

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**1050, 5005, 7075 ALÜMİNYUM TİPİ MALZEMELERİN ÜZERİNE UYGULANAN  
NANO YÜZEY İŞLEM SONRASINDA YAPILAN ORGANİK KAPLAMALARIN  
KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANBERK MİNAZ

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. FATİH APAYDIN

BİLECİK, 2022

10481248

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**1050, 5005, 7075 ALÜMİNYUM TİPİ MALZEMELERİN ÜZERİNE UYGULANAN  
NANO YÜZEY İŞLEM SONRASINDA YAPILAN ORGANİK KAPLAMALARIN  
KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANBERK MİNAZ

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. FATİH APAYDIN

BİLECİK, 2022

10481248

## BEYAN

1050, 5005, 7075 Alüminyum Tipi Malzemelerin Üzerine Uygulanan Nano Yüzey İşlem Sonrasında Yapılan Organik Kaplamaların Korozyon Davranışının İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığımı beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>		<b>DESTEK ALINMAMIŞTIR</b>	X
<b>Destek alındı ise;</b>			
<b>Destekleyen kurum;</b>			
<b>Desteğin Türü</b>		<b>Proje Numarası</b>	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;..... .....			
<b>ETİK KURUL onayı var ise;</b>			
<b>ETİK KURUL karar tarih/sayı:</b>		...../..... .....	

Canberk Minaz

.....

Tarih

.....

İmza

.....

## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Doç. Dr. Fatih APAYDIN'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Eğitimimiz süresince gereken tüm imkanları sağlayan Sayın Yahya BEYCE' ye saygılarımı sunarım. Çalışmalarında ekipmanlarından ve yararlandığım UZMAN KATAFOREZ YÜZEY KAPLAMA SANAYİ TİCARET A.Ş. çalışanlarına ve Ar-Ge Laboratuvarı personellerine destek ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yardımcı olan Minel GÜL, Bünyamin EREN, İbrahim ÖK, Semih ULUBAYRAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Mustafa MİNAZ, annem Nuray MİNAZ, kardeşim Ayberk MİNAZ, eşim Gül MİNAZ ve oğlum Sarp MİNAZ'a içten dileklerle teşekkür ederim.

**Canberk Minaz**

**2022**

## ÖZET

### 1050, 5005, 7075 ALÜMİNYUM TİPİ MALZEMELERİN ÜZERİNE UYGULANAN NANO YÜZEY İŞLEM SONRASINDA YAPILAN ORGANİK KAPLAMALARIN KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Alüminyum, birçok sektörde her geçen gün etkinliğini ve kullanım sıklığı artırmaktadır. Alüminyum, hafif olması, korozif etkilere karşı direnci, ısı ve elektrik iletkenliği, kolay şekillendirilebilir olması, kaynaklanabilirliği gibi özellikleri sayesinde malzeme seçimi açısından avantajlı bir elementtir. Özellikle alaşımları çok çeşitli özelliklere sahip olabilmektedir. Kullanıldığı ortam koşulları ve kullanma işlevine göre alaşım elementinin hangisi olacağına karar verilir. Bu tezde, otomotiv sektörü, savunma sanayi, havacılık ve uçak sanayisinde kullanılan 1050, 5005, 7075 tipi alüminyum malzemelerinin üzerine, nano kaplama yapıldıktan sonra organik kaplamalar olan kataforez kaplama, toz boya ve çinko lamelli kaplama prosesleri uygulanmıştır. Uygulanan bu prosesler, yöntem açısından birbirlerinden çok farklı işlemlerdir. Bu proseslerden geçip kaplaması yapılan parçalar performans testlerine tabi tutulmuştur. İlk yapılan test kaplamanın iyi bir şekilde yapışıp yapışmadığı hakkında bize ön bilgi veren kuru yapışma testidir. Bu testi başarılı bir şekilde geçen parçalar çevimsel korozyon testi ve cass testi süreçlerinden geçirildikten sonra sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaplama, Alüminyum, Kataforez, Toz Boya, Çinko Lamelli, Cass testi, Korozyon, Çevrim Testi.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATIONS OF CORROSION BEHAVIOR OF ORGANIC COATINGS AFTER NANO SURFACE TREATMENT ON 1050, 5005, 7075 ALUMINUM TYPE MATERIALS**

Aluminum is increasing its effectiveness and frequency of use in many sectors day by day. Aluminum is an advantageous element in terms of material selection, thanks to its light weight, resistance to corrosive effects, thermal and electrical conductivity, easy formability and weldability. In particular, its alloys can have very different properties. It is decided which alloy element will be according to the environmental conditions and usage function in which it is used. In this topic, 1050, 5005, 7075 type aluminum materials used in the automotive sector, defense industry, industry and aircraft industry were used. Firstly, nano coating was applied on the materials. Afterwards, organic coatings such as cathodolysis coating, powder coating and zinc flake coating processes were applied. These processes applied are very different from each other in terms of method. The parts coated in these processes were subjected to performance tests. The first test is the adhesion test, which gives us preliminary information about whether the coating adheres well or not. After passing this test successfully, the parts were subjected to cycle corrosion test and cass test processes, and their results were compared.

**Keywords:** Coating, Aluminum, Cathodolysis, Powder Coating, Zinc Flake, Cass Test, Adhesion Test, Cycle Corrosion Test.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET .....	vii
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ivii
TABLolar DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
1.GİRİŞ .....	1
2. ALÜMİNYUM ELEMENTİNİN ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRILMASI .....	3
2.1. Alüminyumun tarihteki yeri .....	3
2.2. Alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri .....	4
2.3. Alüminyumun üretimi .....	8
2.3.1. Birincil alüminyum üretimi .....	9
2.3.1.1. Boksit.....	9
2.3.1.2. Alümina.....	9
2.3.1.3. Alüminyum .....	10
2.3.2. İkincil alüminyum üretimi .....	11
2.4. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması .....	12
2.4.1. Dövme Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	12
2.4.2. Döküm alaşımlarının sınıflandırılması .....	13
2.5. Alaşım elementlerinin etki ve özelliklerinin incelenmesi .....	14
2.5.1. Bakır elementinin alaşıma etkisi.....	15
2.4.2. Silisyum elementinin alaşıma etkisi.....	15
2.4.3. Magnezyum elementinin alaşıma etkisi .....	15
2.4.4. Manganez elementinin alaşıma etkisi.....	16
2.4.5. Çinko elementinin alaşıma etkisi.....	16
2.4.6. Titanyum elementinin alaşıma etkisi .....	16
2.4.7. Demir elementinin alaşıma etkisi .....	16
2.4.8. Nikel elementinin alaşıma etkisi .....	16
2.4.9. Alüminyum sodyum alaşımı .....	17
3. KOROZYON VE KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ .....	18
3.1. Korozyon tanımı, teorisi ve türleri .....	18
3.1.1. Korozyon teorisi .....	19
3.1.2. Korozyon türleri.....	22
3.1.2.1. Homojen (Üniform) korozyon .....	22

3.1.2.2. Taneler arası korozyon.....	223
3.1.2.3. Galvanik korozyon.....	22
3.1.2.4. Çatlak korozyonu.....	22
3.1.2.5. Çukurcuk korozyonu.....	224
3.1.2.6. Erozyon korozyonu.....	22
3.1.2.7. Gerilimli korozyon.....	22
3.1.2.8. Tercihli çözünme korozyonu.....	22
3.1.2.9. Hidrojen kırılabilirliği.....	22
3.2. Korozyondan korunma yöntemleri.....	27
3.2.1. Saf metal kullanımı.....	28
3.2.2. Alaşım elementi katma.....	28
3.2.3. Isıl işlem.....	28
3.2.4. Uygun tasarım.....	28
3.2.5. Katodik koruma.....	29
3.2.6. Anodik koruma.....	30
3.2.7. Yüzey kaplamalar.....	30
3.2.7.1. Organik kaplamalar.....	30
3.2.7.2. İnorganik kaplamalar.....	30
3.2.7.3. Metalik kaplamalar.....	30
4. KAPLAMA TEKNİKLERİ.....	33
4.1. Nano kaplama.....	33
4.1.1. Nanoteknoloji ve nano kaplama nedir?.....	33
4.1.2. Nano kaplamaların özellikleri ve uygulama alanları.....	33
4.1.2.1. Uygulama alanları.....	33
4.2. Kataforez kaplama.....	36
4.2.1. Kataforez kaplama tanımı ve tarihçesi.....	36
4.2.2. Kataforez kaplamanın proses aşamaları.....	37
4.2.2.1. Yüzey hazırlama prosesi.....	37
4.2.2.2. Kataforez kaplama banyosu.....	41
4.2.2.3. Kürlenme prosesi.....	48
4.3. Çinko lamelli kaplama.....	49
4.3.1. Çinko lamelli kaplama tarihi ve tanımı.....	49
4.3.2. Çinko lamelli kaplamaların fiziksel özellikleri ve fırınlanması.....	52
4.3.3. Çinko lamelli kaplama iş akışı.....	52
4.3.3.1. Yüzey hazırlama süreci.....	52
4.3.3.2. Çinko lamelli kaplama süreci.....	52
4.3.3.3. Üst kat kaplama prosesi.....	52

<b>4.4. Toz boya kaplama .....</b>	<b>56</b>
<b>4.4.1. Toz boya uygulamasının başlangıç evreleri.....</b>	<b>56</b>
<b>4.4.2. Elektrostatik toz boya tanımı ve çeşitleri.....</b>	<b>57</b>
4.4.2.1. Elektrostatik toz boyanın tanımı .....	57
4.4.2.2. Elektrostatik toz boyanın çeşitleri.....	57
<b>4.4.3. Toz boya uygulaması öncesi yüzey hazırlama yöntemleri .....</b>	<b>59</b>
4.4.3.1. Temizleme / yağ alma .....	59
4.4.3.2. Mekanik temizleme .....	60
4.4.3.3. Nano kaplama.....	60
<b>4.4.4. Elektrostatik toz boyanın uygulama yöntemleri.....</b>	<b>60</b>
4.4.4.1. Akışkan yatak yöntemiyle uygulama .....	60
4.4.4.2. Püskürtme yöntemiyle uygulama .....	61
<b>4.4.5. Elektrostatik toz boya uygulamasındaki fırınlama işlemi .....</b>	<b>62</b>
<b>5. LİTERATÜR BİLGİSİ .....</b>	<b>64</b>
<b>6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>667</b>
<b>6.1. Deneysel çalışmalar.....</b>	<b>667</b>
<b>6.2. Deneysel çalışma koşulları ve banyo değerleri.....</b>	<b>667</b>
6.2.1. Kullanılan alüminyum tiplerinin xr-f ölçümleri .....	667
6.2.2. Deneysel çalışma koşulları .....	68
6.2.3. Banyo parametreleri.....	70
<b>6.3. Test yöntemleri.....</b>	<b>71</b>
6.3.1. Kuru yapışma (cross-cut) testi.....	71
6.3.2. Sem cihazı ölçümleri.....	73
6.3.3. Çevrimsel korozyon testi .....	73
6.3.4. CASS testi .....	75
6.3.5. X-ray cihazı.....	76
<b>7. DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>77</b>
7.1. Kuru yapışma testinin sonuçları .....	77
7.2. Çevrimsel korozyon direnci sonuçları .....	82
7.3. CASS testinin sonuçları.....	85
7.4. Sem cihazı sonuçları .....	88
7.5. X-ray sonuçları.....	90
<b>8. SONUÇLAR.....</b>	<b>911</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>92</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 2.1.</b> Diğer Metallerle Karşılaştırılması.....	6
<b>Tablo 2.2.</b> Alüminyumun Kullanım Alanları ve Alternatif Malzemeleri .....	7
<b>Tablo 2.3.</b> Alüminyum Alaşımlarının AA Standartına Göre Gösterilişleri .....	8
<b>Tablo 2.4.</b> Saf Alüminyumun Genel Özellikleri. ....	11
<b>Tablo 2.5.</b> Alüminyum Dövme Alaşımlarının Gösterimi .....	13
<b>Tablo 2.6.</b> Döküm Alüminyum Alaşımlarının Gösterimleri .....	14
<b>Tablo 3.1.</b> Bazı Metallerin Elektromotif Kuvvet Serisi. ....	21
<b>Tablo 4.1.</b> Nano Kaplama Üzerine Standart Kataborez Kaplama Prosesi İş Akış Şeması.....	37
<b>Tablo 4.2.</b> Çinko Lamelli Kaplama Prosesi Aşamaları .....	52
<b>Tablo 4.3.</b> Termoset Toz Boya Çeşitleri ve Özellikleri .....	58
<b>Tablo 6.1.</b> 1050 Alüminyum Tipi İçin XR-F Ölçümleri .....	67
<b>Tablo 6.2.</b> 5005 Alüminyum Tipi İçin XR-F Ölçümleri .....	68
<b>Tablo 6.3.</b> 7075 Alüminyum Tipi İçin XR-F Ölçümleri .....	68
<b>Tablo 6.4.</b> 1050 Tipi Alüminyum İçin Kaplama Tipleri ve Süreleri.....	69
<b>Tablo 6.5.</b> 5005 Tipi Alüminyum İçin Kaplama Tipleri ve Süreleri.....	69
<b>Tablo 6.6.</b> 7075 Tipi Alüminyum İçin Kaplama Tipleri ve Süreleri.....	69
<b>Tablo 6.7.</b> Kataborez Kaplama Prosesi Değerleri.....	70
<b>Tablo 6.8.</b> Çinko Lamelli Kaplama Proses Değerleri .....	71
<b>Tablo 6.9.</b> Toz Boya Kaplama Prosesi Değerleri.....	71
<b>Tablo 6.10.</b> Yapışma Testinin Değerlendirme Kriterleri .....	73
<b>Tablo 6.11.</b> Hedeflenen Çevrimsel Korozyon Testi Dayanım Süreleri .....	74
<b>Tablo 6.12.</b> Hedeflenen CASS Testi Dayanım Süreleri.....	75
<b>Tablo 7.1.</b> 1050 Çinko Lamelli Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları .....	77
<b>Tablo 7.2.</b> 5005 Çinko Lamelli Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları .....	78
<b>Tablo 7.3.</b> 7075 Çinko Lamelli Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları .....	78
<b>Tablo 7.4.</b> 1050 Kataborez Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları .....	79
<b>Tablo 7.5.</b> 5005 Kataborez Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları .....	79
<b>Tablo 7.6.</b> 7075 Kataborez Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları .....	80
<b>Tablo 7.7.</b> 1050 Toz Boya Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları.....	80
<b>Tablo 7.8.</b> 5005 Toz Boya Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları.....	81
<b>Tablo 7.9.</b> 7075 Toz Boya Kaplamanın Kuru Yapışma Testi Sonuçları.....	81

<b>Tablo 7.10.</b> Çevrimsel Korozyon Genel Test Sonuçları .....	<b>82</b>
<b>Tablo 7.11.</b> 1050 Kataforez Kaplamanın Çevrim Testi Sonuçları.....	<b>82</b>
<b>Tablo 7.12.</b> 5005 Kataforez Kaplamanın Çevrim Testi Sonuçları.....	<b>83</b>
<b>Tablo 7.13.</b> 7075 Kataforez Kaplamanın Çevrim Testi Sonuçları.....	<b>83</b>
<b>Tablo 7.14.</b> 1050 Toz Boya Kaplamanın Çevrim Testi Sonuçları.....	<b>84</b>
<b>Tablo 7.15.</b> 5005 Toz Boya Kaplamanın Çevrim Testi Sonuçları.....	<b>84</b>
<b>Tablo 7.16.</b> 7075 Toz Boya Kaplamanın Çevrim Testi Sonuçları.....	<b>85</b>
<b>Tablo 7.17.</b> CASS Testi Genel Test Sonuçları.....	<b>85</b>
<b>Tablo 7.18.</b> 1050 Kataforez Kaplamanın CASS Testi Sonuçları.....	<b>86</b>
<b>Tablo 7.19.</b> 5005 Kataforez Kaplamanın CASS Testi Sonuçları.....	<b>86</b>
<b>Tablo 7.20.</b> 7075 Kataforez Kaplamanın CASS Testi Sonuçları.....	<b>87</b>
<b>Tablo 7.21.</b> 1050 Toz Boya Kaplamanın CASS Testi Sonuçları.....	<b>87</b>
<b>Tablo 7.22.</b> 5005 Toz Boya Kaplamanın CASS Testi Sonuçları.....	<b>88</b>
<b>Tablo 7.23.</b> 7075 Toz Boya Kaplamanın CASS Testi Sonuçları.....	<b>88</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Alüminyum Elementi. ....	4
Şekil 2.2. Alüminyum Üretimi Yöntemleri .....	8
Şekil 2.3. Boksit Cevheri .....	9
Şekil 2.4. Alümina .....	10
Şekil 2.5. Alüminyum Geri Dönüşüm Dengesi. ....	12
Şekil 3.1. Korozyon Hücresi.....	19
Şekil 3.2. Korozyon Mekanizmasındaki Reaksiyonlar.....	20
Şekil 3.3. Asit Çözeltisindeki Çinkonun Reaksiyonları .....	20
Şekil 3.4. Yumuşak Çeliğin Yüzeyinde Oluşan Korozyon .....	21
Şekil 3.5. Üniform (Homojen) Korozyon.....	23
Şekil 3.6. 304 Paslanmaz Çelikteki Taneler Arası Korozyon. ....	23
Şekil 3.7. Galvanik Korozyon .....	24
Şekil 3.8. Çatlak Korozyonunun Oluşumu .....	24
Şekil 3.9. Çukurcuk Korozyonu .....	25
Şekil 3.10. Erozyonlu Korozyonun Başlaması. ....	25
Şekil 3.11. Pirinç Malzemede Oluşan Gerilimli Korozyon Mikroyapısı. ....	26
Şekil 3.12. Tercihli Korozyon .....	26
Şekil 3.13. Hidrojenin Metal İçine Penetrasyonu .....	27
Şekil 3.14. Uygun Tasarımın Önemi .....	29
Şekil 3.15. Çinko Kaplama ile Galvanik Olarak Korunan Metal. ....	29
Şekil 3.16. Elektrokimyasal Hücre. ....	32
Şekil 4.1. Nanoteknolojinin Sistemi ve Sınıflandırılması .....	33
Şekil 4.2. Nano Kaplama Yapılmış ve Yapılmamış Örnekler.....	34
Şekil 4.3. Hidrofil ve Hidrofob Yüzeylerde Su Damlacıkları .....	35
Şekil 4.4. Partikülün ve Yağın, Yağ Alma İşlemiyle Yüzeyden Ayrılma Mekanizması .....	38
Şekil 4.5. Püskürtme Yağ Alma Yöntemi. ....	39
Şekil 4.6. Elektro Kaplama Uygulamaları .....	41
Şekil 4.7. Katarforez Kaplama Prosesi .....	41
Şekil 4.8. Katarforez Kaplama Banyosunda Gerçekleşen Reaksiyonlar .....	42
Şekil 4.9. Katarforez Kaplama Denemelerinde Akım – Zaman Eğrileri. ....	42
Şekil 4.10. Elektriksel Köprünün Oluşturulması Esnasında Karşılaşılan Dirençler. ....	43

Şekil 4.11. Kataforez Banyosu İçerisindeki Kimyasallar .....	43
Şekil 4.12. Fenoksi Katkılı Boya Filmi Görünümü .....	45
Şekil 4.13. Parça Yüzeylerinin Anot Hücrelerine Göre Konumu .....	45
Şekil 4.14. Film Kalınlıklarının Zamanla Değişimi. ....	45
Şekil 4.15. Kaplama Prosesindeki Ultrafiltrasyon Sistemi.....	46
Şekil 4.16. Membrandaki Akış Sistemi .....	47
Şekil 4.17. Ultrafiltrasyon İşleminde Kullanılan Membranın İşleyişi.....	47
Şekil 4.18. (a) Anolit Devresi – (b) Kuru Anot .....	48
Şekil 4.19. Kataforez Kaplamanın Teorik Kürlenme Diyagramı. ....	49
Şekil 4.20. Gerçekte Ölçümü Alınmış Pişirme Fırınının Termograf Diyagramı. ....	49
Şekil 4.21. Çinko Lamelli Kaplama Prosesleri.....	51
Şekil 4.22. Çinko Lamelli Kaplama Prosesi .....	54
Şekil 4.23. Parçaların Kendi Etrafında Döndürülme İşlemi .....	55
Şekil 4.24. Toz Boya Taneciklerinin Boya Filmi Oluşturma Süreci. ....	57
Şekil 4.25. Toz Boya Uygulamalarında Kullanılan Renkler. ....	58
Şekil 4.26. Akışkan Yatak Yöntemi ile Toz Boya Uygulamaları.....	61
Şekil 4.27. Püskürtme Toz Boya Uygulaması .....	61
Şekil 4.28. Korona Tabancasındaki Yükleme .....	62
Şekil 4.29. Tribo Tabancasındaki Yükleme. ....	62
Şekil 4.30. Toz Boya Fırınlama İşleminin Örnek Sıcaklık – Zaman Grafiği. ....	63
Şekil 4.31. Kürlenmeden Önce ve Sonra Toz Boya Partiküllerinin Görünümü.....	63
Şekil 6.1. Yapışma Testinin Ekipmanları .....	72
Şekil 6.2. Cross – Cut Bıçağının Kesici Kısmı.....	72
Şekil 6.3. Özel Bandın Uygulanması.....	72
Şekil 6.4. Sem Cihazı.....	73
Şekil 6.5. Renault 47-01-000-E Standartına Göre Bir Çevrimin Aşamaları. ....	74
Şekil 6.6. ASCOTT CC1000 IP Çevrimsel Korozyon Test Kabini. ....	75
Şekil 6.7. X-ray Cihazı. ....	76
Şekil 7.1. Kataforez Kaplama Kalınlığı.....	89
Şekil 7.2. Toz Boya Kaplama Kalınlığı.....	89
Şekil 7.3. Çinko Lamelli Kaplama Kalınlığı. ....	90

## 1.GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte bir çok sektörde yeni özelliklere ihtiyaç duyulmuştur. Alüminyum, hem fiziksel hem de mekanik özellikleri nedeniyle endüstride önemli sektörlerde kullanılmakta ve kullanımı git gide artış göstermektedir. Konumuza tabi olan alüminyum türleri ise savunma, uçak, havacılık ve uzay sanayisinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Korozyona karşı olan yüksek direnci, alaşım halindeki hafifliği, maliyetinin düşük olması ve yüksek mukavemete sahip olması nedeniyle endüstrilerde çelik malzemelerden sonra en çok kullanılan ikinci metal haline gelmiştir (Akdoğan Eker, 2013: 1-2).

