100 μm SEM mikrografında bakır tabaka kalınlığı: 22,32 μ ve nikel tabaka kalınlığı: 12,15 μ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.31). Numune 10 yan kesit SEM görüntüsünde termal çevrim dayanım testi sonrasında plastik ile metal tabakanın birbirinden ayrıldığı gözlenmiştir. Hızlandırıcı süresindeki 8dk’lık artış poliamid yüzeydeki PdCl_2 yapılarını azaltmıştır ve plastik tabaka ile metal tabakanın yapışmasını olumsuz etkilediği gözlenmiştir.

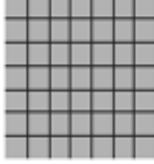
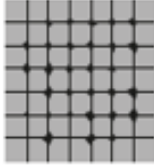
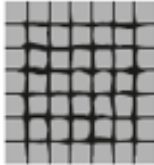
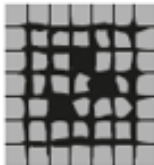
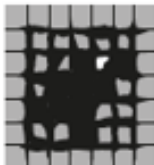


Şekil 5.32. PA numune 10'un EDX analizi

Şekil 5.32'de PA numune 10'un plastik ile bakır tabakası arasında yapılan elementel kompozisyon analizinde herhangi bir safsızlık görülmemiştir. Bakır element yüzdesi 82,79 olarak görülmektedir. Bakır element yüzdesi fazla olmasına rağmen hızlandırıcı prosesi normalden 8dk fazla olması nedeniyle plastik tabaka yüzeyindeki PdCl_2 miktarı azalmış ve buna bağlı olarak kimyasal nikel film tabakası zayıf kaplanmıştır. Bu nedenle plastik tabaka ile metal tabaka birbirinden ayrılmıştır.

5.3. Adezyon Bant Test Sonuçları

PA numunelerin adezyon bant test sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir.

Numune	Yüzey Görünüşü	Standart ve Açıklama
<u>1.7.8</u>		ISO 0 / ASTM 5B - Kesim kenarları tamamen pürüzsüz - Kafes karelerinin hiçbirisi ayrılmamış
9		ISO 1 / ASTM 4B - Kesimlerin kesişiminde küçük pulların ayrılması - Maks. Çapraz kesim alanının% 5'i etkilenir
-		ISO 2 / ASTM 3B - Kenarlarda ve kesişimlerde ince kaplama tabakaları dökülmüş - Etkilenen çapraz kesim alanı:% 5 -% 15
2		ISO 3 / ASTM 2B - Kareler kısmen / tamamen hasarlıdır - Etkilenen çapraz kesim alanı:% 15 -% 35
3		ISO 4 / ASTM 1B - Kareler tamamen soyulmuş / dökülmüş - Etkilenen çapraz kesim alanı:%35-%65
<u>4.5.6</u>		ISO 5 / ASTM 0B - ISO 4 veya ASTM 1B'den daha kötü herhangi bir dökülme - Etkilenen çapraz kesim alanı>% 65

Şekil 5.33. PA numunelerin adezyon bant test sonuçları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında PA'nın termal çevrim dayanımını artırabilmek için ticari ismi Minlon 73M40 NC010 %40 Vollaştonit Dolgulu PA (Dupont) polimeri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan plakalar enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. PA kaplamanın aşındırma (etching), aktivasyon (paladyum ile), hızlandırıcı (acceleratör) proseslerinde süre ve konsantrasyon parametrelerinin kaplama performansına etkisi incelenmiştir.

Numune 1, numune 2 ve numune 3 için; tüm parametreler sabit tutularak aşındırma banyosunda süreleri sırasıyla 15dk, 20dk, 30dk bekletilerek metal kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numune 1'in (aşındırma banyo süresi 15dk) termal çevrim dayanım test ve cross-cut test sonuçlarına bakıldığında plastik ve metal tabakaların birbirine çok iyi yapıştığı görülmüştür. Numune 2 (aşındırma banyo süresi 20dk) ve numune 3'de (aşındırma banyo süresi 30dk) plastik ve metal tabakaların birbirine yapışmadığı ve birbirinden ayrıldığı gözlenmiştir. Aşındırma süresinde artış plastik ve metal tabakaların birine yapışmasını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca numuneler için yapılan SEM/EDX analizlerinde de numune 2 ve numune 3'ün polimer yapılarında bozunmalar olarak deformasyon sonucu metal tabakanın yüzeye tutunamaması gözlenmiştir.