Çelik malzemelerin yoğunluğu  $7,83 \text{ g/cm}^3$  iken alüminyumun yoğunluğu  $2,71 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmektedir. Bu durum, alüminyumun çelik malzemelere göre yaklaşık olarak üç kat daha hafif olduğunu göstermektedir. Alüminyumun tercih edilmesinin sebebi, ortaya çıkan nihai üründe hafiflik önemli bir özellik olsa da başka birçok pozitif yanının olmasıdır. Kristal yapısı yüzey merkezli kübik (YMK) olduğu için her sıcaklıkta süneklik kabiliyeti vardır. Alüminyumun alaşım seçimi, üretim tekniği ve tasarımları uygun ve uyumlu seçildiğinde kullanıldıkları cihaz veya aracın darbelere karşı daya dayanıklı olması ve güvenlik açısından çelik malzemelerle karşılaştırıldığında daha iyidir (Uchida, 1996: 97). Koroziif ortamlarda alüminyumun yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplanarak, alüminyumu korozyona karşı yüksek direnç sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı alüminyum, koroziif ortamlarda kullanılmaya elverişlidir. Ayrıca sıcak ve soğuk şekillendirme kabiliyeti iyi olan alüminyum ile çeşitli geometrilere parçalar üretilebilmektedir (Uchida, 1996: 97). Kullanım çeşitliliği gelecekte çok daha fazla olacağı öngörülen alüminyumun günümüz endüstride kullanım oranı ağırlıkça yaklaşık %6'dır (Dündar, 2002: 80-95).

Metallerin kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum metallerin kullanıldıkları yerlere göre çeşitli özelliklere sahip olmasının gerekli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ancak en önemli husus, kullanım ömürleridir. Bundan dolayı metalleri daha uzun süre kullanmayı amaçlayan araştırma ve çalışmalar hız kazanmıştır. Metallerin kullanım ömürlerini azaltan en büyük etken korozyon yani paslanma problemidir (Kılınç, 2019: 1-2). Tezin konusu olan alüminyum, koroziif ortamlarda kullanıma elverişli olsada korozyona karşı yüksek direnç sağlaması için saflığının %99.5'in altında olmaması gereklidir. Ancak genellikle alüminyum elementi, alaşımlama yapılarak kullanıldığından dolayı saf alüminyuma göre korozyon direnci daha düşük olmaktadır (Akdoğan Eker, 2013: 6). Dolayısıyla metalleri, korozyona karşı dayanıklı hale getirmek gerekmektedir. Malzemenin korozyona karşı direncini artırmak için malzemenin yüzeyine uygulanan çeşitli kaplama yöntemleri bulunmaktadır. Bu

kaplamalar, genel olarak elektrolitik ve elektrolitik olmayan kaplamalar olarak iki gruba ayrılırlar. Kataforez, çinko, toz boya gibi kaplamalar, elektrostatik kaplamalara örnek verilebilirken; nano kaplama, fosfat kaplama, yağ boya ve çinko lamelli kaplamalar ise elektrostatik olmayan kaplama yöntemlerine örnek olarak verilebilirler.

Kataforez kaplama, metal yüzeylere uygulanan, kaplandığı metalin korozyona karşı direncini artıran organik bileşenlerden oluşan elektrostatik bir kaplamadır. Otomotiv sektöründe yan sanayide uzun yıllardır kullanılan kataforez kaplama, beyaz eşya, savunma sanayi gibi alanlarda kullanım alanı artmaktadır. Bu yöntem, metal parçaların korozyona karşı korunmasında kullanılan en etkili ve yaygın yöntemdir (Kılınç, 2019: 3-4).

Çinko lamelli kaplama, yüksek oranda alüminyum ve çinko elementleri içeren akımsız olarak metal yüzeyine uygulanan organik kaplamalardır. Bu kaplamanın bir çok avantajı mevcuttur. İnce kaplama olarak (4-15 mikron) arka arkaya uygulanabilir olması, kaplanmış ürünlerde hidrojen kırılabilirliği olmaması gibi avantajları vardır. Çinko lamelli kaplamalar, kimyasal dayanım, darbe direnci, sürtünme direnci, yüksek korozyon direnci gibi önemli özelliklere sahip olması gereken parçalara uygulanır. Teknolojinin gelişmesi ve yeni gereksinimlerin ortaya çıkmasıyla beraber kalitesi, performansı ve diğer önemli özellikleriyle bir çok sektörde yerini almaya başlamıştır. 21'inci yüzyılın ilk çeyreğinde  $Cr^{+6}$ 'nın yasaklanmasıyla beraber çinko lamelli kaplamalarda değişikliğe gidilip krom içermeyen ürünler geliştirilmiştir (Kılınç, 2019: 31-34).

Toz boya kaplamalar, metallerin üzerine solvent içermeyen kimyasallar ile manyetik ortam içerisinde toz boya partiküllerinin mıknaatıslanma ile metal yüzeyini kaplamasıdır. Yağ boyalarla kıyaslandığında toz boyalar, yüksek mikronlarda kaplama kalınlığı oluşturabilen katı, kuru boyalar olarak bilinirler. Toz boyalar, pişirme fırınından çıkmadan önce boya olarak nitelendirilemezler. Çünkü kürlenme prosesinden önce toz boyalar partikül plastik toz halindedirler. Kürlenme sonrasında metal yüzeyi tamamen saran mikronu yüksek bir kaplama haline bürünür. Toz boyalar kaplamalar, epoksi, poliester, epoksi poliester, poliüretan olmak üzere istenilen özelliğe göre kaplanabilmektedir. Yüzey kaplama sektöründe çevre dostu olması, yüksek film kalınlığına sahip olması ve yüksek korozyon dayanımı sağlaması gibi önemli özelliklerin etkisiyle yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Güngör, 2007: 34-47).

Bu çalışmada, 1xxx, 5xxx, 7xxx tipi savunma sanayi, otomotiv sanayi ve havacılık-uçak sanayisi ve otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum yüzeyler üzerine nano kaplama yapıldıktan sonra yüzeylere kataforez, çinko lamelli ve toz boya kaplama denemeleri yapılarak, kaplama uygunlukları belirli standartlara göre test edilip karşılaştırılmaları yapılmıştır.

## 2. ALÜMİNYUM ELEMENTİNİN ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

### 2.1. Alüminyumun tarihteki yeri

Alüminyum elementi, farklı amaçlarda kullanılması için eski zamanlardan beri hayatımızda yer almıştır. Kullanımına dair ilk kanıtlar Roma İmparatorluğunun milattan önceki dönemlerine denk gelmektedir. Genellikle Romalıların alüminyumunu boya üretiminde ham madde olarak ve mutfak gereçleri yapmakta kullanmış olduklarını bilmekteyiz (Çakanyıldırım, 2021: 585-591).

Osmanlı topraklarında alüminyum, bol miktarda bulunmaktaydı. Bu sebeple Avrupa ile ticari ilişkiler oluşmuştur. 15'inci yüzyıla kadar devam eden bu süreç, Avrupada yeni alüminyum yatakları bulunmasıyla birlikte sekteye uğramıştır (Çakanyıldırım, 2021: 585-591).

1807 yılında İngiliz kimyager Sir Humphrey Davy, alüminada oksijen ile bağ yapmış bir metalin var olduğunu düşünmüştür. Elektroliz yapmayı denediğinde demir, katot olduğundan demir ve alüminyum içeren bir alaşım elde etmiştir. Ancak alüminyumu ayırtıramamıştır. 1821 yılında Fransız jeolog M. Pierre Berthier, Güney Fransa'da Les Baux kasabasında boksit madenini keşfetmiştir. 1825 yılında ise Danimarkalı fizikçi Christian Oersted, susuz alüminyum klorürden kalsiyum yardımıyla ilk defa alüminyumun metalik olarak üretimini yapmıştır (Altınoğlu, 1995: 17-19).

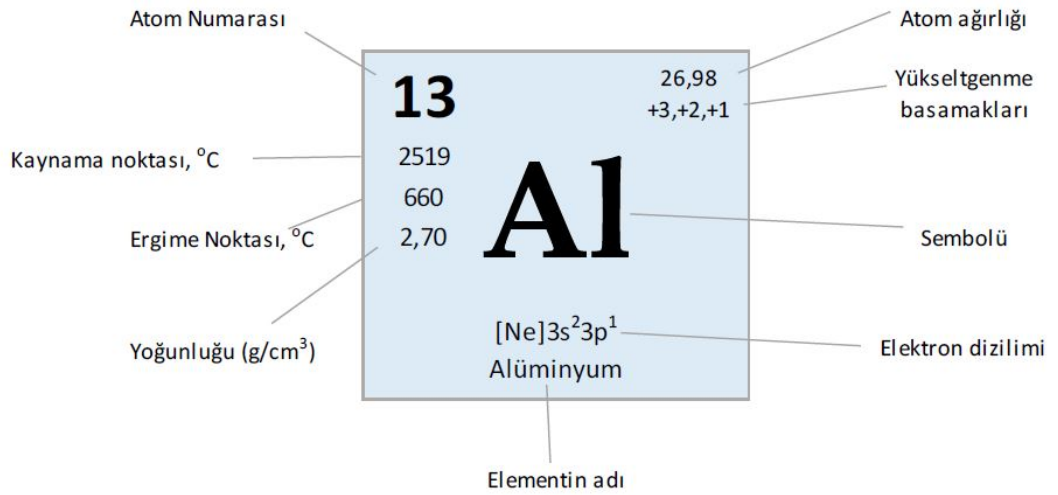
1850-1860 yılları arasında Fransız araştırmacı Henry Sainte-Clarie Deville, günümüzde endüstride de kullanılacak olan alüminyum için maddi desteğini de 3.Napolyon'dan alarak aşama kaydetmeyi başarmıştır. 19'uncu yüzyılda metal olarak kabul edilen alüminyum, 1856 yılına kadar çok pahalıydı. Ancak 200 ton kadar alüminyum meteli, Henry Sainte-Clarie Deville tarafından üretilince miktar olarak artan alüminyumun değeri yüksek seviyelerden düşük seviyelere düşmüştür. yaklaşık 200 ton alüminyum metali üreterek, fiyatını yüksek seviyelerden aşağılara düşürmüştür. 1855 yılında ise Deville, Paris'teki bir fuarda üretilen ilk alüminyumun tanıtımını yapmıştır (Altınoğlu, 1995: 17-19).

1886 yılını, modern endüstride kullanılan alüminyumun doğduğu yıl olarak kabul edebiliriz. Biri Fransa'da biri ise Amerika'da olmak üzere aralarında bir bağlantı olmadan Paul T. Héroult ve Charles Martin Hall, çözülmüş alüminanın, elektrolitik olarak parçalanması ile alakalı birer patent aldılar. Günümüzde ise üretim tesisleri, alınan bu patentlere göre üretim yapmaktadırlar. Héroult, İsviçrede Metallurgischen Gesellschaft firması ilk elektroliz tesisini kurdu (Altınoğlu, 1995: 17-19).

Ülkemizde de genellikle hurdaya bağlı olarak 12.000 – 18.000 ton/yıl olarak alüminyum üretimi hesaplanabilir. Özellikle Ankarada Seydişehirde işletilebilecek boksit rezervlerinin bulunması bu sektörün ülkemizde hızla büyüyen bir sektör olmasını sağlamıştır (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 36)

## 2.2. Alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri

Periyodik cetvelin 3A grubunda bulunan alüminyumun atom numarası 13'tür. Atom ağırlığı 26,98 g/mol olan bu elementin 20°C'teki yoğunluğu 2,7 g/cm<sup>3</sup>, ergime noktası 660 °C, kaynama noktası 2519°C, ısınma ısısı 0,224 Cal/gr, erime ısısı 400 Cal/gr'dır. Atom çapı 1,43 Å, iyon çapı 0,86 Å'dur. Yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısından meydana gelmiştir ve -269 °C'den ergime noktası olan 660 °C'ye kadar kararlıdır, yani fiziksel olarak bir değişim göstermez (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 2)



Şekil 2.1. Alüminyum Elementi (Eroğlu, 2018: 1).

Yer kabuğunda yaklaşık olarak %8 oranında bulunan alüminyum metali, içeriğiyle oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Bu kadar fazla miktarda bulunmasının rağmen keşfi çok geç olan alüminyum metali, esas olarak alüminyum hidroksitlerden (AlOOH ve Al(OH)<sub>3</sub>) üretilen bir metaldir. Günümüzde Hall-Héroult yöntemi olarak bilinen ve halen kullanılan yöntemde bu iki mucit, alüminyumun ergimiş kriyolit içinde çözündürerek üzerinden güçlü bir elektrik akımı geçirildiğinde, alüminyumun elektrolitiğin altında sıvı halde biriktiğini fark etmişlerdir (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 1-4).

Alüminyumun hafifliği, saf alüminyum için özgül ağırlığı  $2,7 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Ağırlığı, bakırın %9'u, demirin %35'i kadardır. Ağırlığı hafif olan alüminyum, başta uçak, savunma ve otomobil endüstrisinde olmak üzere, tüm taşımacılık sanayinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Alper, 2003: 3-8).

Alüminyumun korozif etkinliği sebebiyle endüstride bu kadar yoğun ve işlevsel bir şekilde kullanılmaktadır. Kimya sektörü, besin sanayisinde, inşaat ve ev eşyalarının yapımında kullanılmaktadır. Korozyona karşı dirençli olmasının sebebi, alüminyum yüzeylerin korozyona maruz kaldığında görünmez ve çok ince ( $20-25 \text{ A}^\circ$ ) olan oksit tabakası oluşturmasıdır. Bu tabaka oluşuktan sonra metalin daha fazla korozyona uğramasının önüne geçer. Korozyona karşı dirençli olmasının bir başka nedeni ise birçok aside karşı aynı direnci sağlamasıdır. Ancak bazı alkaliler oluşan bu oksit tabaksına zarar vererek özelliğini yok ederler. Elektrolitik ortamlarda bazı metallere doğrudan temas etmesi sonucunda galvanik korozyona uğrar (Alper, 2003: 3-8).

Alüminyumun ısı ve elektrik iletkenliği açısından değerlendirecek olursak, ikisini de oldukça iyi bir şekilde iletir. Yüksek ısı iletkenliği vardır ve bu değer çeliğin 6 katıdır. Bu durum alüminyumun ısıtma/soğutma endüstrisinde, gıda, kimya, petrol, havacılık sektörlerinde alüminyum ısı değiştiricilerinin yaygın kullanımına yol açmıştır. Ticari olarak kullanılan alüminyumun iletkenliği 37 siemens civarındadır. Elektrik iletkenliği açısından bakır ile kıyasladığımızda, bakırın %62 mertebesinde dir. Bakırın yoğunluğu  $8,9 \text{ g/cm}^3$ , alüminyumun  $2,7 \text{ g/cm}^3$  olduğu düşünülürse, ağırlıkça alüminyumun daha iyi iletken olduğu ortaya çıkar (Alper, 2003: 3-8).

Alüminyum metali, yüksek ısı yansıtma özelliği nedeniyle çatı kaplamalarında, yüksek ışık yansıtma özelliği sayesinde ise aydınlatmalarda kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı aynaların geri yansıtıcılığında ve ışık reflektörlerinin kaplanması da kullanılır (Alper, 2003: 3-8).

Zehirleyici bir metal olmadığı için rahatlıkla gıda ve mutfak endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Bu önemli özelliği sayesinde yiyecek ve ilaç ambalajlarında, sigara, çay ve çeşitli malzemelerin paketlenmesinde geniş çaplı olarak kullanılır (Alper, 2003: 3-8).

Alüminyum, oksijen ile karşılıklı olarak etkileşim halindedir. Diğer metallerin oksitlerini redükler. Bu nedenle toz halindeki alüminyum, metalotermik reaksiyonlar ile krom, baryum, vanadyum, lityum gibi metal oksitleri redükleyerek bu metallerin üretiminde rol oynar (Alper, 2003: 3-8).

Şekillendirilebilirlik ve işlenebilirlik açısından değerlendirdiğimizde, kolay dökülebilir ve kağıttan daha ince bir formda haddelenebilir. Bu form alüminyum folyo ismiyle bilinmektedir. Ayrıca kolay bir şekilde çekilebilir (tel, ekstrüzyon, profil), dövülebilir. Hızlı bir şekilde tornalama, frezeleme, delme operasyonlarında uygulanabilir (Alper, 2003: 3-8).

Kaynaklanabilirlik özelliğine bakarsak çok müsaittir. Bütün birleştirme yöntemleri alüminyum metali üzerinde uygulanabilir. Ayrıca havacılık, uçak sanayi ve otomotiv sektöründe yapıştırma uygulamalarında da yaygın olarak kullanılır (Alper, 2003: 3-8).

Alüminyum metalinin alaşımlarına, ısıtıl işlem uygulandıktan sonra, istenilen tokluk, sertlik, mukavemet ve diğer mekanik özellikleri geliştirilmiş olur. Özellikle küçük miktarlarda Mn, Mg, Si, Cu, Zn, Ti ilavesi ile birlikte farkedilir seviyede mukavemeti artar. Günümüzde, ısıtıl işlem uygulanarak çok yüksek çekme mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır. Elastisite modülü çeliğin 1/3'üne eşit olduğundan, çelik yerine kullanılması düşünüldüğünde bu özelliği de göz önünde bulundurularak kullanılmalıdır. Sertliği 19-20 BHN değerinde olmakla beraber, alaşımlarında 120 BHN değerine kadar çıkabilmektedir. Çekme dayanımı, 90 MPa olan alüminyumun, bazı yaşlanabilir alaşımlarında 650 MPa değerine kadar ulaşabilmektedir (Alper, 2003: 3-8).

Bazı metallere göre alüminyumun kıyaslaması Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Diğer Metallerle Karşılaştırılması (Alper, 2003: 3-8).

Özellik	Al	Fe	Cu	Zn	Mg
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,70	7,87	8,94	7,10	1,74
Isıl İletkenlik (cal/cm <sup>2</sup> /cm °C)	0,52	0,19	0,92	0,27	0,37
Isıl Genleşme (mm/mm °C).10 <sup>-5</sup>	24,0	11,9	16,7	33,0	25,7
Ergime Sıcaklığı (°C)	660	1585	1083	420	651
Uzama (%)	43	48	50		
Sertlik (BHN)	19	70	25		

Genel anlamda mekanik yüzey işlemleri olarak parlatma, kumlama veya fırçalama birçok durumda yeterli olmaktadır. Ancak bazı durumlarda koruyucu kaplama gerekebilir.

Kaplama olarak kimyasal, elektrokimyasal boya uygulamaları ile eloksal ve elektrokaplama uygulamaları uygulanabilir.

Alüminyum, diğer metallere göre kıyaslandığında malzeme seçiminde çok önemli bir kriter olan maliyeti daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bunun başlıca nedeni diğer metallere göre birim ünitesinin daha ekonomik olmasıdır.

Boyutları aynı olan başka metallere göre daha fazla döküm yapılabilme kabiliyetine sahiptir. Diğer bir açıdan çok yüksek olmayan ergime sıcaklığı, döküm işlemi esnasında harcanan enerjiyi azaltırken kalıp aşınması gibi problemlerinde önüne geçebildiği için tercih sebebi olmaktadır.

Tüm bu özelliklere göre kullanım yerleri ve alternatif olarak kullanıldığı malzemeler Tablo 2.2’de gösterilmiştir (Alper, 2003: 8).

Tablo 2.2. Alüminyumun kullanım alanları ve alternatif malzemeleri

<b>Sektör</b>	<b>Kullanım Alanları</b>	<b>Alternatif Olduğu Malzeme</b>
Uçak / Uzay	Yapı elemanları Uçakların gövdeleri	Çelik / plastik / magnezyum Karbon elyafı veya kompozit malzemeler
Ulaşım	Radyatörler Motor parçaları Kaporta	Bakır / pirinç Dökme demir Siyah galvanizli veya kaplamalı saclar
Trenler / Deniz Araçları	Vagonlar Tekne bölgesi	Çelik Ağaç / cam elyafı / çelik
İnşaat	Duvar kaplama Çatı kaplama	Ağaç / çelik / plastik Ağaç / galvanizli çelik / kurşun plaka

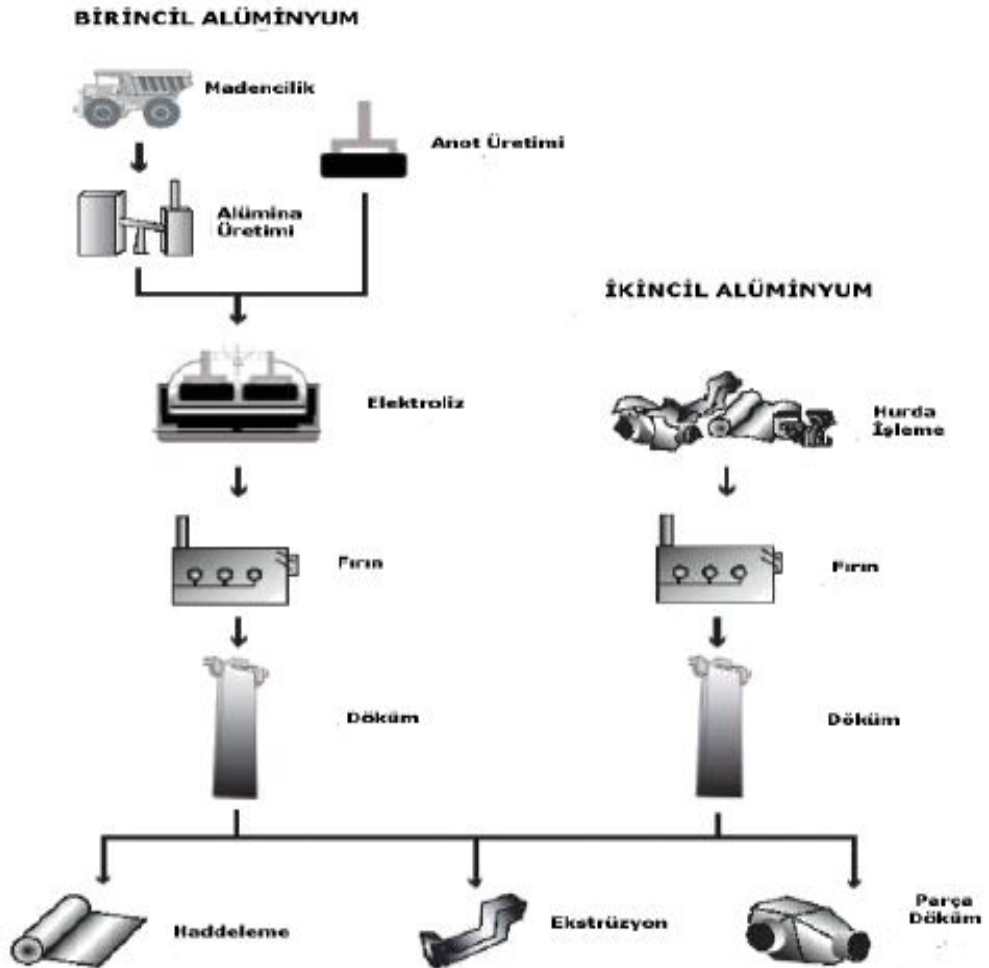
Alüminyum alaşım elementlerine göre AA standartındaki içerikleri aşağıdaki Tablo 2.3’de gösterildiği gibidir.

Tablo 2.3. Alüminyum alaşımlarının AA standardında gösterilişleri (Alper, 2003: 9).

<b>1XXX</b>	Min 99% saf Alüminyum	<b>5XXX</b>	Al-Mg Alaşımı
<b>2XXX</b>	Al-Cu Alaşımı	<b>6XXX</b>	Al-Mg-Si Alaşımı
<b>3XXX</b>	Al-Mn Alaşımı	<b>7XXX</b>	Al-Zn-Mg Alaşımı
<b>4XXX</b>	Al-Si Alaşımı	<b>8XXX</b>	Çeşitli Alaşımlar (Örn. Al-Li)

### 2.3. Alüminyumun üretimi

Cevherden üretilen ve hurdadan üretilen olmak üzere iki çeşit alüminyum üretimi mevcuttur (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 4).



Şekil 2.2. Alüminyumun Üretim Yöntemleri (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 4).

### 2.3.1. Birincil alüminyum üretimi

Birbirini sıralama şeklinde takip eden 5 ana maddeden oluşmaktadır

- Boksit madeninin işletmeciliği
- Boksit cevherinden alümina üretimi (Kalsinasyon, Çöktürme, Çözündürme, Kırma, Öğütme)
- Alüminadan elektroliz yardımıyla sıvı hâlde alüminyum üretimi
- Sıvı alüminyumun alaşımlandırılarak dökümünün gerçekleştirilmesi,
- Bu dökümlerden ekstrüzyon ve haddeleme işlemleriyle yeni ürün yapmak.

#### 2.3.1.1. Boksit

Boksitin kimyasal formülü,  $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ 'dür. Şekil 2.3'te gösterilen boksit, mineralden çok mineralden teşekkül etmiş mineraller topluluğu ve içinde alüminyum cevherlerine verilen genel isimdir. Diasporit ( $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ ) ve jipsit ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) boksitleri, alüminyum elementinin üretiminde değer taşımazlar ve diğer alüminyum boksitler olarak bilinir (Sarsılmaz, 2008: 4-16)



Şekil 2.3. Boksit cevheri (Eroğlu, 2018: 8).

Boksit cevheri üretimi, genel olarak açık ocak işletmeciliği ile yapılmaktadır. Ticari olarak işlenebilen boksit cevherinin  $Al_2O_3$  tenörü %30-65 arasında değişmekte, elde edilen boksitin %85'i birincil alüminyum üretimine yöneliktir.

#### 2.3.1.2. Alümina

Birincil alüminyum üretiminde ikinci kademe bayer prosesi ile gerçekleştirilen alümina üretimidir. Boksit cevheri yıkandıktan sonra kırılıp öğütülür. Öğütülüp, ham pulp haline getirilmiş boksitler, yüksek ısı ve basınçta sudkostik (NaOH) çözeltisi ile reaksiyona sokularak cevherdeki alümina ( $Al_2O_3$ ) ve alüminat ( $NaAlO_2$ ) çözeltisi ve demir, silis, titanyum vb. gibi safsızları içeren sıvı faza alınır (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 5).



Şekil 2.4. Alümina (Eroğlu, 2018: 8).

### 2.3.1.3. Alüminyum

Alümina üretiminden sonraki aşama, alüminanın ergimiş kriyolit banyosunda elektrolizi ile metalik alüminyuma dönüştürülmesidir. Yüksek akım (100-400k A) verilen alüminyum elektroliz hücrelerinde alümina, 960-970 °C sıcaklıkta elektrolitik adı verilen kriyolit-alüminyum florür ergimiş tuz ergiyiğinin içinde indirgenmesi, çözünmesi ve ayrışması sonucunda nötrleşen alüminyum metalinin taban yüzeyinde birikmesi ile elde edilmektedir (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 7).

Alüminyumun saflık derecesi arttıkça, ergime derecesi artar. Katıdan sıvıya geçerken alüminyum metalinin hacmi artar. %99,65 alüminyum içeren metalde bu büyüme yaklaşık %6,25 iken; %99,75 alüminyum içeren metalde de yaklaşık %6,60 büyüme gözlenmiş olur. Hem sıvı hem de katı alüminyumun yoğunlukları, artan saflık derecesiyle beraber orantılı olarak düşmektedir. %99,25 Al içeren metalin yoğunluğu 2,727 g/cm<sup>3</sup> iken, %99,40 Al içeren alüminyum metalinin yoğunluğu ise 2,706 g/cm<sup>3</sup>'dür. Alüminyumun saflık derecesinde bir artış olduğunda doğru orantılı olarak elektrik ve ısı iletkenliği de artış göstermektedir (Sarsılmaz, 2008: 4-16).

Teknik olarak saf olan ve yüksek saf haldeki alüminyum elementi arasında farklar mevcuttur. Yüksek saflıktaki alüminyum, teknik haldeki alüminyuma göre çok daha yumuşak ve plastik bir yapıdadır. Yapılan denemelerde ve araştırmalarda, alüminyumun çekme mukavemetinin saflık derecesi ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Saf alüminyumun özellikleri aşağıdaki Tablo 2.4' de gösterilmiştir (Sarsılmaz, 2008: 4-16).

Tablo 2.4. Saf alüminyumun genel özellikleri (Ak, 2012: 3).

Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,98 g/mol
Kristal Yapısı	YMK
Yoğunluğu	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Ergime Noktası	660 °C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150 °C – 300 °C
Buharlaştırma Noktası	2450 °C
Özgül Isısı	0,224 cal/g (100 °C)
Elastisite Modülü	72x10 <sup>3</sup> MPa
Poisson Oranı	0,33
Kayma Modülü	27x10 <sup>3</sup> MPa
Çekme Mukavemeti	40 – 90 MPa
Akma Mukavemeti	10 – 30 MPa
Kopma Uzaması	% 30 – 40

Saf yapıdaki alüminyum metali, ev eşyalarında ve mutfaktaki araç gereçlerde, çeşitli malzemelerin ambalajlanmasında, demir ve çelik sektöründe, tanklarda, depolarda, boya sektöründe, sac ve profil malzemelerde, elektrik iletim kablolarında kullanılmaktadır (Metin, 1993: 3-6).

Alüminyumun alaşımlanmadan önce saf haldeki kullanımı oldukça sınırlıdır. Genel olarak alüminyum alaşımlı bir biçimde kullanılmaktadır. Alaşım elementi eklenmesinin başlıca iki sebebi vardır. Bunlar;

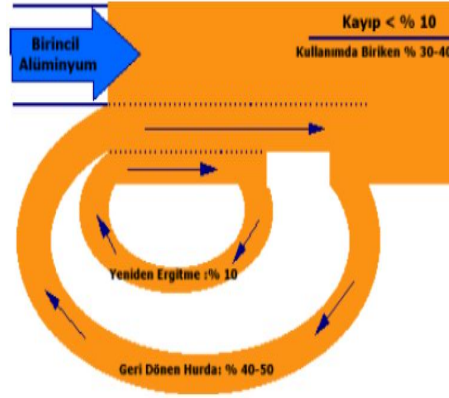
- Alaşım elementinin de etkisiyle alüminyumun korozyon direnci, mekanik özellikleri ve kaynaklanabilirlik gibi özelliklerinde artış olmaktadır.
- Alaşım ile birlikte akışkan özelliğini artırarak, yırtılma sıcaklığını azaltmaktadır.

### 2.3.2. İkincil alüminyum üretimi

Bu sistem, bir döngü şeklinde gerçekleşmektedir. Döngü Metal kaynağı olarak alüminyum hurdalar kullanılır. Bu hurdalarında iki kaynağı bulunmaktadır. Bunlar:

- İşlem ve döküm ürünlerinden oluşan geri kazanma ihtimali %100 olan yeni hurda
- Kullanım için miladı dolmuş ürünlerden elde edilen geri kazanma ihtimali %30-95 olan eski hurda.

Çıkan hurdaların, yani yeni hurdaların tekrar aynı ürünün üretiminde değerlendirilmesi veya kullanılmış içecek kutularının tekrardan kullanılması kapalı döngü sistemine girmektedir. Farklı alüminyum hurda malzemelerini, alaşım elementlerini ve hatta birincil alüminyum malzemeler bir arada kullanarak üretim yapmakta açık döngü sistemine girmektedir (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 7).



Şekil 2.5. Alüminyumun geri dönüşüm dengesi (TMMOB Alüminyum Komisyonu, 2013: 7).

## 2.4. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması

Şekil verilebilme yöntemlerine göre alüminyumunu inceleyecek olursak iki gruba ayırabiliriz. Bunlar;

- Döküm
- Dövme

Olarak sınıflandırılırlar.

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında değişik tipte standartlar kullanılmaktadır. Bu standartların arasında en çok tercih edilen standart Alüminyum Birliğinin standartıdır. Bununla birlikte, ASTM, DIN 1713, ALCOA ve Fransız Standartları gibi standartlarda kullanılabilir. Söz konusu standartların ortak özelliği alüminyumun, dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Eruslu, 1990: 86-97).

### 2.4.1. Dövme Alaşımlarının Sınıflandırılması

Yaygın bir şekilde kullanılan 1xxx, 2xxx şeklindeki simgeleme metodu Alüminyum Birliği tarafından geliştirilmiştir. Bu metod 4 rakamdan oluşur ve serideki ilk rakam, temel alaşım elementini tanımlamaktadır. Sondan iki rakam ise %99 oranının noktadan sonraki

değerini göstermektedir. Alüminyum dövme alaşımlarının detaylı gösterimi Tablo 2.5’de verilmiştir (Ünal, 1987: 7-11).

Tablo 2.5. Alüminyum dövme alaşımlarının gösterimi (Ünal, 1987: 7-11).

Alaşımsız Alüminyum	1xxx	Yaşlandırılabilir
Alüminyum Bakır Alaşımı	2xxx	Yaşlandırılabilir
Alüminyum Mangan Alaşımı	3xxx	Yaşlandırılabilir
Alüminyum Silisyum Alaşımı	4xxx	Yaşlandırılabilir
Alüminyum Magnezyum Alaşımı	5xxx	Yaşlandırılabilir
Alüminyum Silisyum Magnezyum Alaşımı	6xxx	Yaşlandırılabilir
Alüminyum Çinko Alaşımı	7xxx	Yaşlandırılabilir
Alüminyum Ve Diğer Elementler (Lityum Vb.)	8xxx	Yaşlandırılabilir

Örnek olarak 1050 tipi alüminyum alaşımını ele alacak olursak son iki rakam olan 50 alüminyumun saflık derecesini göstermektedir. Soldan ikinci rakam, alüminyumun safsızlığını etkileyen element sayısını gösterirken ilk rakam ise alüminyumun tipini göstermektedir. 2xxx ile 8xxx arasındaki alüminyum alaşımlarının ilk rakamı alaşım türünü, ikinci rakam değişim değerlerini göstermektedir. Sondan iki rakam ise değişik alaşımları tanıtmak amacıyla kullanılmaktadır (Ünal, 1987: 7-11).

Alüminyum elementi, bir başka alaşım elementi ile birleşip alaşım oluşturduğunda, mekanik özelliklerinin önemli ölçüde artmış olur. Alüminyum elementine küçük miktarlarda yapı kirleticilerin bile alüminyumun mukavemetini saf metale göre %50’ye kadar artırmaya yeterli olmaktadır (Oğuz, 1990: 2-11).

#### **2.4.2. Döküm alaşımlarının sınıflandırılması**

Döküm alaşımları için sınıflandırma ve isimlendirme kimyasal kompozisyonlarına göre oluşturulmaktadır. Uluslararası kabul görmüş U.S. Aluminium Association tarafından 2 yöntem kullanılarak bu işlem gerçekleştirilir. Döküme göre isimlendirmeyi anlatacak olursak, 3 adet rakam ve virgülden sonra 1 tane daha rakamla, işlenecek alüminyum külçesi için ise 4 haneli rakam sistemi kullanılarak ifade edilir. Bu dizilim Tablo 2.6’te gösterilmektedir (Ak, 2012: 4).

Tablo 2.6'teki döküm alüminyum alaşımlarının nümerik sınıflandırmasında metodunda örneğin 1xx.x serisi için iki ve üçüncü rakam saflık derecesini, noktadan sonra gelen rakam ürün şeklini göstermektedir. Ürün şekilleri ve sayısal karşılıkları aşağıda belirtilmiştir (Eruslu, 1990: 86-97).

- (0) - Döküm
- (1) - İngot
- (2) - Modifiye edilmiş ingot

2xx.x ile 9xx.x arası alaşımlarda ikinci ve üçüncü rakamlar sadece bir sıralama sayısı oluştururlar (Eruslu, 1990: 86-97).

Tablo 2.6. Döküm alüminyum alaşımlarının gösterimleri (Eruslu, 1990: 88).

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementleri
1xx.x	Saf Alüminyum (Alaşımsız)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silis, Mangan ve/veya Bakır
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seri
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğerleri

Döküm alüminyum alaşımları, endüstride çeşiti alanlarda kullanılmaktadır. Döküm alaşımlarının fiziksel özellikleri oldukça yüksektir. Bununla beraber işlemeye de elverişlidir. Bu tür alaşımlar, aynı zamanda da kaynak yapılabilirler. Ek olarak korozyona karşı olan dirençleri ve mukavemetleri yüksektir (Öksüz, 1996: 51-54).

## 2.5. Alaşım elementlerinin etki ve özelliklerinin incelenmesi

Alüminyum elementiyle birleşerek alaşım halinde gelen elementlerin etkileri aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir.

### **2.5.1. Bakır elementinin alaşıma etkisi**

Bakır elementinin ilavesinin alüminyuma olan etkisi genel olarak, iyi döküm özelliği, dayanıklılık, sertlik ve kolay işlenebilirlik gibi özellikler kazandırır. Dövme alüminyum alaşımlarda bakır elementini %3 ile %5 arasında kullanılmaktadır. %5'den fazla olması durumunda mekanik olarak işleme güçlüğü artar. Ayrıca, korozyon direnci ve elektrik iletkenlik düşürecektir. Maksimum %12'ye kadar bakır kullanılabilir. %12'ye bakır ilavesi mukavemeti artırıcı bir özellik eklerken, fazla kullanıldığında yapıyı gevrek hale getirmektedir (Ak, 2012: 5-6).

Bakırın alüminyum içerisindeki çözünürlüğü sıcaklık etkisiyle değişmektedir. Sıcaklık arttıkça çözünürlük artar. Bu nedenle ısıtma işlemi, çökelme sertleşmesiyle sertleştirmek mümkündür (Ak, 2012: 5-6).

### **2.4.2. Silisyum elementinin alaşıma etkisi**

Silisyum, alüminyuma ilave edilen elementler arasında bakırdan sonra en önemli element olarak bilinmektedir. Alüminyum içerisinde en fazla %13 oranında bulunmalıdır. Eğer oran %13'ün üzerine çıkarsa işlenebilirliği zor olacaktır (Ak, 2012: 6).

Silisyum elementi, alüminyum içerisinde bakır, nikel ve magnezyum elementleri ile birlikte ilave edilirse ısıtma işlemi görebilen alaşım elde edilir. Ancak çekme mukavemetleri yüksek seviyelerde değildir ve mukavemet artışı silisyum elementinin ilave oranıyla doğru orantılı olarak artar (Ak, 2012: 6).

Alaşımın, silisyum içeren fazının dağılımı ve şekli, mekanik özelliklere alaşımın bileşiminden daha fazla etki yapar. Yüksek mukavemet özelliği daha çok yuvarlak ve küçük primer fazda sağlanmaktadır. İğne şeklindeki silisyumlu faz ise, darbe, süneklik ve yorulma mukavemet özelliğini azaltırken, çekme mukavemet özelliğini artırır (Eruslu, 1990: 86-97).

### **2.4.3. Magnezyum elementinin alaşıma etkisi**

Magnezyum elementi, Al-Mg alaşımına yüksek mukavemet, süneklik ve yüksek korozyon direnci kazandırır. Oranı %8'den fazla olan alaşımlar ısıtma işlemi uygundur ve mekanik özellikleri bu şekilde geliştirilebilir. Kolay şekillendirilebilmek için dövme alaşımlarında genellikle %1 ile %6 arasında Mg elementi kullanılmaktadır. Genel olarak özelliklere olan etkisini tanımlarsak mukavemeti, haddelenebilirlik özelliğini ve işlenebilirliği artırmaktadır (Ak, 2012: 6).