Numune 4 (aşındırma banyo konsantrasyonu 300 ml/l), numune 5 (aşındırma banyo konsantrasyonu 350 ml/l) ve numune 6 (aşındırma banyo konsantrasyonu 400 ml/l) için, numune 1 parametreleri baz alınarak aşındırma banyosu konsantrasyonları sırasıyla 300 ml/l, 350 ml/l, 400 ml/l yapılarak metal kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç numune içinde termal çevrim dayanım test ve adezyon bant test sonuçları olumsuzdur. Plastik ve metal tabaka aralarında yapışmanın çok kötü olduğu gözlenmiştir. Aşındırma konsantrasyonundaki artış plastik ve metal tabaka arasındaki yapışmayı olumsuz etkilemiştir. Numuneler için yapılan SEM/EDX analizlerinde her üç numuneninde polimer yapılarında deformasyon sonucu metal tabakanın yüzeye tutunamaması gözlenmiştir.

Numune 7 (aktivasyon prosesi süresi 10dk), numune 8 (aktivasyon banyo süresi 15dk) için, numune 1 parametreleri baz alınarak aktivasyon banyosunda süreleri sırasıyla 10dk, 15dk bekletilerek metal kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki numune içinde termal çevrim dayanım test ve adezyon bant test sonuçları olumlu çıkmıştır. SEM / EDX analizlerinde aktivasyon banyosu süresindeki artışın polimer yüzeyinde Pd katalizör miktarını artırarak polimer ile metal tabaka arasındaki yapışmayı olumlu etkilediği gözlenmiştir.

Numune 9 (hızlandırıcı banyo süresi 7,5dk), numune 10 (hızlandırıcı banyo süresi 11,5dk) için, numune 1 parametreleri baz alınarak hızlandırıcı banyosunda süreleri sırasıyla 7,5dk, 11,5dk bekletilerek metal kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numune 9'un termal çevrim dayanım test ve adezyon bant test sonucunun olumlu olduğu fakat numune 10 için sonuçların olumsuz olduğu gözlenmiştir. Hızlandırıcı banyoda bekleme süresinin arttıkça polimer ve metal tabaka arasındaki yapışmayı olumsuz etkilediği görülmüştür. SEM / EDX analizlerinde banyo süresindeki artışla beraber Pd katalizör varlığının azaldığı buda metal tabakanın iyi yapışmasını olumsuz etkilemiştir.

Yapılan çalışma sonucunda PA'lar üzerinde kaplamaların iyileştirilmesi için, PA'lar üzerinde iletken bir yüzeyin oluşturulmasına yardımcı olan Vollastonit (CaSiO_3) ile birlikte kullanılabilir. Kaplama prosesinde aşındırma süresi, aşındırma konsantrasyonu ve hızlandırma prosesi süresindeki artışların PA'ların termal çevrim dayanımları olumsuz etkilemiştir. PA'ların kaplanabilirliği zor olduğu için bu çalışma ile aşındırma prosesi süresi 15dk'da tutulması ve aşındırma prosesi konsantrasyonu 245 ml/l, aktivasyon prosesi süresi 15 dk ya kadar ve hızlandırma prosesi süresi 7,5dk üzerine çıkmaması önerilmektedir. Daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi için farklı kimyasallar, farklı aşındırma konsantrasyonları ve süreleri, farklı aktivasyon ve hızlandırıcı banyo süreleri denenebilir. Ayrıca endüstride maliyeti düşürmek için PA'lara farklı dolgu malzemeleri örneğin; kil, talk, silika gibi katkılanarak kaplanabilirlikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ebewe R. O., *Polymer Science and Technology*, CRC Press, New York, 2000.
- [2] Dünya Plastik Sektörü 2016, www.pagev.org, (Ziyaret tarihi:18 Nisan 2018).
- [3] Yaşar H., *Plastikler Dünyası*, 2. Baskı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 2001.
- [4] Chanda M. K., Roy S., *Plastic Technology Handbook*, 4th ed., CRC Press, London New York, 2006.
- [5] Savaşçı Ö.T., Uyanık N., Akovalı G., *Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi 2. Cilt*, PAGEV Yayınları, İstanbul, 2002.
- [6] Uluşen T., Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Kimyasal Kaplama İşlemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2008, 179839.
- [7] Harper C. A., Thermoplastics, Baker A. M., Mead J., *Modern Plastics Handbook/Modern Plastics*, McGraw-Hill Companies, New York, 14, 1999.
- [8] Yaşar H., *Plastikler Dünyası*, 1. Baskı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 1992.
- [9] Brydson J.A., *Plastics Materials*, 6th ed., Butterworth Heineman, Oxford, 1995.
- [10] Odian G., *Principles of Polymerization*, 2d ed., John Wiley and Sons Inc., New York, 1981.
- [11] Domininghaus H., *Plastics for Engineers, Materials, Properties, Application*, Hanser Gardner Publications, Munich, 1993.
- [12] Edward M. P., *Joining of Plastics, Elastomers, and Composites in Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1996.
- [13] Theberge J. E., *Journal of Elastomers & Plastics*, *Sage Journals*, DOI:10.1177/009524438201400202.
- [14] Kamal M. R., Upgrading Plastics Performance - 1, *Society of Plastics Engineers*, 1982, **38**(11), 31
- [15] Fried J. R., Polymer Technology - Part 8 : Polymer Resins, Blends And Composites, *Society of Plastics Engineers*, 1983, **39**(9), 37.