#### **2.4.4. Manganez elementinin alaşıma etkisi**

Genellikle dökülebilirlik özelliğini artırması amacıyla demir ile birlikte kullanılır. Bunun yanısıra metaller arası bileşiklerin özelliklerini değiştirir. Alaşımların süneklik ve tokluk gibi özelliklerini artırırken işlenebilirlik yönünden de olumlu sonuçlar verir (Ak, 2012: 7).

#### **2.4.5. Çinko elementinin alaşıma etkisi**

Tüm alüminyum alaşımlarının içine çinko elementinin ilavesi ile birlikte haddelenebilme ve çekme mukavemeti değerlerinde artış gözlenirken, alaşımların işlenebilme özelliklerinde de iyileşme gözlenmektedir. Magnezyum ile darbe mukavemeti özelliğinde artış gözlenir. Alüminyum – silisyum alaşımlarına çinko ilavesi yapıldığında çökeltme sertleşmelerine neden olur ve aşınma direncinde artış gözlenir (Torabian, 1994: 50).

Çinko, tek başına olduğunda sıcak yırtılmaya sebep olsa bile diğer alaşım elementlerinden olan bakır da alaşıma ilave edilirse eğer yetersiz olan özellikleri giderilmiş olur. Alaşım elementlerinden çinkonun yanına magnezyumu da eklersek haddeleme kabiliyetinin, darbe ve çekme mukavemeti de kazandırılmış olur. Al-Zn alaşımları genelde %20 oranına kadar çinko barındırabilir. Genel olarak uçak sanayisinde kullanılmakta olan Al-Mg-Zn alaşımları olup, çinkonun ve magnezyumun oranı %1'den fazladır (Ak, 2012: 7).

#### **2.4.6. Titanyum elementinin alaşıma etkisi**

Titanyum, alüminyuma alaşım elementi olarak eklendiğinde tane küçültücü bir etki yapmaktadır. Alaşımın mekanik özelliklerinin artmasını sağlar. İlave edilme oranı %20'dir. Bor ile beraber kullanıldıkları zaman ise en önemli etkisini gösterir. Çekme mukavemetini sünekliğini artırırken alaşımın ısı iletkenliğini düşürmektedir (Ak, 2012: 7).

#### **2.4.7. Demir elementinin alaşıma etkisi**

Demir, alüminyumun içinde doğal olarak bulunan bir elementtir. Bazı alaşımların sertlik ve dayanımlarını az da olsa artırmaktadır. Demir, tane küçültücü bir etki yapmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda alüminyum alaşımının mukavemet özelliğini artırmaktadır (Eruslu, 1990: 86-97).

#### **2.4.8. Nikel elementinin alaşıma etkisi**

Yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılık ve mukavemet özelliğini artırmak amacıyla nikel elementi eklenmektedir. Alüminyum – silisyum alaşımlarına nikel ilave edildiğinde yüksek aşınma direnci ve düşük genleşme katsayısı özelliklerine sahip olmaktadır (Torabian, 1994: 51).

#### **2.4.9. Alüminyum sodyum alaşımı**

Alüminyum ile silisyumdan oluşan alaşımların iç yapısını modifiye etmek amacıyla sodyum ilavesi yapılır. %0,001 ile %0,003 oranında sodyum ilave edilen silisyumlu alaşımlarda, ötektik modifiyeli yapılar elde edilmiş olur (Eruslu, 1990: 86-97).

### **3. KOROZYON VE KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ**

#### **3.1. Korozyon tanımı, teorisi ve türleri**

Korozyon, genel olarak bozunma anlamına gelir. Ancak Latince kemirilmek anlamına gelen “Corrodere” kelimesinden türetilmiştir (Davis, 2000: 3-28).

Korozyon, metal malzemelerin içinde buldukları ortamla reaksiyona girmesi sonucunda dışarıdan bir enerjiye ihtiyaç duyulmadan kendiliğinden doğal yollarla gerçekleşir. İçinde su bulunan ortamlardaki korozyona sulu ortam korozyonu denir. Bu elektrokimyasal reaksiyon genellikle yüzeyden başlamaktadır. Atmosferde, toprak altında, suda ve her türlü sulu kimyasal madde içerisinde oluşan korozyon buna örnek verilebilir. Suyun kararlı olmadığı yüksek sıcaklıklarda, metal malzemelerin gazlarla reaksiyona girmeleri sonucunda meydana gelen korozyona ise kuru korozyon veya yüksek sıcaklık korozyonu denir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan kazanların, alevle veya sıcak gazlarla etkileşim halinde olan bölgelerinde meydana gelen korozyon bu tip korozyona örnektir (Savaşkan, 2012: 271).

Korozyonu ekonomik açıdan inceleyecek olursak, metal malzemelerin korozyona uğraması ve önlenmesi önemli bir yere sahiptir. Sanayileşmiş bir ülkede milli gelirle kıyaslandığında korozyon için harcanan miktarın yaklaşık %5 olduğu düşünülmektedir. Bu maliyetin içinde malzemelerin korozyona uğraması sonucunda yaşanan malzeme kayıpları, kirlenmiş ürünlerin bakımı, kullanılmaz hale gelen veya riskli görülen parçaların değiştirilmesi ve korozyonu önlemek için harcanan maliyetlerdir (Callister, 2011: 675).

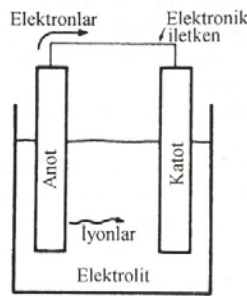
Korozyonu ISO 8044:2015 standardına göre tanımlayacak olursak eğer, metallerin buldukları çalışma ortamı ile girdikleri fizikokimyasal etkileşimlerin sonucu olarak ortamın veya bir şekilde bağlantılı oldukları sistemlerin ömürlerini büyük ölçüde kaybetmeleri olarak da tanımlanmaktadır (ISO/TC 156, 2015: 6).

Değişen çevre koşulları ve çalışma şartları ile birlikte endüstride kullanılan malzemeler, fiziksel ve kimyasal olarak çeşitli olumsuz durumlarla karşı karşıya kalmaktadır. Örneğin fiziksel olarak sürtünmeye maruz kaldığında malzemeler aşınırlar veya bozunurlar. Bu durumların bir çok sebebi olabilir. Bunlar genel olarak fiziksel, kimyasal, mekaniksel veya elektrokimyasal nedenlerdir. Metal malzemeler çok kolay bir şekilde korozyona uğrayabilen malzemelerdir. Bu sebeple tüm dünyada sağlık, çevre ve ekonomik açıdan direkt olarak veya yaptığı etkiyle dolaylı yoldan büyük zararlara neden olmaktadır. Metaller atmosfer ortamında kararsız bir yapıdadır ve çevreleriyle etkileşime girdikten sonra temel hallerine veya benzer metalik bileşiklere dönme eğilimi taşırlar. Bunlardan dolayı korozyon, bilim, çevre,

endüstri alanında çok önemlidir. Korozyonu yavaşlatma veya önleme yönünde yapılan çalışmalar her geçen gün geliştirilmektedir (Schweitzer, 2010: 3-65).

### 3.1.1. Korozyon teorisi

Korozyon olayı, Şekil 3.1’de görülen korozyon hücresi ile daha net anlaşılır. Genel olarak anot ve katottan oluşan korozyon hücresinde korozyonun meydana gelebilmesi için şekildeki çevrimin kesintisiz olarak çalışması gerekmektedir. Bu çevrim, anotta oluşan kimyasal değişimlerin sonucunda meydana gelen metal iyonlarının çözeltiliye geçmesi esnasında açığa çıkan elektronların, elektronik bir iletken yardımıyla katota taşınması olarak tanımlanabilir (Pearce, 2001: 1).



Şekil 3.1. Korozyon Hücresi (Savaşkan, 2012: 272).

Korozyon mekanizmaları elektrokimyasal prensipler ile açıklanabilir. Elektrotların ve elektrolitin arasında oluşan elektriğin yüklerinin aktarımının kimyasal reaksiyonları ile ilgilenen disipline elektrokimya denir. Yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarından olmaktadır (Pearce, 2001: 1).

Korozyon, ilk olarak metalin oksidasyonu ile başlar. Oksidasyon reaksiyonunda metal atomları karakteristik olarak ya elektron kaybederler veya elektron verirler. Örnek verecek olursak n değerlikli bir M metali (Callister, 2011: 675).



M metali için oksidasyon reaksiyonu bu şekilde gerçekleşmiş olur. Bir başka deyişle M metali elektron veren yani yükseltgenme geçirmiş olur. Reaksiyon sonucunda M metali oksitlenerek  $n^{+}$  pozitif yüklü iyon halini alır ve n değerlikli valans elektronlarını kaybetmiş olur. Oksitlenmeyi gerçek metal üzerinden anlatacak olursak örnek olarak demir ve alüminyum metallarını gösterebiliriz (Callister, 2011: 676).

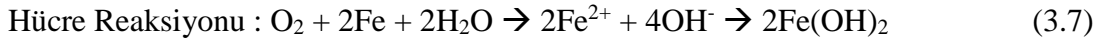


Oksidasyon tarafına anot denir. Bazen anodik reaksiyon olarakta anılmaktadır. Oksidasyon sonucunda metal atomundan çıkan elektron iyonlarının bir kimyasal maddeye transfer edilip onunla bütünleşmesi olayına ise indirgenme adı verilir (Callister, 2011: 676).

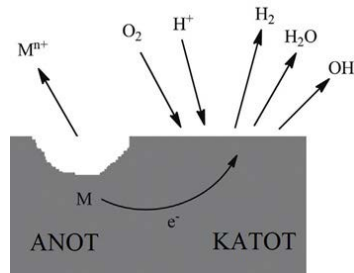
İndirgenmenin oluştuğu yere katot denir. M metalinin indirgenme reaksiyonu aşağıdaki reaksiyonda gösterilmiştir.



Demir metalinin oksijenli su içinde korozyona uğraması esnasında meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar aşağıdaki gibidir (Savaşkan, 2012: 275).

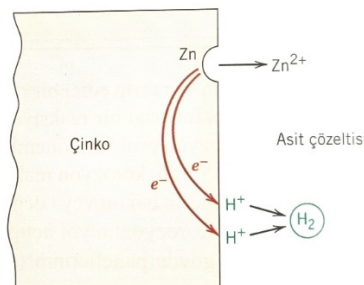


Oluşabilecek reaksiyonlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



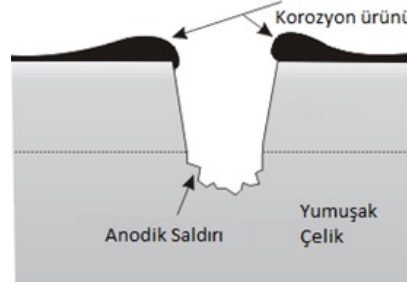
Şekil 3.2. Korozyon mekanizmasındaki reaksiyonlar (Bryci, 2017: 3-23).

Reaksiyonlar gerçekleşirken toplam oksidasyon hızı ile toplam indirgenme hızı birbirine eşit olmalıdır veya oksidasyon ile oluşturulan tüm elektronlar, indirgenme yoluyla tüketilen elektronların sayısına eşit olmalıdır. Örneğin çinko metali, H<sup>+</sup> iyonları içeren asit çözeltisine daldırıldığında metalin yüzeyi bazı bölgelerinde Şekil 3.3’te gösterildiği gibi hem oksidasyon hem de indirgenme reaksiyonları oluşur.



Şekil 3.3. Asit çözeltisindeki çinkonun reaksiyonları (Callister, 2011: 676).

Yumuşak çelik bir malzeme, nötr sulu çözelti ile etkileşim içerisinde olursa, yüzeyindeki oksit filmindeki en ufak bir problemde bile korozyon oluşturabilecek bir ortam yatarır. Bu kusurlar farklı sebeplerden dolayı olmuş olabilir. Örneğin, doğal olan süreksizlikler veya darbe sonucunda oluşan çizikler gibi mekanik hasarlar sonucunda oluşmuş olabilirler. Bu çelikteki korozyon Şekil 3.4’te gösterilmiştir (Pearce, 2001: 1).



Şekil 3.4. Yumuşak çeliğin yüzeyinde oluşan korozyon (Pearce, 2001: 1).

Anodik ve katodik olan reaksiyonların enerji ve gerilim farkları hesaplanabilir. Oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarına ait bir hesap yöntemiyle potansiyel farkları en düşük negatif değerden en yüksek pozitif değere kadar sıralanan metallerin elektromotif kuvvet serisi elde edilerek yorum yapılabilir (Savaşkan, 2012: 276).

Bazı metallerin elektromotif kuvvet serisi Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı metallerin elektromotif kuvvet serisi (Savaşkan, 2012: 277).

Elektrot Reaksiyonu	Standart Elektrot Potansiyeli (V)
$K = K^+ + e^-$	-2,922
$Ca = Ca^{++} + 2e^-$	-2,87
$Mg = Mg^{++} + 2e^-$	-2,34
$Al = Al^{3+} + 3e^-$	-1,67
$Mn = Mn^{++} + 2e^-$	-1,05
$Zn = Zn^{++} + 2e^-$	-0,762
$Ag = Ag^+ + e^-$	0,800
$Hg = Hg^{++} + 2e^-$	0,854
$Pt = Pt^{++} + 2e^-$	1,2
$Au = Au^+ + e^-$	1,68

Tabloda artı (+) tarafta yer alan yani asil olan metaller, eksi (-) tarafta yer alan başka bir metal ile temas ettiğinde artı (+) taraftaki metalin yüzeyinde redüksiyon reaksiyonu oluşur. Bu durum eksi (-) tarafta bulunan metalin korozyona uğraması demektir (Savaşkan, 2012: 277).

### **3.1.2. Korozyon türleri**

Metal ve alaşımlarda oluşan korozyon çeşitleri oluşum biçimlerine göre sınıflandırılabilirler. Pratik olarak birbirinden ayırt edilebilen on dört farklı korozyon çeşidi vardır. Bu nedenle meydana gelen korozyonun hangi türde olduğunu anlamak korozyonu önlemek için oldukça önemlidir. Parçaların uğradığı korozyon temelde kimyasal ve elektrokimyasaldır. Kimyasal korozyon, metal ve alaşımların gaz ortamında oksitlenmesi, elektrokimyasal korozyon ise metal ve alaşımların sulu ortamda bozunmalarıdır (Callister, 2011: 692).

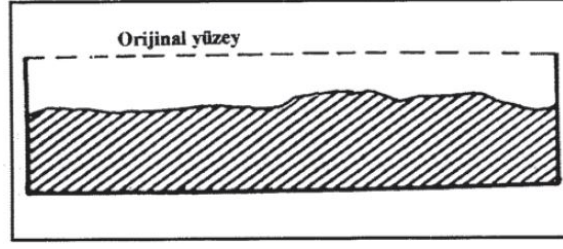
Başlıca dokuz korozyon çeşidi aşağıdaki gibidir.

- 1- Üniform Korozyon
- 2- Taneler Arası Korozyon
- 3- Galvanik Korozyonu
- 4- Çatlak Korozyonu
- 5- Çukurcuk Korozyonu
- 6- Erozyonlu Korozyon
- 7- Gerilmeli Korozyon
- 8- Tercihli Çözünme Korozyonu
- 9- Hidrojen Kırılganlığı

#### **3.1.2.1. Homojen (uniform) korozyon**

Korozyona uğramış parçanın her bölgesinde eşit bir şekilde yayılmış olan ve oksitli bölgedeki kayıpların aynı olduğu korozyon türüdür (Schweitzer, 2010: 3-65).

Malzemelerin yüzeylerinde birbirine yakın konumda bulunan mikroanot ve mikrokatot bölgeleri arasındaki elektrokimyasal etki ile meydana gelir. Katot ve anot bölgelerinin sürekli yer değiştirmeleri nedeniyle metal yüzeyi homojen olarak korozyona uğrar ve korozyon hızının hemen hemen her yerde sabit olduğu kabul edilir (Savaşkan, 2012: 278-279).

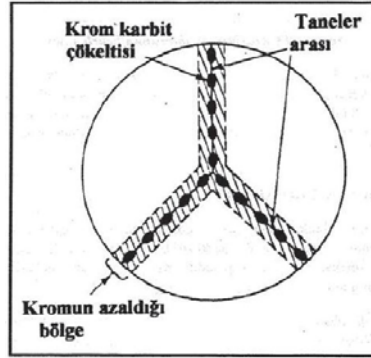


Şekil 3.5. Ünimform (Homojen) Korozyon (Yalçın, 1997: 31).

### 3.1.2.2. Taneler arası korozyon

Tane sınırları, ergitilmiş metallerin ısıl işlemlere tabi tutulmasıyla veya katılaşmasıyla meydana gelir. Metallerin kristal yapılarında tane sınırı çizgisi oluşmaktadır. Bu tip korozyonda taneciklerin orta kısımları yani ana gövdesinde hiç korozyon belirtisi olmamaktadır (Schweitzer, 2010: 3-65).

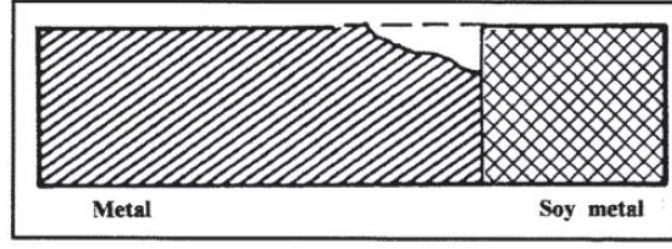
Tane sınırlarındaki çökeltmenin hızlı olması nedeniyle tane sınırlarına yakın bölgeler çökeltiyi oluşturan element bakımından fakirleşir. Bu durum tane sınırları ile diğer bölgeler arasında bir gerilim farkı oluşturur ve sonuçta tane sınırları tercihli olarak korozyona uğrar. Bu şekilde meydana gelen korozyon sonucunda taneler bütünlük ve şekillerini korurlen, taneler arasındaki bağ bozunarak taneler arasında korozyon meydana gelir (Savaşkan, 2012: 281).



Şekil 3.6. 304 paslanmaz çelikteki taneler arası korozyon (Yalçın, 1997: 40).

### 3.1.2.3. Galvanik korozyon

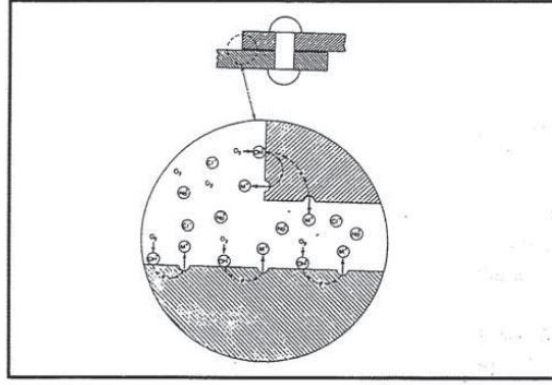
Korozyon ortamında iki farklı türden metal veya alaşımların temas yüzeylerinde meydana gelir. Bu iki malzeme elektriksel olarak birleştirilip, elektrolit (çözelti) içinde kalırsa elektrik potansiyeli oluşur ve oluşan potansiyel fark sonucunda itici bir güç meydana gelir ve elektronegatif malzemenin çözünmesi gerçekleşir. Daha az soy olan veya daha fazla reaktif olan metal belirli bir ortamda korozyona uğrayacaktır. Bu durum Şekil 3.7'de gösterilmiştir (Callister, 2011: 693).



Şekil 3.7. Galvanik korozyon (Yalçın, 1997: 32).

#### 3.1.2.4. Çatlak korozyonu

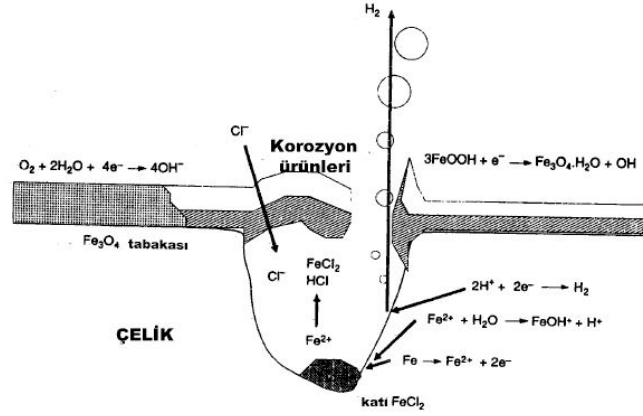
Metal yüzeyindeki bir çatlak, dar bir aralık veya metal-metal ara yüzeylerine sızmış elektrolitin bozunması sonucunda oluşan bir korozyondur. Gözle görülmesi çok zor olan çatlak veya aralıklarda bile görülebilmektedir (Schweitzer, 2010: 3-65).



Şekil 3.8. Çatlak korozyonu oluşumu (Yalçın, 1997: 34).

#### 3.1.2.5. Çukurcuk korozyonu

Çukurcuk korozyonununun diğer bir adı oyuklanmadır. Çok küçük oyuk ve çukurların oluşturduğu, yerel korozyon etkisiyle oluşan bir korozyon çeşididir. Bu korozyon türünde anot ve katot bölgeleri birbirinden ayrılmış şekildedir. Bu tarz yüzey oluşumları normalde, yataydaki yüzeylerin üst kısmından düşey yönde, metal yüzeyin iç kısımlarına doğru ilerleyerek gerçekleşir. Bu korozyon türünün en kötü özelliği hiç bir şekilde işaret vermeden sinsi ilerlemesidir. Çok küçük bir bölgede başlar ve malzemede hasar oluşana kadar tespit edilemeyebilir (Callister, 2011: 697).

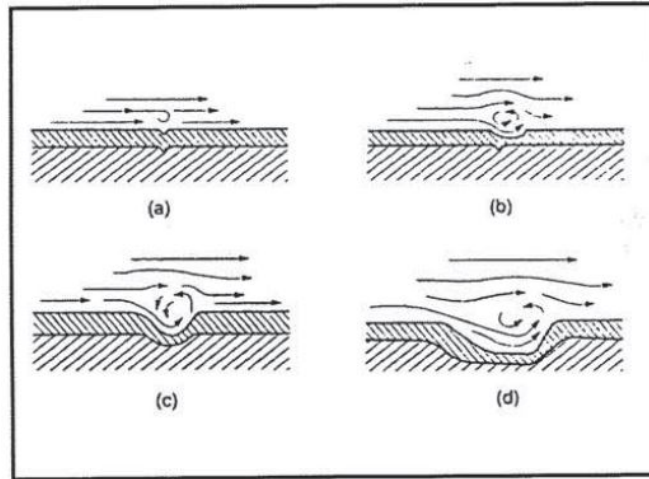


Şekil 3.9. Çukurcuk Korozyonu (Yalçın, 1997: 32).

### 3.1.2.6. Erozyon korozyonu

Akışkanların hareketleri sonucu, kimyasal etki ile mekanik aşınma olaylarının bir arada malzeme üzerine etkimesiyle meydana gelir. Neredeyse tüm metal alaşımları, bu korozyona karşı duyarlıdırlar. Özellikle yüzeye yakın bölgede koruyucu film tabakası oluşturan alaşımlar için oldukça zararlıdır. Yüzeydeki bu tabaka, akışkanlar tarafından sürüklenerek götürülür. Bu etki sonucunda ilgili bölgede çıplak ve tamamen korunmasız bir metal yüzeyi oluşmuş olur ve bu bölge kolaylıkla korozyona uğrayabilir (Callister, 2011: 698).

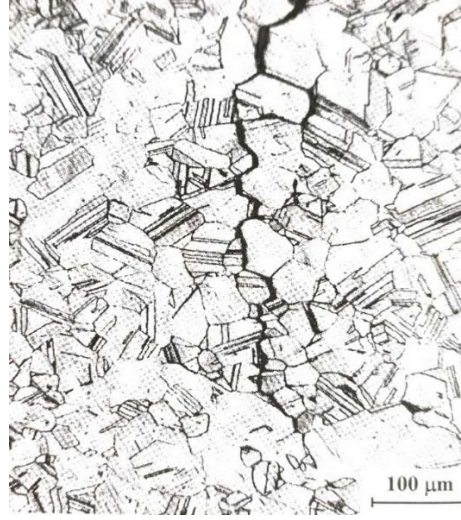
Erozyonlu korozyonun standartlaşmış bir görüntüsü vardır. Akışın olduğu yönde göz ile kolaylıkla fark edilebilecek oyuklar ve dalga şeklinde yuvarlak oluklar oluşur (Yalçın, 1997:44).



Şekil 3.10. Erozyonlu korozyonun başlaması (Yalçın, 1997: 44).

### 3.1.2.7. Gerilimli korozyon

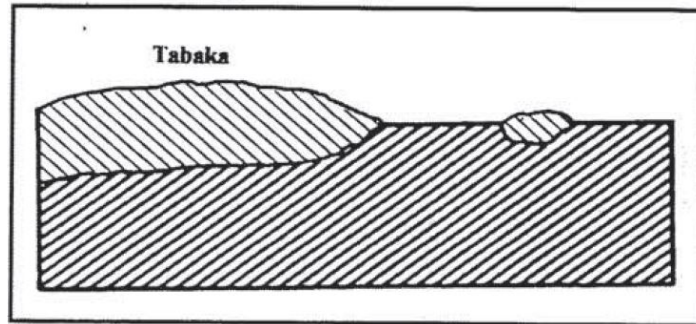
Gerilimli korozyon, korozif ortam ile çekme gerilmesinin aynı anda parça üzerine etki etmesi sonucunda meydana gelir. Tane sınırlarında çatlak veya çatlaklar oluşturarak etkilediği malzemenin dayanımını azaltır. Çatlaklar gerilmeye dik yönde ilerleyerek malzemeyi hasara uğratabilirler. İlk olarak bozunma parçanın üzerindeki çatlaklarda veya gerilme yığılmasına yol açan geometrik olarak düzgün olmayan bölgelerde başlar. Pirinç malzemedeki taneler arasında oluşan gerilimli korozyonun mikroyapısı Şekil 3.11’de gösterilmiştir (Savaşkan, 2012: 281-282).



Şekil 3.11. Pirinç malzemede oluşan gerilimli korozyon mikroyapı (Savaşkan, 2012: 282).

### 3.1.2.8. Tercihli çözünme korozyonu

Katı çözeltili veya alaşımlarda görülür. Alaşımdaki bir elementin veya bileşiğin tercihen alaşımdan uzaklaştırılması yani çözünerek azalması durumudur. En bilinen örneği, pirinç alaşımındaki çinkonun alaşımdaki miktarının azalması olarak verilebilir. Burada çinko, tercihli bir şekilde korozyona uğrar. Bu korozyonun özel adı dezinsifikasyondur (Callister, 2011: 697).

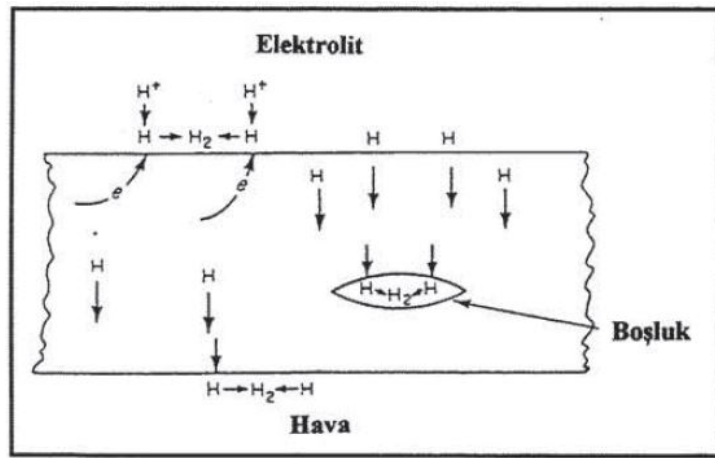


Şekil 3.12. Tercihli korozyon (Yalçın, 1997: 43).

### 3.1.2.9. Hidrojen kırılganlığı

Bazı metal alaşımlarında, özellikle de çelik alaşımlarında hidrojen atomları malzemenin içine nüfuz eder ve parçanın sünekliğinde ve çekme dayanımında azalma meydana gelir. Bu olayın adına da hidrojen gevrekliği denir (Callister, 2011: 699-700).

Hidrojen atomlarının bazıları  $H+H = H_2$  şeklinde birleşir ve hidrojen molekülü halinde atmosfere karışırlar. Kalan hidrojen atomlarının diğerleri de metallerin içine girerek oradaki boşluklara yerleşir. Daha sonra molekül haline bürünerek metal için hacim artışına sebep olurlar. Molekül halindeki hidrojenin difüzyon özelliği de olmadığı için metal boşluklarında yüksek basınç oluşturarak parçaların çatlamasına neden olurlar (Yalçın, 1997: 54).



Şekil 3.13. Hidrojenin metal içine penetrasyonu (Yalçın, 1997: 54).

### 3.2. Korozyondan korunma yöntemleri

Metal malzemelerin, işlevselliklerini kaybetmemeleri için korozyonun kontrol altına alınması veya önlenmesi büyük önem taşımaktadır. Korozyonu kontrol altına almak için riskleri önceden belirleyip parçayı çalışacağı ortama göre seçmek gerekmektedir. Çünkü parçanın çalışma ortamına ve koşullarına göre malzeme seçimi korozyona karşı alınabilecek en öncelikli önlemdir. Ancak bazı durumlarda çevresel koşullara uygun malzeme seçemeyebiliriz. Bu durumlarda malzemenin yüzey özelliklerini değiştirerek veya malzeme ile çevresel faktörlerin arasına bir bariyer koyarak önlem alınabilir. Metal malzemelere kaplama yapılarak korozyon kontrol altına alınabilir. Hatta nihai ürün olarak korozyona karşı tamamen dirençli bir malzeme de ortaya çıkabilir. Genel olarak koruyucu kaplamaların kullanımı, katodik ve anodik koruma, saf metal kullanımı, alaşım elementi katma, ısıl işlem, uygun tasarım, inhibitör katma gibi başlıklar altında gruplandırılabilir (Özdemir, 2019: 1-47).

### **3.2.1. Saf metal kullanımı**

Bazı durumlarda, homojensizlikleri en aza indirmek amacıyla yüksek saflıkta metaller kullanılır. Bunun sayesinde metalin farklı bölgeleri arasındaki gerilim farkı en aza indirildiğinden çukurcuk korozyonu çok büyük ölçüde engellenmiş olur (Savaşkan, 2012: 283).

### **3.2.2. Alaşım elementi katma**

Alaşım elementi ilavesiyle bazı metallerin korozyona karşı direnci artırılabilir. Bu konuyu örnekle anlatacak olursak, ostenitik paslanmaz çelikler, 880 °C – 1380 °C arasındaki sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklara soğutulduklarında tane sınırlarına krom karbürler çökerek yapıyı duyarlı bir hale getirirler. Bu korozyonu önlemek için iki seçenek vardır. Birincisi, karbürleri daha kararlı bir hale dönüştürmek, ikincisi ise çelikteki karbon oranını düşürmektir. Yöntemlerden birincisini uyguladığımızda çeliğe titanyum veya kolombiyum ilave edilmelidir. Bu elementlerin karbona karşı ilgileri yüksek seviyelerdedir. Yüksek sıcaklıklarda çelik içerisinde çözünmeyen karbürler oluşturarak ve krom ile birleşebilecek çok az sayıda krom kaldığında çelik, korozyona karşı daha korunaklı hale gelir (Savaşkan, 2012: 283).

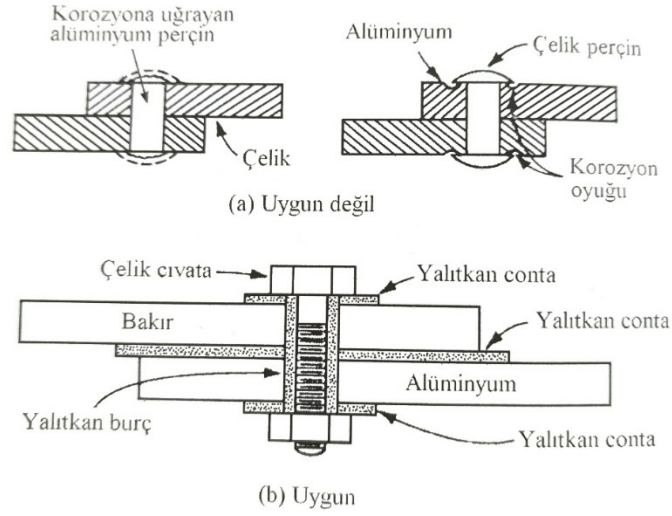
### **3.2.3. Isıl işlem**

Döküm parçalarında genellikle segregasyon görülmektedir. Segregasyon, döküm malzemelere has bir katılma ve ayrışma olayıdır. Parçalara bazı ısıl işlemler uygulayarak iç yapılarını homojen hale getirebiliriz. Bu ısıl işlemlere örnek olarak homojenleştirme, su verme, yaşlandırma, stabilizasyon yani kararlı hale getirme ısıl işlemlerini sayabiliriz. Böylece malzeme korozyona karşı dirençli hale gelmiş olacaktır (Savaşkan, 2012: 283).

### **3.2.4. Uygun tasarım**

Daha önceden de benzer şekilde bahsettiğimiz üzere malzeme seçimine bağdaşık bir şekilde kullanılan malzemelerin de uygun bir şekilde tasarlanması önemli bir husustur. Tablo 3.1’de verilen elektromotif serisi göz önüne alınarak, seçim yapılırken birbirinden uzak olan elementlerin temas edip etmemesine dikkat edilmelidir. Bu iki uzak elementin teması halinde ortamda galvanik korozyon olması kaçınılmazdır. Eğer yine de bu iki elementi kullanmamız gerekiyorsa teması önlemek açısından aralarına kauçuk veya plastik malzemeler yerleştirilmelidir. Şekil 3.14’te, birbirine benzemeyen metaller temas durumundadır ve ortamda galvanik korozyon görülmektedir. Alüminyum elementi, çeliğe göre anot olduğu için alüminyum perçinlerin korozyona uğraması beklenir. Tam tersi durumda ise alüminyum levhada oluşan korozyon perçinleri gevşeterek malzemeyi işlevsiz hale getirir. Bu temasın

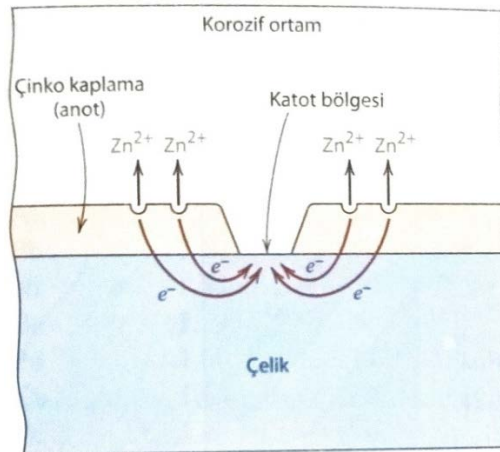
önüne geçmek için ilgili bölgeye yumuşak ve yalıtkan bir malzeme koyulabilir ya da parça önce kromat kaplandıktan sonra alüminyum boya ile boyayarak korozyon önlemiş olur (Savaşkan, 2012: 283-284).



Şekil 3.14. Uygun tasarımın önemi (Savaşkan, 2012: 284).

### 3.2.5. Katodik koruma

Korozyonun önüne geçebilmek için en etkili önlemlerin başında katodik koruma gelir. Katodik koruma, neredeyse temel tüm korozyon tiplerine karşı koruma sağlayabilir. Bazen bu yöntemle parça, korozyona karşı tamamen korunmuş olur. Bu koruma, iki şekilde yapılabilir. Birincisi, korunmasını istediğimiz metal, katot yapılarak Şekil 3.15'te de görüldüğü gibi galvanik pil oluşturulur. Bu durumda diğer metal kurban edilmiş olur ve oksitlenen metal kurban anot adını alır. İkincisi ise, katodik koruma için doğru akım güç kaynağının kullanıldığı sistemdir. Bu korumanın temeli korunacak metalin pilin katodu halini almasıdır (Callister, 2011: 702).



Şekil 3.15. Çinko kaplama ile galvanik olarak korunan metal (Callister, 2011: 703).

### **3.2.6. Anodik koruma**

Anodik koruma, katodik korumaya benzer bir sistem ile metalin korunmasıdır. Temel olarak elektrokimyasal olarak pasifleştirme yöntemi olarak bilinir. Katodik korumada olduğu gibi dışardan bir akım uygulanması sonucunda metal malzeme korunmuş olur. Oluşabilmesi için metalin pasifleşme özelliğinin olması gerekmektedir. Bu durum sağlandığında anodik potansiyele yakın olan metaller korozyon akımının düşük ve pasif durumda tutulmalarıyla sağlanır. Eğer korunacak metal aktifliğe doğru kayarsa metalde tekrar korozyon meydana gelecektir. Kontrollerin özenli bir şekilde yapılması gerekmektedir (Özdemir, 2019: 1-47).

### **3.2.7. Yüzey kaplamalar**

Organik, inorganik ve metalik kaplamalar olarak üç ana grupta incelenebilmektedir. Ancak aynı zamanda hem organik hem metalik olan kaplama türleri de vardır. Metalin yüzeyi çeşitli yöntemlerle kaplanarak korozyona karşı direnç sağlanmış olur (Kakani, 2004: 382-394).

#### **3.2.7.1. Organik kaplamalar**

Organik kaplamada organik bileşenlerden oluşan boyalar kullanılır ve boyaların içinde pigment denilen ince partiküller ve pigmentleri askıda tutan taşıyıcılardan meydana gelmektedir. Pigmentler metalin yüzeyi ile reaksiyona girer ve kalıcı tabakalar oluştururlar. Organik kaplamaların yapılabilmesi için ortamda korozyon direnci olmalıdır (Kakani, 2004: 382-394).

Endüstride yoğun olarak kullanılan ve aynı zamanda tez konusu da olan kataforez, toz boya ve çinko lamelli kaplamalar organik kaplamalara örnek olarak verilebilir.

#### **3.2.7.2. İnorganik kaplamalar**

İnorganik kaplamalar ise metallerin yüzeyinde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan koruyucu oksit ve tuz tabakalarıdır. Bu bağlamda alüminyum elementinin özel kaplaması olan eloksal kaplama bu tür kaplamaların en ön planda olanıdır (Kakani, 2004: 382-394).

#### **3.2.7.3. Metalik kaplamalar**

Metalik kaplamaların başlıcaları sıcak daldırma, sprey metodu, elektrolitik kaplamadır. Metallerin ve alaşımlarının korozyona karşı dayanımlarını artırmak adına en sık kullanılan kaplama yöntemi metalik kaplamalardır. Ancak metalik kaplamaların yüzeyde oluşturduğu kaplama kalınlığı çok önemli bir parametredir. Yüzeydeki kaplama kalınlığı ve kaplama miktarı ortam koşulları ve geometrik şekillerine göre parçaların ömrünü belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu sebeplerden malzemenin özellikleri ve ortam koşullarına bağlı olarak tercih

edilecek kaplama tipi kadar uygulama yöntemini belirlemekte oldukça önem arz eder (Batchelor, 2002: 219-225).

Metalik kaplamaların birbirinden farklı üç kaplama metodu vardır. Bunlar, elektrolitik kaplama, spreyle kaplama, sıcak daldırma yöntemi ile kaplama olarak adlandırılırlar.

#### **Sıcak Daldırma Metodu:**

En eski dönemlerden beri ve yaygın olarak endüstride kullanılan kaplama uygulamalarından biridir. Kaplamanın ana materyali olarak genellikle çinko, alüminyum, kalay ve kurşun gibi erime sıcaklığı düşük olan metaller kullanılır. Kaplanacak olan metal parçalar, önceden belirlenmiş askı üzerine asılır veya sepetlere, yükleme miktarı kapasitesini aşmayarak uygun şekilde doldurularak kaplama kimyasalına daldırılır. Sonrasında yüzeyde birikebilmesi olası kimyasalların ortamdan gitmesi amacıyla yüksek hızda döndürme işlemi uygulanır. Bu yöntemin diğer adı santrifüj yöntemidir (Batchelor, 2002: 219-225).

#### **Sprey Metodu:**

Sprey yönteminde de kaplama, erime sıcaklığı düşük olan metaller yardımıyla yapılmaktadır. Genellikle geometrik şekilleri daldırmaya müsait olmayan parçalar, boyut, hacim anlamında da sepete sığmayacak parçalara uygulanan methodur. Kaplamaya engel olabilecek kaynaklı, tırnaklı parçalarda da uygulanır. Ancak büyük bir dezavantajı vardır. Daldırma metoduna göre kimyasal malzeme sarfiyatı oldukça fazla olduğundan özel durumlar haricinde ilk olarak tercih edilmemektedir (Batchelor, 2002: 219-225).