- [16] Selçuk S., İletken Zeolit / Polipirol Kompozitinin Hazırlanması Karakterizasyonu Ve Nem İle Sıcaklığa Karşı Sensör Özelliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 284919.
- [17] Ekşi O., Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2007, 199971.
- [18] Ciullo P. A., *Industrial Minerals and Their Uses*, 1st Edition, Noyes Publications, New Jersey, 1996.
- [19] Kogel J. E., Trivedi N. C., Barker J. M., Krukowski S.T., *Industrial Minerals & Rocks*, 7th Edition, Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Colorado, 2006.
- [20] Springer J., *Ontario Wollastonite: Uses, Markets And Ontario's Potential as a Future Producer*, Journal-1000-94, Industrial Mineral Background, Ontario, 1994.
- [21] Çuhadaroğlu D., Haner S., Wollastonite: A Review, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 2013, 37(1), 63-82.
- [22] Kumbasar I., Silikat Mineralleri, *İTÜ Matbaası*, 1997, **1098**, 170.
- [23] ICL, Imperial College London, <http://www3.imperial.ac.uk/>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2018).
- [24] Sarıöz K., Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, *Anadolu Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Yayınları*, 1992, **636**, 443.
- [25] Virta R. L., Wollastonite In Minerals Yearbook, U. S. Geological Survey, Canada, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/wollastonite/860401.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2018).
- [26] Dumont M., *Wollastonite. Canadian Minerals Yearbook*, Canadian Government Publications, Canada, 2004.
- [27] <http://nycominerals.com/>, (Ziyaret tarihi:03 Ağustos 2018).
- [28] <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/wollastonite.pdf>, (Ziyaret tarihi: 03 Ağustos 2018).
- [29] IARC, *Silica, Some Silicates, Coal Dust and Para-Aramid Fibrils*, Volume 68, IARC Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans, <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono68.pdf>, (Ziyaret Tarihi:30 Mart 2019).

- [30] Degryse P., Elsen J., *Industrial Minerals, Resources, Characteristics and Applications*, Leuven University Pres, Belgium, 2003.
- [31] Carraher C. E., *Polymer Chemistry*, 6th Edition, Marcel Dekker Inc., New York, 2003.
- [32] Kumar A., Gupta R. K., *Fundamentals of Polymers Engineering*, ISBN: 0-8247-0867-9 Marcel Dekker Inc., New York, 1997.
- [32] Rubin I. I., *Injection Molding of Plastics*, Wiley, New York, 1973.
- [33] Brown J., *Injection Molding of Plastic Components*, McGraw - Hill, New York, 1979.
- [34] Dyn J. B., *Injection Molds and Molding*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1979.
- [35] Kulkarni M. V., Reddy K. H., Elangovan K., Strength Haracterization Of Plated Polyamides, Doctoral Thesis, Jawaharlal Nehru Technological University, Mechanical Engineering, India, 2015.
- [36] Hunt L. B., The Early History of Gold Plating, *Gold Bulletin The Journal Of Gold Science, Technology And Applications*, **6**(1), 1973, 16-27.
- [37] Van Mons J. B., Extrait D'une Lettre De Brugnatelli Écrit Par Luigi Vincenzo Brugnatelli, *Journal De Chimie Et De Physique*, DOI:10.1038/150286c0.
- [38] Brenner A., Riddell G.E., Nickel Plating On Steel By Chemical Reduction, *National Bureau of Standards*, DOI:http://dx.doi.org/10.6028/jres.037.019.
- [39] Schlesinger M., Electroless Deposition of Nickel, in "Modern Electroplating, John Wiley & Sons, Inc., DOI: 10.1002/9780470602638.ch18.
- [40] Paunovic M., Electroless Deposition of Copper, in "Modern Electroplating, John Wiley & Sons, Inc., DOI: 10.1002/9780470602638.ch17.
- [41] Damico J. F., Deangelo M. A., Hendricks J. F., Kenney J. T., Sharp D. J., Selective Electroless Metal Deposition Using Patterned Photo-Oxidation of SN(II) Sensitized Substrates, *Journal of the Electrochemical Society*, 1971, **118**(10), 1695.
- [42] Schlesinger M., Ultraviolet Inhibition of Electroless Plating on Glass, *Journal of the Electrochemical Society: Electrochemical Science and Technology*, 1974, **121**(5), 667-668.
- [43] Blum W., The Structure And Properties Of Alternately Deposited Metals, *Trans. Am. Electrochem Soc.*, **40**, 1921, 307-320.