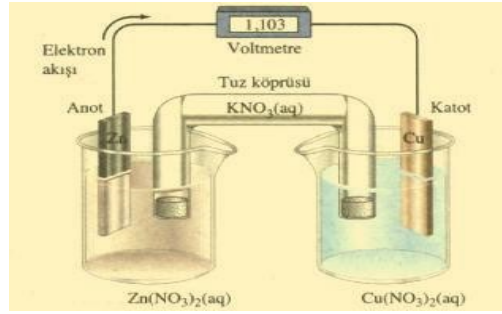
#### **Elektrolitik Kaplama:**

Kaplanmak üzere hazırlanan metal, metalik tuz barındıran sulu çözeltide katodik elektrik potansiyeli ile birlikte kaplanır. Katodik reaksiyonların sonucunda oksijen ve hidrojen gazının ortaya çıkması metalin indirgenmesi olarak adlandırılır. Bundan dolayı ortamdaki hidrojen sürekli artış halindedir ve hidrojen gevrekliğine yani kırılgenlik problemlerine neden olabilmektedir. Başka bir problemde kenar, köşe ve çıkıntılı bölgelerin yüksek elektrik alanının oluşmasıyla düz yüzeylere göre daha hızlı kaplama alırlar. Prosese verilen voltaj ve kaplama süreleri kontrol altında olmaz ise bu bölgelerde yüksek kaplama kalınlığına sahip kaplanmış malzemeler elde edilmiş olur (Batchelor, 2002: 219-225).

Elektrolitik kaplamalar ince ve tek kat olarak uygulanabildiği gibi --farklı metallerden oluşan çok katlı kaplamalarda endüstride çeşitli yerlerde kullanılabilir. Örneğini parça üzerine önce çinko kaplanıp üzerine kataforez kaplaması yapılabilir. Bu durum için parçanın kullanıldığı ortam ve kullanım şartları belirleyici olmaktadır. İstenildiği takdirde metal

bir parça üzerine önce çinko üzerine kateforez en üst kaplama olarakta toz boya uygulaması yapılabilmektedir (Batchelor, 2002: 219-225).

Elektrolitik kaplama prosesleri Şekil 3.16'daki lektrokimyasal hücreler ile uygulanmaktadır. En bilinenleri çinko, nikel, krom ve kalaydır (Berk, 2004: 6-7).



Şekil 3.16. Elektrokimyasal hücre (Berk, 2004: 6-7).

Kaplama kalitesi, sıcaklık, akım yoğunluğu, metal ve elektrolit özellikleri, pH gibi faktörlerden etkilenmektedir (Berk, 2004: 6-7).

Akım yoğunluğunu arttırmanın kaplamaya iki şekilde etkisi vardır. Yoğunluk arttırdıkça, yüzeydeki kristallerin oluşma hızları artar ve düşük kaplama kalınlıklı bir katman oluşur. Akım yoğunluğu daha da çok artarsa katot bölgesinde bulunan metal iyonları çözeltiden gelen iyonları yeteri kadar karşılayamayacağı için katot bölgesi güçsüzleşir. Böylelikle homojen olmayan ve kalitesi daha az bir kaplama meydana gelir (Berk, 2004: 6-7).

Sıcaklık arttıkça difüzyon hızı da doğru orantıda artar ve küçük yapıli kristal meydana gelir. Bunun yanında katottaki polarizasyon azalır. Bu durum daha büyük kristallerin oluşmasına ve tüm kristallerin daha da büyümesine sebebiyet verir. Sonrasında yapıdaki hidrojen gerilimi azalacağından, hidrojen gazının çıkışı sünger benzeri bir yapının oluşmasına neden olacaktır (Berk, 2004: 6-7).

Kaplaması yapılacak olan metal malzemenin, kaplama kalitesine etkisi oldukça fazladır. Örnek olarak döküm malzemeleri verirsek, döküm parçalarının ortamdaki ısıyı kendi içine alması zor olduğundan, kaplamadan sonra yüzeyde kabarmalar oluşabilir. Bu durum bize, kullanılan metalin uygun olmadığını göstermektedir (Berk, 2004: 6-7).

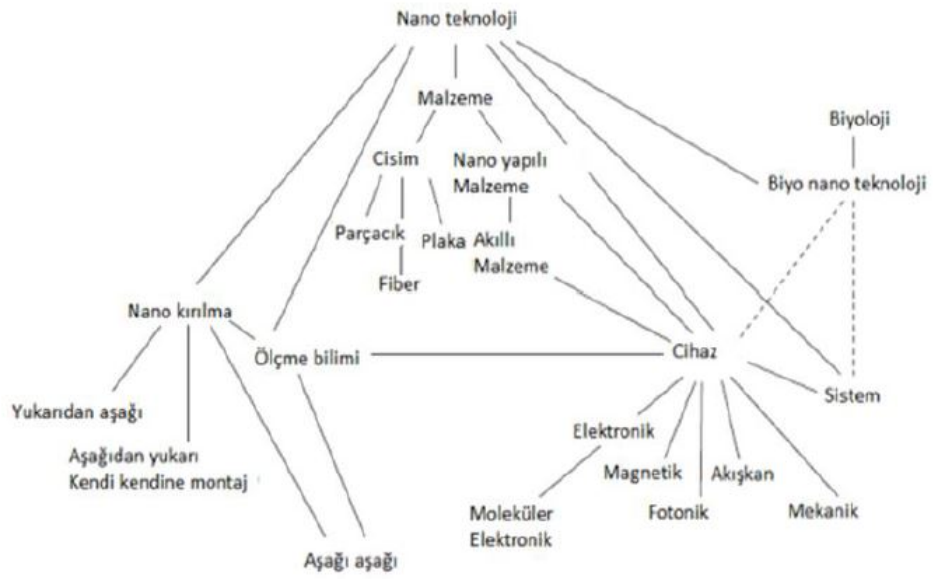
Elektrolitik kaplamada pH, istenilen değer aralıklarında tutulmalıdır. Bu aralığın üstüne çıkması veya altına inmesi gibi bir durumda kaplamanın kalitesine olumsuz etki yaparak parçanın bozulmasına neden olabilir (Berk, 2004: 6-7).

## 4. KAPLAMA TEKNİKLERİ

### 4.1. Nano kaplama

#### 4.1.1. Nanoteknoloji ve nano kaplama nedir?

Nano kaplama, içeriği nano boyutlu (nanometre = $10^{-9}$  metre) yapılardan oluşan bir tabaka ile malzeme yüzeylerinin kaplanmasıdır. Nano boyutta, makro boyutlarda görülmeyen kimyasal ve fiziksel değişimler ve nano boyutlu taneciklerin yüzeye düzgün sıralanması ile nitelikli kaplamalar elde etmek mümkündür (Avcı, 2009: 48-49).



Şekil 4.1. Nanoteknolojinin sistemi ve sınıflandırılması (Ağaçdelen, 2021: 8).

#### 4.1.2. Nano kaplamaların özellikleri ve uygulama alanları

Nano kaplamaların en önemli özellikleri, dayanıklı, uygulaması kolay, ucuz ve çevre dostu bir kaplama olmasıdır. Nano kaplamalar, metal, seramik, beton, kağıt, plastik gibi türlü yüzeylere kimyasal bileşimleri belirlendikten sonra kaplanabilir (Avcı, 2009: 48-49).

Günümüzde çoğu malzemeye bakıldığında yüzeylerinde bir kaplama olduğunu görebiliriz. Bu kaplamalar sayesinde malzemeler daha güzel görünümlere kavuşturulabilir. Dış etkenlerden korunma sağlanabilir ve daha bir çok sebeple kaplamalar kullanılabilir. Artık nano kaplamalar sayesinde sadece dış tabakada oluşacak etkilerin yanı sıra malzemenin işlevini etkileyen yeni özelliklerde malzemeye kaplamalar ile eklenebilmektedir. Nano kaplamalar uygulandıkları yüzeylerin özelliklerini değiştirerek yeni özellikler kazandırarak malzemelere değer kazandırır ve onların kullanım alanlarında genişleme sağlamaktadır (Avcı, 2009: 48-49).

Nano kaplamalar ile malzemelere kazandırabilecek işlevlerden bahsedecek olursak bir çok yenilikçi uygulama alanı sağladığını görebiliriz. Nano kaplama ile malzemelere kazandırılan işlevsel özellikler şu şekildedir: kendi kendini temizleyen kaplamalar, korozyon önleyici kaplamalar, seramik yüzeylerde leke tutmayan nano kaplamalar, antimikrobiyal kaplamalar, çizilme dayanımını artırıcı kaplamalar, su tutmaz kaplamalar vb. özellikler taşıyan kaplamalar örnek gösterilebilir (Ağaçdelen, 2021: 8-10).

#### 4.1.2.1. Uygulama alanları

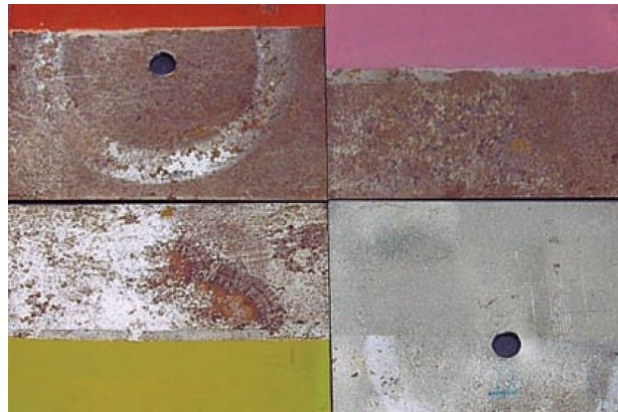
##### **Kendi kendini temizleyen kaplamalar:**

Çok katlı binaların camlarının temizlenmesi eskiden beri hep merak konusu ve aynı zamanda çok zahmetli bir iştir. Ancak günümüzde nano kaplama ile bu probleme çözüm üretilmiştir. Camlar, güneş ışığı altında aktif hale dönüşen nano boyuta sahip  $TiO_2$  ile kaplanmıştır ve camların kendi kendini temizlemesi sağlanmıştır (Avcı, 2009: 48-49).

##### **Korozyon önleyici nano kaplamalar:**

Metallerin, ortam koşullarında kimyasal veya elektrokimyasal tepkimeleri sonucunda yapılarının bozulmasına korozyon denir. Birçok metal sulu ortamlara ve atmosfer etkisine dayanıklı değildir ve bu durum çabuk korozyona uğramalarına sebebiyet verir. Su ve atmosfer şartlarına açık bir şekilde maruz kalan tüm cihaz ve malzemeler korozyon problemiyle karşı karşıyadırlar. Bu malzemelerin hepsi korozyon sebebiyle ön görülen süreden çok daha kısa sürede kullanılmaz hale gelerek ekonomiye büyük zararlar vermektedir. Çeşitli yöntemlerle korozyon önlenir (Avcı, 2009: 48-49).

Nano kaplamalar son yıllarda kullanılan en etkili koruma yöntemleri arasındadır. İnorganik-organik melez bir kaplama tabakası yüzeye uygulanarak malzemelerin korozyona karşı dirençleri artırılır (Avcı, 2009: 48-49).



Şekil 4.2. Nano kaplama yapılmış ve yapılmamış örnekler (Avcı, 2009: 49).

### **Seramik yüzeylerde leke tutmayan nano kaplamalar:**

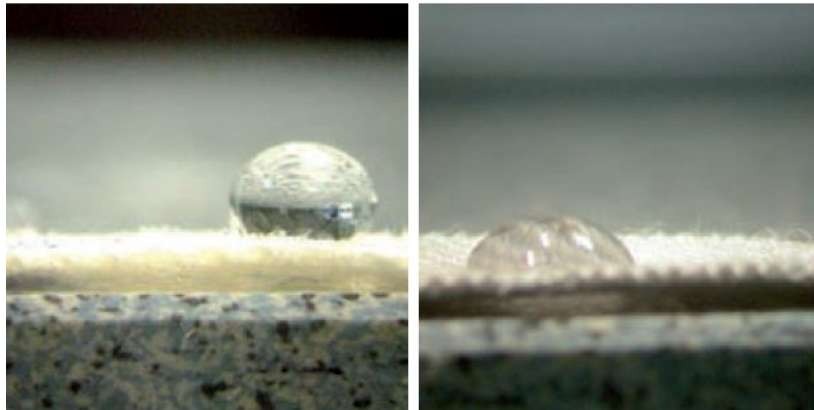
Mutfaklarda yaygın olarak kullanılan seramikler, salça, kahve, ketçap gibi kolay leke yapan gıdalar ile temas ettiklerinde temizlenmesi zor izler bırakırlar. Bu maddeler seramik yapısında bulunan farklı boyuttaki gözenekler içine doldurarak temizlenmelerini engeller. Nano kaplama uygulamasıyla, seramik yüzeyi ince camsı, hidrofob (su vermez) özellikte sentezlenen bir silika tabakası ile kaplanarak bu gözenekler kapatılır ve lekelerin oluşması engellenir (Avcı, 2009: 48-49).

### **Çizilme Dayanımını Artırıcı Kaplamalar:**

Bazı malzemelerin yumuşak ve kolay çizilebilir olmaları nedeniyle kullanım sırasında görünümleri bozulur; estetik ve dekoratif özelliklerini kaybederler. Polimerler ve ahşap malzemeler kolay çizilebilen yüzeylerdir. Nanosilikat tanecikleri içeren kaplamaların bu özellikteki yüzeylere uygulanması sertliklerini artırarak kullanım alanları genişletir (Avcı, 2009: 48-49).

### **Su Tutmaz Kaplamalar:**

Malzeme yüzeylerinin su tutma özellikleri nano kaplamaların uygulanması ile değiştirilebilir. Hidrofobik (su vermez) bir kaplama malzemenin yüzey enerjisi düşürülerek hazırlanır. Düşük yüzey enerjisi su damlacıklarının boncuk şeklini alarak yüzeyden yuvarlanmasına neden olur. Bu tip kaplamalarda kaplama malzemesi floralkilsilan ya da metil grubu içeren silan esaslıdır. Cam, seramik, tekstil, plastik vb. her türlü yüzeyde kaplamaların uygulanmasıyla su itici bir yüzey oluşturulabilir (Avcı, 2009: 48-49).



Şekil 4.3. Hidrofil ve hidrofob yüzeylerde su damlacıkları (Avcı, 2009: 49).

## 4.2. Kataforez kaplama

### 4.2.1. Kataforez kaplama tanımı ve tarihçesi

Elektrokimyasal prensiplere dayanan diğer adı elektroforez kaplama olan ve endüstrinin önemli alanlarında kullanılan kaplama tipine kataforez kaplama denir. Kataforez kaplama organik bir kaplamadır. Metal parçalar, kataforez banyosunun içerisine daldırıldığında sistemdeki yapı sayesinde eksi kutup olurken banyonun içerisinde genellikle kenarlarda duran anotlar ise artı kutup özelliğinde olurlar. Banyo içerisindeki kimyasallar yani asıl kaplama işlemini gerçekleştirecek olan boya partikülleri de artı kutup özelliği gösterdiğinden kaplanacak metal parça üzerinde kaplanmayan bölge kalmayana kadar yapışır ve tüm yüzey kataforez boya ile kaplanmış olur. Ancak banyoların kapasitesi dışında parça yüklemesi yapılırsa veya kataforez banyosuna yetersiz süre ve voltaj verilirse parçalar üzerinde kaplama almamış bölgelerle karşılaşılabilir (Özçanak, 2008: 1-5).

Kataforez kaplamanın diğer kaplamalara göre önemli avantajları vardır. Bunlar:

- Keskin köşelerde kenarlarda ve hava yapmayacak şekilde asılan parçalar için kapalı hacimli parçalar için mükemmel kaplanması,
- Homojen film kalınlığı ve görüntüye sahip olması,
- Yüksek üretim hızında çok az kimyasal kaybının yaşanması,
- Çevre açısından kirlilik riski teşkil etmeden yangın risklerinin de çok az olması (Özçanak, 2008: 2).

Kimyager Arne Tiselius tarafından 1930 yıllarında elektroforezi analitik teknik olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem, koloidal parçacıklı sıvının üzerine saf bir sıvı tabakasını yerleştirip hareketli ve sınırlı gözlem yöntemiyle yapmıştır (Lawrence, 1963: 4).

1950'lerin sonunda ise Dr. George E. F. Brewer ve Ford Motor Company ekibi, otomobillerin kaplanması amacıyla kataforez kaplama prosesini geliştirmek için yaptığı çalışmalar kataforez kaplamanın neredeyse bu zamanlarda kullanıldığı halini almasını sağlamışlardır. Katodik bir Elektrophoretic Deposition (EPD) ürünü için ilk patent 1965'te BASF AG'ye verildi. Kataforez kaplamanın ticarileşmesi de 1970 yılında PPG Industries Inc tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında 1975 yılında otomotiv sektöründe ilk katodik EPD kullanımına başlanmıştır. Günümüzde Electrophoretic Deposition (EPD)'nin kullanım hacminin yaklaşık olarak %70'lik bir kısmı katodik EPD'dir. Bunun da sebebi otomotiv ve savunma sanayinde kullanılıyor olmasıdır (Lawrence, 1963: 4-8).

#### 4.2.2. Kataforez kaplamanın proses aşamaları

Kataforez kaplama prosesinin iş akış şeması Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Bu iş akış, standart olarak kaplanan kataforez kaplamanın proses sıralamasıdır. Kataforez kaplamadan önce parçalar nano kaplama banyosunda kaplanır.

Tablo 4.1. Nano kaplama üzerine standart kataforez kaplama prosesi iş akış şeması.

Yüzey Hazırlama Aşamalarının Prosesleri	Yağ Alma Banyosu
	Durulama Banyosu
	Aktivasyon Banyosu
	Nano kaplama Banyosu
	Durulama Banyosu
	Pasivasyon Banyosu
	Deiyonize Durulama Banyosu
Kataforez Kaplama Prosesi	Kataforez Kaplama Banyosu
	Ultrafiltrasyon Banyosu
	Durulama Banyosu
Kürlenme Prosesi	Piştirme Fırını

Tabloda gösterilen kataforez kaplama, üç ayrı proses aşamasından oluşmaktadır. Bunlar;

- Yüzey Hazırlama Aşamalarının Prosesleri
- Kataforez Kaplama Prosesi
- Piştirme Fırını (Kürlenme Prosesi)

##### 4.2.2.1. Yüzey hazırlama prosesi

Yüzey hazırlama prosesleri kaplanacak olan metalin yüzeyini çeşitli yabancı maddelerden arındırmak için arka arkaya uygulanan yöntemlerdir

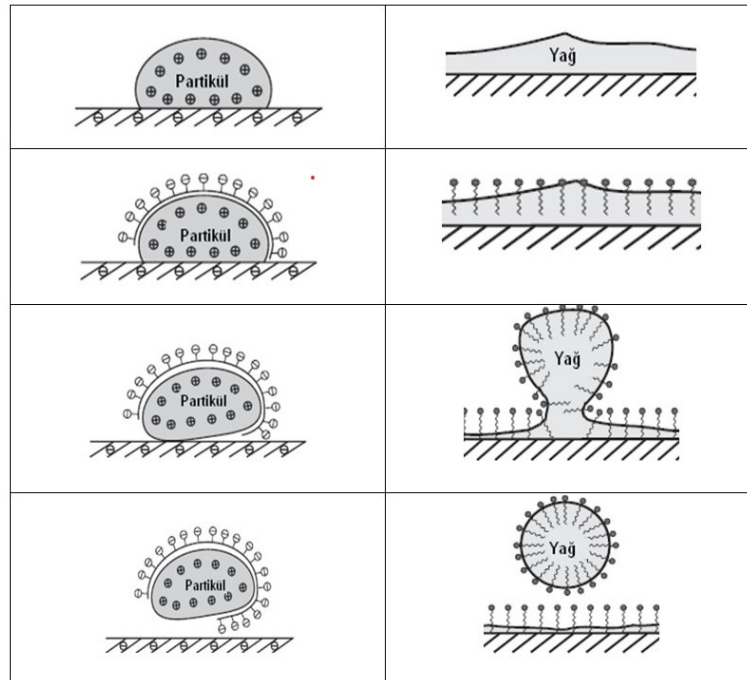
## Yağ Alma:

Yağ alma banyosunda yapılan proses, yüzey hazırlamanın ilk aşamalarında gerçekleşir. Yüzeyin temizliği, sırasıyla gelen tüm banyoların kaliteli işlev görmesine etki ettiğinden, parçaların kataforez öncesindeki yağ alma işlemi tüm prosesin en önemli aşaması olarak söylenilebilir. Temiz yüzey dediğimiz yüzey, ince yağ, yoğun yağ, gres, kirletici maddelerden arındırılmış yüzey demektir. Kataforez kaplama prosesinde kullanılan alkali yağ alma kimyasalları, sıvı veya toz haldeki kimyasallardan oluşur. Ancak çevresel faktörleri göz önüne aldığımızda yaygın olarak sıvı alkali yağ kimyasalları kullanılmaktadır (Özcanak, 2008: 47-48).

Alkali olarak kullanılan temizlik bileşenleri aşağıda verilmiştir.

- Alkaliliğin sürekliliğini sağlayıcılar → NaOH, KOH, Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>
- Kompleks ajanları → Kompleks oluşumu
- Silikatlar → Partikül uzaklaştırma, inhibitör, buffer (tampon)
- Yoğunlaştırılmış Fosfatlar → Yağ alma + Kompleks oluşumu
- Orthofosfat → Temizleme

Yüzeydeki kirlilikleri arındırmak için banyoda korunması gereken bazı parametreler vardır. Banyonun sıcaklığı 55 ile 65 °C aralığında olmalıdır yöntem püskürtme ise 1 dakika, yöntem daldırma ise 3 dakikanın altına düşmemelidir Şekil 4.4’de kirli partikülün ve yağın yüzeyden arındırılması gösterilmiştir (Kılınç, 2019: 5-6).



Şekil 4.4. Partikülün ve yağın, yağ alma işlemiyle yüzeyden ayrılması (Kılınç, 2019: 6).

Kaplama prosesindeki yağ alma prosesi iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar, püskürtme yöntemi ile yağ alma diğeri ise daldırma yöntemi ile yağ alma olarak bilinir.

Daldırma tipi yağ alma, çarpma etkisiyle malzemenin yüzeyindeki partikülleri ve yağları almaktadır. Ancak bu proses kullanılırken püskürtme basıncına dikkat edilmelidir. Çünkü askıya asılan bazı parçaların püskürtme basıncıyla banyoların içine düşme riskleri vardır. Bu işlem püskürtme nozullarıyla 2 bar basıncın altında tutularak yapılmaktadır. Şekil 4.5’de püskürtme yağ alma prosesi gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Püskürtme yağ alma yöntemi.

Diğere bir yöntem olan daldırma tipi yağ alma, çarpma etkisi olmadığında yüksek konsantrasyon ve yüksek sıcaklıkta çalışması gerekmektedir. Karmaşık geometrik yapıdaki malzemeler daha çok daldırma yöntemi için uygundur. İç yüzeydeki kirler ve malzemelerin talaş kirlilikleri varsa bu yöntem yardımıyla kolaylıkla çıkmaktadır (Özçanak, 2008: 47-48).

#### **Durulama:**

Durulama işlemi, yağ alma işleminin sonrasında parçaların yüzeyinde kalan kirlilikleri, ve yağ alma kimyasallarını bir sonraki proses banyosuna taşınmasını engellemek için kullanılmaktadır. Yağ alma prosesinde kullanılan kimyasallar alkali olduğundan ve kir içerdiğinden içeriğinin diğere banyolara taşınması durumunda parçaların üzerine tekrar yapışma riski vardır. Sonraki aşamalarda kullanılan kimyasalların etkilerini bozarak kaplama kalitesine doğrudan etki yapabilir. Durulama banyosu işlevini olabildiğince yerine getirmelidir (Kılınç, 2019: 7).

#### **Aktivasyon:**

Nano kaplama gibi kataforez öncesinde ince mikron kaplanan kaplamalar öncesinde yüzeyde boyutları küçük ve sıkı kristaller oluşumu sağlayan iyileştirme banyosudur. Kullanılan

kimyasallar titanyum elementinin tuzlarının jelatinimsi süspansiyonlarıdır. Kullanım sıklığına bağlı olmadan özelliğini yitiren kimyasallardır. Bu sebeple sürekli besleme yapılarak banyonun etkisi korunmaktadır (Kılınç, 2019: 7-8).

Aktivasyon banyosu, deiyonize su ile hazırlanmalı veya litrede 50 mg altında klorür olmalıdır. Banyoların sıcaklıkları 10 °C ile 30 °C arasında olmalıdır. pH değeri de genellikle 8-9 arasındadır (Özçanak, 2008: 50).

#### **Nano Kaplama:**

Nano kaplama, daha öncede belirtildiği gibi nano boyutlu yapılardan oluşan tabaka ile malzemenin yüzeyinin kaplanması işlemidir.

#### **Pasivasyon:**

Kaplanacak metal, nano kaplama gibi kataforez öncesi kaplanması gereken bir banyoya girip çıktıktan sonra pasivasyon banyosuna girmesi gerekmektedir. Bunun sebebi tepkimeye girmemiş dönüşüm kimyasallarını durulayıp bir sonraki operasyona taşınmasını engelleyip yüzeyi kataforeze hazır hale getirmektir (Özçanak, 2008: 52).

#### **Durulama:**

Nano kaplamadan sonra yapılan durulama, kataforez boya banyosuna girmeden önce parçaların üzerindeki kaplama banyosuna girmesi olası olan maddelerin girmemesini sağlar (Kılınç, 2019: 19).

#### **Deiyonize Durulama:**

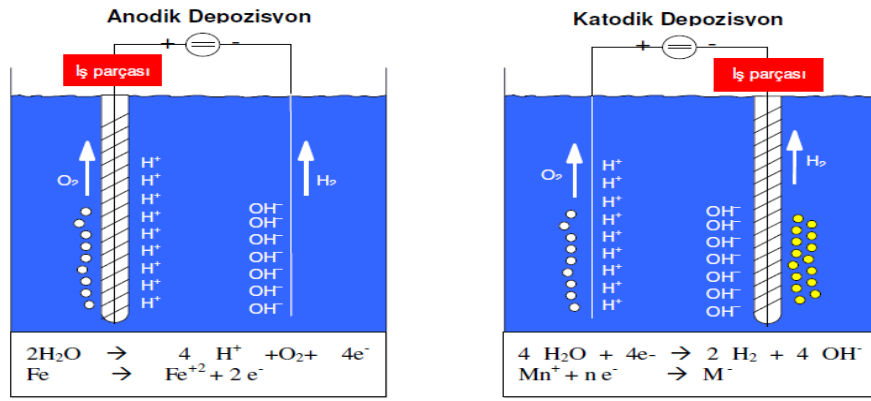
Kataforez kaplamanın bir önceki aşamasının normal durulama değil de deiyonize durulama olmasının önemli bir nedeni vardır. Kaplama banyosuna iyon (Ca, Mg, vb.) taşınımını engellemektir. Eğer kataforez banyosuna iyon taşınımı olursa kaplama banyosunda kaplanan parçanın yüzey kaplamasının yapışma performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Deiyonize durulama banyosunun iletkenliği genellikle 20 °C'de 15 - 50 µs/cm olması beklenmektedir (Kılınç, 2019: 20).

Bu durulama banyosunun asıl amacı, kaplanmak üzere olan parçanın üzerinde bulunan sert ve kireçli su tuzlarını ters osmoz ile parça üzerinden alarak kaplama banyosuna hazır hale getirmektir. Kaplamadan sonra nihai üründe olası oluşabilecek tuz reaksiyonlarını engelleyerek boyanın yapışma zafiyeti yaşammasını engeller (Özçanak, 2008: 53).

#### 4.2.2.2. Kataborez kaplama banyosu

Elektro kaplama, temelde iki farklı şekilde uygulanan bir yöntemdir. Kaplanacak olan parçanın sistemde anot olduğu duruma, anaferez denir. Bu kaplamanın özel ismi anodik elektro kaplamadır. Bu durumun tam tersini yani kaplanacak malzeme sistemde katod görevi görürse sürece kataborez, oluşan kaplamaya ise kataboretik elektro kaplama denilmektedir. Endüstride bu proses kataborez kaplama olarak bilinir (Özçanak, 2008: 2-3).

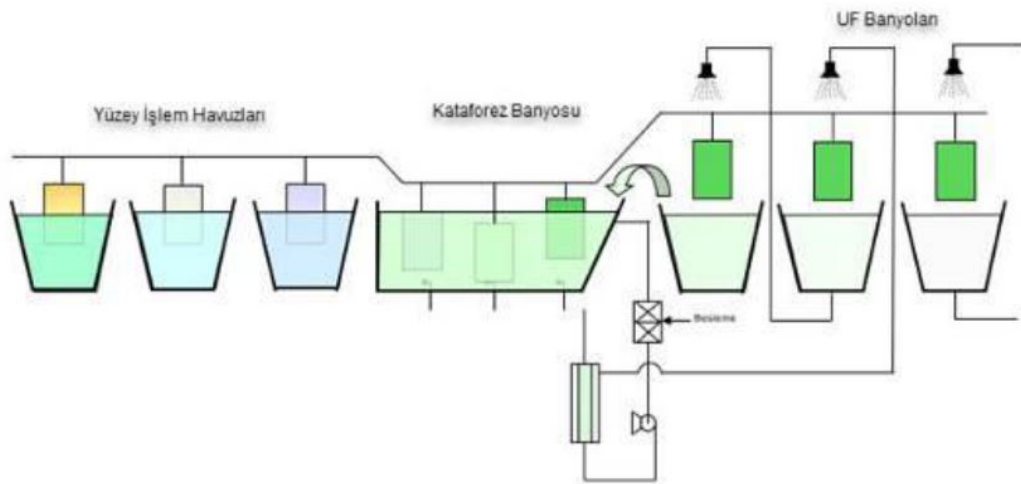
Hem anodik hem de katodik elektro kaplama süreçleri Şekil 4.6’da görülmektedir.



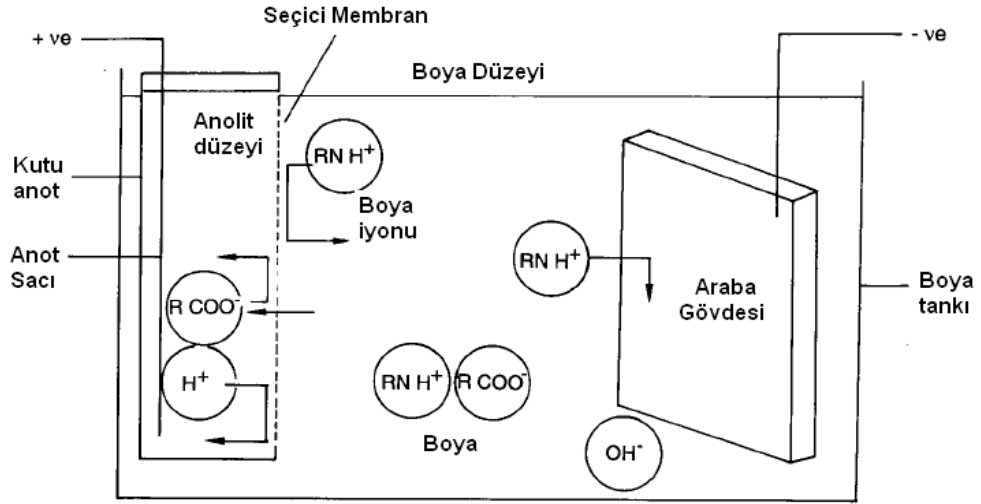
Şekil 4.6. Elektro Kaplama Uygulamaları (Özçanak, 2008: 3).

#### Kataborez Banyosu ve Mekanizmaları:

Şekil 4.7’de kataborez kaplama prosesi gösterilmiştir. Kaplama esnasında oluşan reaksiyonlar ise Şekil 4.8’de verilmiştir (Özden, 2020: 40).

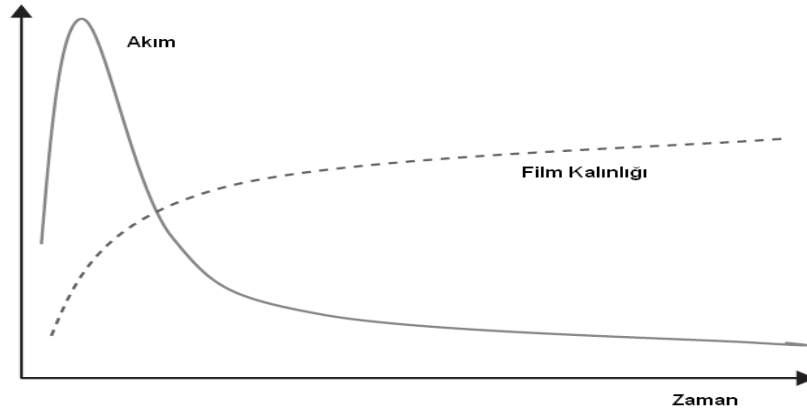


Şekil 4.7. Kataborez kaplama prosesi (Özden, 2020: 40).



Şekil 4.8. Katarforez kaplama banyosunda gerçekleşen reaksiyonlar (Kılınç, 2019: 21).

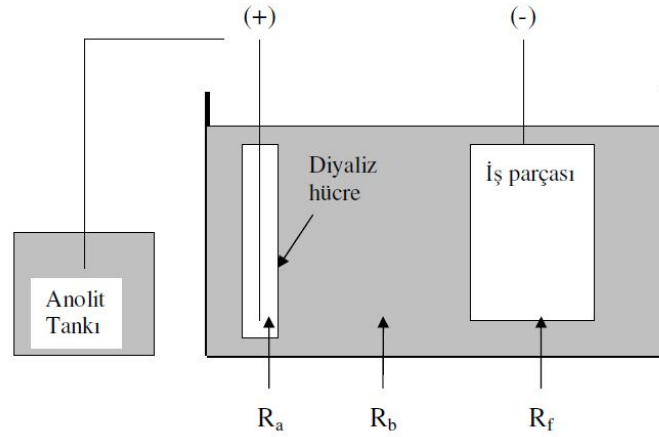
Malzemenin kaplanması için kaplama banyosuna verilecek voltaj, elektrot alanı, elektrot mesafesi ve akım yoğunluğu ile belirlenir. Belli bir seviyeye geldikten sonra akım azalır. Oluşan grafik Şekil 4.9’da gösterilmektedir (Kılınç, 2019: 21).



Şekil 4.9. Katarforez kaplama denemelerinde akım – zaman eğrileri (Kılınç, 2019: 24).

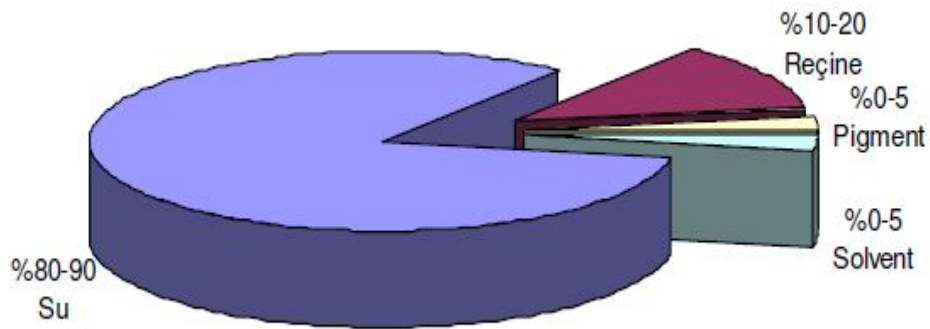
Banyoya verilen voltaj boyunca katarforez prosesindeki boya kimyasallarının dispersiyon parçacıklarının, elektriksel çekim kuvvetleri kuvveti ve sürtünme kuvvetiyle etkileşime girerek, yaklaşık olarak  $10^{-4}$  ve  $10^{-5}$  m/sn sabit hızlarda difüzyonu sonucunda yüzeydeki elektriksel alanda, yüklerine göre göç ederler. Bu etki kaplanacak malzemeyi yaklaşık bir dakikalık sürede 20  $\mu$ m film kalınlığına ulaştırabilir (Kılınç, 2019: 24).

Kataforez kaplama süresince kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi için kaplama güç ünitesinde oluşan elektrik alanın parçaya etki etmesi gerekmektedir. Anot ile katot arasında elektriksel köprü kurulurken üç direnç ile karşılaşmaktadır. Bu dirençler anolit direnci ( $R_a$ ), boya direnci ( $R_b$ ) ve yüzeye kaplama yapılırken oluşan film direnci ( $R_f$ ) olarak adlandırılır. Şematik olarak Şekil 4.10’da gösterilmiştir (Özçanak, 2008: 8).



Şekil 4.10. Elektriksel köprünün oluşturulmasında karşılaşılan dirençler (Özçanak, 2008: 8).

Kataforez prosesindeki kimyasalların yüzdelik dilimleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kataforez banyosu içerisindeki kimyasallar (Özçanak, 2008: 4).

Sistemin % 80 – 90 gibi büyük bir çoğunluğu çözelti için gerekli olan sudan oluşmaktadır. Geri kalanında % 10 – 20 arasında reçine, % 0 – 5 arasında pigment pasta ve % 0 – 5 arasında da solventler ve katkı maddeleri vardır (Özçanak, 2008: 4).

Reçine, kataforez kaplama banyosu kimyasallarının arasında çok önemli bir rol oynar.. Nihai üründe kaplamadan beklenen korozyon dayanımı, UV dayanımı gibi özellikleri parçaya vermiş olurlar. Bu kimyasallar, nihai üründen beklenen kalite, maliyet ve çevre gibi özellikleri sağlamak için boya üreticileri çeşitli düzenlemeler oluşturarak, belirli derecelerde katkıda bulunur. Genellikle üç çeşitte kullanılırlar. Bunlar akrilik, epoksi ya da her ikisinin özelliklerini taşıyanlardır. Epoksi polimerlerin tercih edilme nedenleri korozyon ve kimyasal dayanımlarının yüksek olması, akrilik polimerleri ise UV dayanımlarının ve renk kontrolü özelliklerinin iyi olması tercih edilme sebepleridir. Her ikisi olan boyalar da bu özelliklerin hepsini taşımaktadır (Özçanak, 2008: 5).

Kataforez kaplamada kullanılan kimyasallar temel olarak 5 tanedir. Bunlar; özel reçineler, kaplamaya renk veren pigmentler, pigment pasta, dolgular ve su-solvent karışımından oluşan kimyasallardır. Bütün hepsinin proseste görevleri birbirinden farklıdır. Boyaya parlaklık, korozyon dayanımı ve tabii ki renk veren pigment pastalardır. Dolgular, reaksiyonları hızlandırır ve doldurucu gücü artırır. Organik ve inorganik pigmentlerin her ikisi de kataforez boyaya uyumlu bir şekilde kullanılabilir. Bu pigmentlerin başında  $TiO_2$  ve karbon siyahı denilen pigmentler gelmektedir. Dolgular, silikat bileşikleri ve farklı inorganiklerden oluşurlar. Silikatlar kullanıldıklarında yüzeyde düzgün görünüş olur (Özçanak, 2008: 5).

Kataforez kaplama prosesinde boya banyosunda kullanılan kimyasallardan solvent olarak ise saf su, bütül glikol ve fenoksipropanol bulunur. Bütül glikol banyoya pigment pastandan gelirken fenoksipropanol ise banyoya reçineden gelmektedir. Reaksiyonlar ve kaplama sonucu buharlaşma sonucu banyodan uzaklaşan solvent su, banyoya besleme yolu ile ilave edilerek eksiklik tamamlanır (Özçanak, 2008: 4-5).

Proseste kullanılan diğer kimyasallara karşılaştırıldığında katılım yüzdesi olarak çok düşük olan solventlerin aslında kaplama için çok önemli işlevleri vardır. Bütül glikol, kaplamanın parçaya etkili bir şekilde nüfuz etmesini ve yüksek film oluşmasını sağlar. Diğer yandan reçine ile pigment pastanın kimyasal çözeltisi içinde iyice karışmasına yardımcı olur. Kaplama banyosunda reçineden eklenen fenoksi, özel bir katkı maddesidir. Çözelti içerisindeki etkisi ve çözünürlüğü bütül glikol kadar kuvvetli olmasada fenoksi, boya filminin yapısına katılarak reaksiyon oluşturur ve boyanın yüzeye düzgün yayılımını sağlayarak pürüzsüz film görünümünü oluşturur. Normal film ve fenoksinin etkili olduğu boya film görünümü Şekil 4.12’de verilmiştir (Özçanak, 2008: 5).



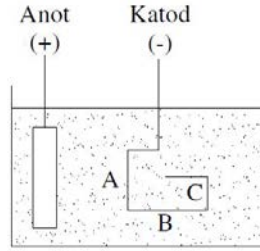
Şekil 4.12. Fenoksi katkılı boya filmi görünümü (Özçanak, 2008: 5).

Fenoksinin suda çözünürlüğü az olduğu için banyoya temiz UF tankından veya reçine/emülsiyon pompasından çok yavaş pompalanarak sisteme verilir (Özçanak, 2008: 6).

#### **Kataforez Kaplama Etkinliğine Etki Eden Parametreler:**

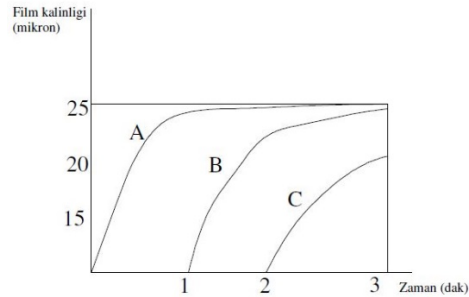
- Nüfuz etme (Penetrasyon)
- Katı, kül ve P/B Oranları,
- pH Etkisi,
- İletkenlik Faktörü,
- Sıcaklık.