- [44] Tench D., White J, Enhanced Tensile Strength For Electrodeposited Nickel-Copper Multilayer Composites, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 1984, **15**(11), 2039-2040.
- [45] Yahalom J., Zadok O., Formation Of Composition – Modulated Alloys By Electrodeposition, *Journal Of Material Science*, 1987, **22**(2), 499-503.
- [46] Petro R. A., Modern Applications of Novel Electroless Plating Techniques, Doctoral Thesis, University of Windsor, Department of Physics, Canada, 2014, 5095.
- [47] <http://elektrotesisat.blogspot.com.tr>, (Ziyaret tarihi: 6 Mayıs 2018).
- [48] Şahin T., Elektrodepozisyon İle Üretilen CoFeCu/Cu Çok Katmanlı Filmlerin Elektrokimyasal, Yapısal, Manyetik ve Manyetodirenç Özellikleri Üzerine L(+)Askorbik Asit ve Sodyum Hidroksit'in Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2014, 373234.
- [49] Cerit A. M., Makine Mühendisliği El Kitabı Üretim ve Tasarım Cilt 2, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, Yayın No:170, 1994
- [50] Hajdu B. J., Mallory O. G., Plating On Plastic, Kuzmik J. J., Electroless Plating Fundamentals Application, Reprint Edition, *American Electroplaters and Surface Finishers Society*, Florida, 382-392, 1990.
- [51] Olivera S., Plating On Acrylonitrile–Butadiene–Styrene (ABS) Plastic: a Review, Crossmark, *Journal Of Materials Science*, DOI: 10.1007/s10853-015-9668-7.
- [52] Kılıçarslan A., Toptan F., Kerti I., Akımsız Nikel Kaplama Yöntemi ve Seramik Partiküllerine Uygulanması, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*, Sayı:154, 33-34-35-36-37, 2010.
- [53] Shipley C. R., Plating and Surface Finishing, *Product Finishing*, 1984, **71**(6), 24-27.
- [54] Davis J. R., *Copper and Copper Alloys*, 2th ed., ASM International Staff, USA, 2001.
- [55] Cotell C. M., Sprague J. A., and Smidt F. A., *ASM Handbook Surface Engineering*, Volume 5, ASM International, USA, 1994.
- [56] Stevenson M. R., Metal Plating Of Polyamide Thermoplastics, 1985, U.S. Patent No:4,552,626, *United States Patent Grosse Pointe Woods*.
- [57] Shigemitsu H., Method For Plating Polyamide Resin Molded Article, 1986, U.S. Patent No:4,563,242, *United States Patent Ohtake*. 10242872_tez.pdf

- [58] Gupta B. K., Friction and Wear Behavior of Ion Plated Lead-Tin Coatings, *J. Vac. Sci. Technol.*, 1987, **A5**(3), 358.
- [59] Davies D. And Whittaker J.A, *Methods of Testing the Adhesion of Metal Coatings*, Metallurgical Reviews, 1967.
- [60] Baglin J. E. E., Thin Film Adhesion : New Possibilities for Interface Engineering, *Materials Science and Engineering*, 1988, **B1**, 1.
- [61] <https://www.byk.com/en/support/instruments/technical-information/physical-test-information.html>, (Ziyaret tarihi: 9 Ağustos 2018).



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Yazıcı H.**, Akay R.G., Development Of Chromium Coating With Wollastonite Mineral Filled Polyamid Process and Investigation Of İts Thermal Stability, *2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, Ankara, Turkey, 19-20-21 October 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Bayburt’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2006 yılında girdiği Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. 2011 yılından beri özel sektörde Üretim Mühendisliği görevinde çalışmakta. 2016 – 2019 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında Durden Plastik A.Ş’de Üretim Mühendisi olarak başladığı görevine halen devam etmektedir. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