Kaplanacak malzemenin yüzeyi kaplanırken ilk önce dış kısımlarda kaplama başlar. Şekil 4.13’de A yüzeyi hücreye en yakın konumda olduğu için ilk o etkilenir. Daha sonrasında B yüzeyi ve en son C yüzeyi kaplama alır (Özçanak, 2008: 13).



Şekil 4.13. Parça yüzeylerinin anot hücrelerine göre konumu (Özçanak, 2008: 13).

Kaplanacak yüzeylerin zamana göre film kalınlıkları Şekil 4.14’de gösterilmiştir. C bölgesinin kalınlığı kaplamanın zamanını uzatırsak yükselebilir. Bu parçada önemli olan şey A bölgesinin film kalınlığının çok artmaması gerekir (Özçanak, 2008: 13).



Şekil 4.14. Film kalınlıklarının zamanla değişimi (Özçanak, 2008: 13).

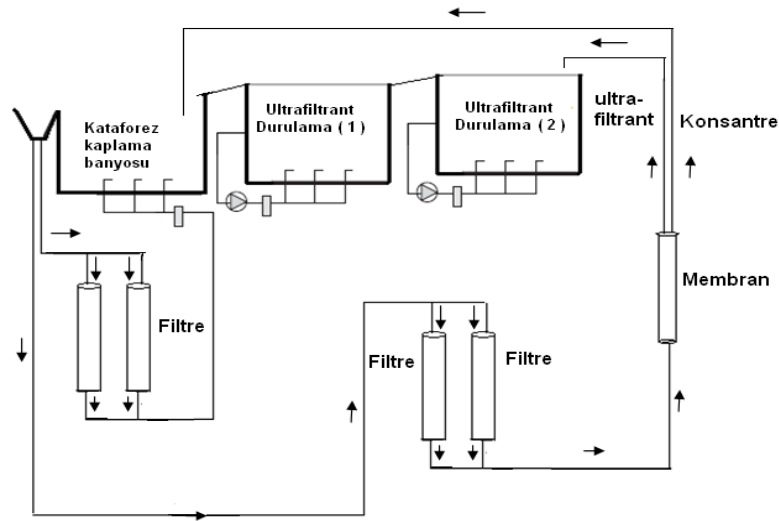
Kaplama banyosunda, kaplama yapılırken banyonun içinde kimyasallar eksilmektedir. Kaplamanın etkin bir şekilde devam etmesi için eksilen kimyasalların sisteme geri verilmesi gerekir. Banyodaki pigment ve reçine arasında belirli bir P/B oranı vardır (Özçanak, 2008: 16-17).

Ortamın pH değeri boyadaki asit ve bazın dengesidir. Katarforez kaplama banyosunun pH değeri aralığı 5.7 ile 6.0 arasında olmalıdır. pH değeri yükseldiğinde reçinenin çözünürlüğü azalır ve bu durum emülsiyonu bozarak filtrelerde ve membranlarda birikmeye sebebiyet verir (Özçanak, 2008: 17).

Kaplama banyosundaki iletkenlik akım geçirme etkinliğini göstermektedir. Kaplama kalınlığına doğrudan etki eden bir faktördür. Sürekli çalışan bir banyoda ortaya çıkan tuzlar, solventler ve asitlerin etkisiyle heo yükselme eğilimindedir. Sistemden asit iyonlarını uzaklaştırarak ve UF atılmasıyla istenilen seviyelere getirilebilir (Özçanak, 2008: 17).

#### Ultrafiltrasyon Banyosu:

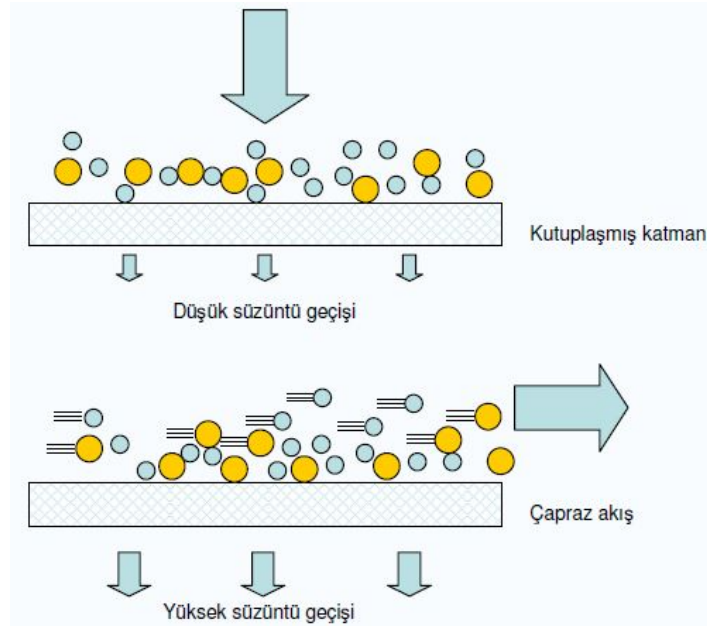
Ultrafiltrasyon banyosu, katarforez kaplama prosesinin bütünleyici bir parçası olup sıklıkla kullanılan kaplama boyasıyla diğer fazlalık kimyasalları filtre ederek ayırma yapan bir proses aşamasıdır. Katarforez kaplamada; solventler, su, elektrolitler ve resinlerin düşük moleküler kısmı gibi banyo içerisinde fazladan olan maddeler membranlardan geçerek boyadan ayrılırlar. Bu yapıya ultrafiltrant veya permeate denir. Bu sayede kaplama boyası ve ultrafiltrant birbirinden ayrılmış olur. Çalışma prensibi Şekil 4.15’de şematik olarak verilmiştir (Kılınç, 2019: 25).



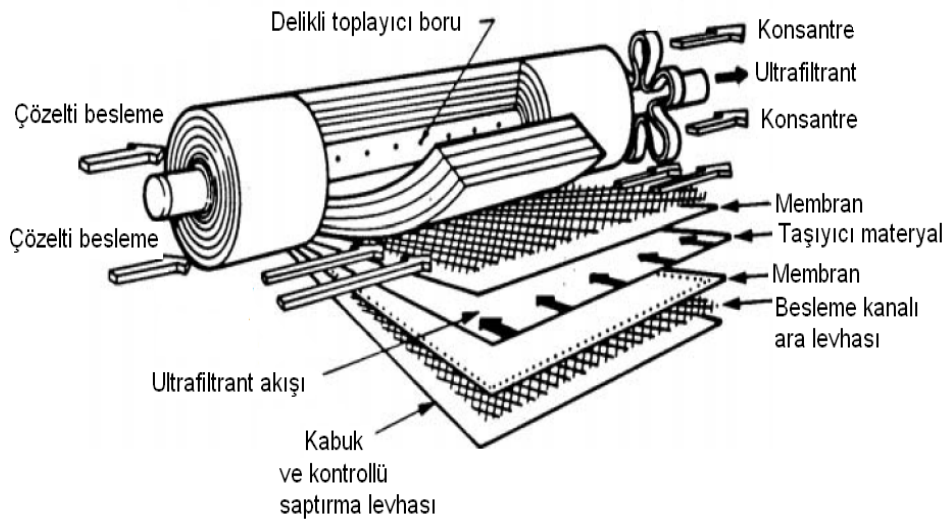
Şekil 4.15. Kaplama prosesindeki ultrafiltrasyon sistemi (Kılınç, 2019: 25).

Kataforez kaplama aktif haldeyken ultrafiltrasyon durulama banyosunun katı miktarı sürekli artmaktadır. Çünkü parça üzerinde tutulamamış boya, ultrafiltrat durulama banyolarına taşınmaktadır. Kullanılan boyanın %100 verimli olması için, birinci ultrafiltrasyon durulama banyosundaki katı miktarının %1–2, ikinci ultrafiltrasyon durulama banyosundaki yüzde katı miktarının ise %0,5–1,0 arasında tutulması gerekir (Kılınç, 2019: 25).

Ultrafiltrasyon banyosunda kullanılan membran sisteminin yüzeyindeki akış Şekil 4.16’te, bu membrab sisteminin işleyişi ise Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Membrandaki akış sistemi (Özçanak, 2008: 61).

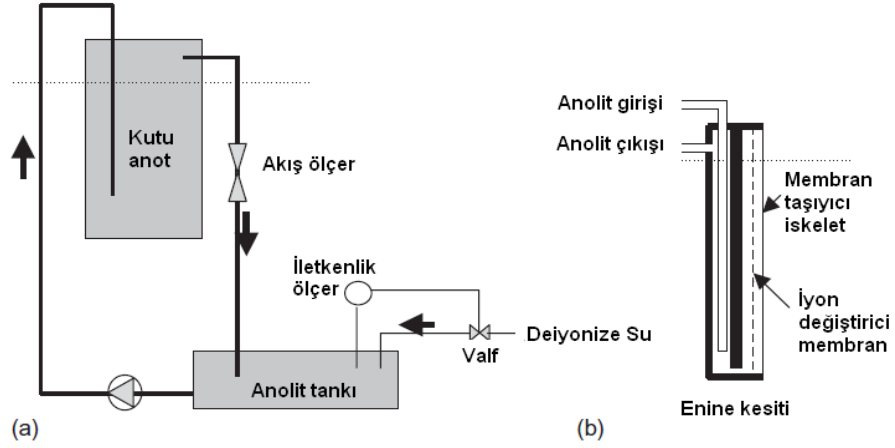


Şekil 4.17. Ultrafiltrasyon işleminde kullanılan membranın işleyişi (Kılınç, 2019: 26).

### Anot Sistemi:

Kaplama banyosunda fazladan bulunan asidi ortamdan uzaklaştırmak amacıyla anot hücrelerine ihtiyaç vardır. Anolit tankı, plastik kutu, kutunun içinde de paslanmaz çelik ve plastik kutuyu saran anyon değiştirici membrandan meydana gelir. Anot sistemindeki membranın görevi, kaplama prosesi devam ettiği sürece hücreye asit geçmesine izin vermektir. Hücreye giren asit bir daha anolit tankına geri dönemez (Kılınç, 2019: 27).

Anot hücreesindeki sac, DIN standartlarına göre 1-4404,1-4429 veya 1-4439 gibi klor iyonuna dayanıklı yüksek derecede paslanmaz çelik alaşım olmalıdır. Sistemden geçen akıma bağlı olarak ömrü değişmektedir. Şekil 4.18’de söz konusu devre gösterilmektedir (Kılınç, 2019: 27).



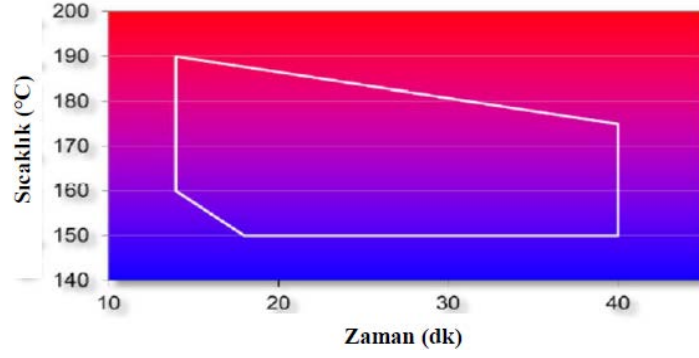
Şekil 4.18. (a) Anolit Devresi (b) Kutu Anot (Kılınç, 2019: 28).

Anolit tankında bulunan sıvının iletkenliği de kaplamaya etki eden faktörlerdendir. İletkenlik değeri 700 ile 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir (Kılınç, 2019: ).

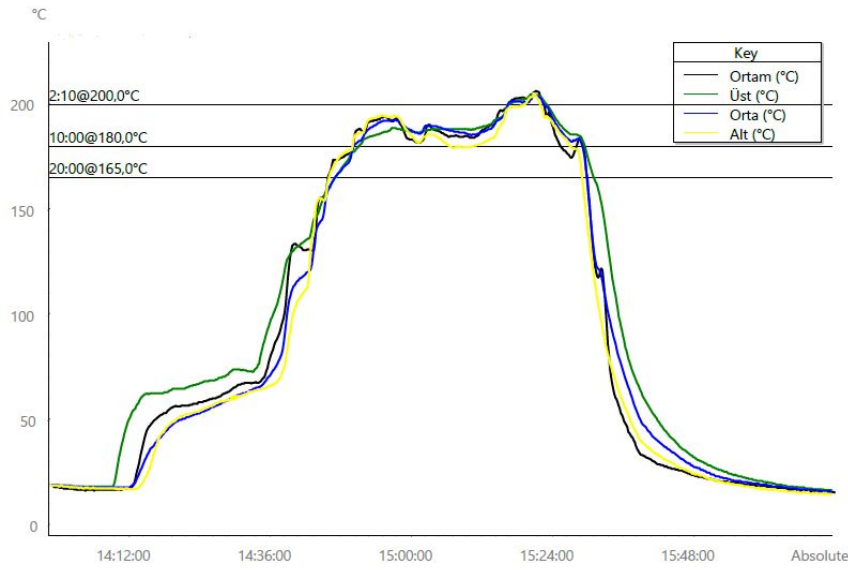
### 4.2.2.3. Kürlenme prosesi

Kataforez kaplanmış parçaların kaplama sistemindeki son aşaması kürlenme prosesidir. Pişirme fırınında sıcaklığın etkisiyle kataforez boyası parça yüzeyine iyice tutunur ve böyle kaplama prosesi tamamlanır (Kılınç, 2019: 29-31).

Pişirme fırını, kürlenme işlemine giren parçayı, belirli bir sürede azami enerji harcayarak ısı transferini verimli bir şekilde sağlanması amacıyla yapılır. Ancak parçaların askıdaki konumları pişirme süresine etki eden faktörlerdendir. Teorik anlamda malzemenin kürlenme diyagramı Şekil 4.19’da gösterilmiş olup gerçek anlamdaki termograf grafiği Şekil 4.20’de gösterilmiştir (Kılınç, 2019: 29-31).



Şekil 4.19. Kataforez kaplamanın teorik kürlenme diyagramı (Kılınç, 2019: 30).



Şekil 4.20. Gerçekte ölçümü alınmış pişirme fırınının termograf diyagramı.

Teorik olarak beklenen sonuçların pratikte olabilmesi için, teorideki kürlenme penceresi içerisinde kalacak şekilde fırın hızı ve sıcaklık değeri ayarlanmalıdır. Daha sonrasında bunu garantiye almak amacıyla pişirme fırınına termograf kontrolü yapılmalıdır. Parça, 150 – 165 °C'nin üzerinde minimum 20 dakika kaldığında kataforez boyası parça üzerine tutunarak son aşama gerçekleştirilmiş olur (Kılınç, 2019: 30).

### 4.3. Çinko lamelli kaplama

#### 4.3.1. Çinko lamelli kaplama tarihi ve tanımı

Korozyona karşı dirençli olan metalik kaplamalardan çinko kaplama, çok uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Söz konusu olan çinko kaplamaların içeriğine alüminyum elementi de eklenmiştir. Böylece çinko lamelli kaplamaların temelleri atılmıştır (Sugimaru, 2007: 96).

Çinko lamelli kaplamalar, 1970'lerde Amerika Birleşik Devletleri'nde yeni bir kaplama sistemi olarak geliştirilmiştir olup yavaş yavaş çeşitli sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Genel anlamda 4-12 µm kalınlığındaki ince kaplama kalınlığı sayesinde, lamelli kaplamaların çinko kaplamalara göre daha yüksek düzeyde bir korozyon koruması sağladığı görülmüştür (Vu, 2012: 41).

Metal ile temas eden havanın kirliliği ve ortamın içerdiği maddeler, korozyona karşı büyük etkenlerdir. Hava ne kadar temiz olursa çalışma ortamından kaynaklanabilecek korozyon azdır. Ancak petrol, kimya ve elektrokimya endüstrilerindeki gelişmeler özellikle atmosferik kirliliği artıran durumlardır. Bu tarz koşullarda iyi performans özelliği gösterdikleri için Zn, Al ya da alaşımları, metaller için koruyucu kaplama olarak kullanılmaktadır. Çinko lamelli kaplama, kaplandığı malzeme için gerekli olan mukavemeti ve korozyon dayanımını sağlayarak üstün bir kombinasyon oluşturmaktadır (Kılınç, 2019: 31-38).

Proseste, ısınmada etkisiyle lameller arası ve lameller ile yüzey arasında bir bağ oluşturulmaktadır. Oluşan bu bağlar katodik koruma sağlayarak korozyon direnci sağlarlar.

Çinko lamelli kaplamaların bir diğer çok önemli özelliği ise kaplama esnasında hidrojen üretilmemesidir. Herhangi bir hidrojen oluşmadığı için, elektro kaplama işlemlerine bir alternatif olarak kritik uygulamalar için kullanılmıştır (Vu, 2012: 41). Hazırlık işlemlerinde alkali temizleyiciler ve mekanik temizleyiciler kullanılması esnasında da hidrojen gazı oluşturmaz.

Metalik veya organik kaplamaların, örneğin çinko lamelli kaplamanın, kaplanmış metal üzerinde hem darbeler hem de çiziklere karşı direnci de oldukça fazladır. Yüzey üzerinde oluşan yerel hatalara karşı iyileştirme özellikleri sebebiyle ham parça ve oksijen arasında katman oluşturarak korozyona karşı da direnç sağlar (Sugimaru, 2016: 398-409).

Günümüz sanayi endüstrisinde sürtünmeye, darbeye, kimyasal bir ortama, korozyona maruz kalan parçalardan somun, civata, bağlantı braketleri, denge milleri, kapı menteşeleri, fren diskleri, debriyaj balata sistemleri gibi birçok malzemede yaygın olarak kullanılan kaplama prosesidir. Bu kaplama tipleri, inorganik olarak bağlanan, içinde çinko ve alüminyum karışımlarından oluşan kaplama türleri ve diğer parçalar için tercih edilen kaplamalar haline gelmiştir. Çünkü diğer kaplamalara göre çeşitli avantajlar sunarlar. Bu avantajlar;

- Yüksek korozyon direnci
- Görünüm uygunluğu
- Çevreci olması

- Sürtünme karakteristiklerine uygun olması
- Kimyasal direnci
- Yüksek sıcaklık direnci
- Düşük elektrik iletkenliği olarak sıralanabilir.
- Hidrojen gaz çıkışı olmaması

Kaplama kalınlıkları ise 5 ile 15 µm arasındadır. İstenildiği takdirde üst üste kaplama yapılabilme imkanı vardır. Yine gerekesinin olduğunda mikronları yükseltilebilir. Dışlı parçaları kaplanırken, ISO 965 standartında tanımlanan toleranslara uyulmalıdır, böylece sürtünme katsayısı uygun bir şekilde ayarlanabilir (Ulubayrak, 2020: 16-17).

İstenilen özelliklere göre üst kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Bu özellikler kullanım yerlerine göre sürtünme katsayısı, kimyasal direnci, korozyon direnci ve renk türü olup kaplamalar çeşitlendirilebilir. Kaplama prosesleri de su ve solvent bazlı olarak iki ayrı türde hazırlanmaktadır (Ulubayrak, 2020: 16-17).

Üst kaplama, mikro yapı olarak yüksek oranda kenetlenme özelliğine sahip son kat bir kaplama çeşididir. Çinko lamelli kaplamalara son kat olarak kullanılmaktadır. Prosese göre standart bir kaplama ve prosese uygun bir fırınlama işleminin ardından, yüksek yapışma mukavemeti, yüksek kimyasal direnç sağlayan, ince, pürüzsüz ve 24-36 g/m<sup>2</sup> aralığında bir kaplama ağırlıklarına sahip bir tabaka oluşur (Ulubayrak, 2020: 19).

			Yağlama
	Yağlama	Üst Kaplama	Üst Kaplama
Baz Kat	Baz Kat	Baz Kat	Baz Kat
Ham Metal	Ham Metal	Ham Metal	Ham Metal
1	2	3	4

Şekil 4.21. Çinko Lamelli Kaplama Prosesleri.

Çinko lamelli kaplamalardaki üst kat kaplamanın tek başına katodik koruma özelliği olmadığından metalin korozyona karşı dirençli olması için metal yüzeylere ön kaplama işlemi yapılmalıdır. Kaplamanın zarar gördüğü durumlarda metal yüzeyinde de korozyon zafiyeti

olacaktır. Galvanik çinko kaplanmış yüzeyler üzerine uygulanan üst kat kaplamalar çok iyi koruma sağlar (Ulubayrak, 2020: 19).

Çinko lamelli kaplamalar, son kat olarak kullanılacaksa özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

- Hem alkali hem de asidik kimyasallara karşı yüksek direnç,
- Sürtünme katsayısını azaltmak, çoğaltmak ve eşit düzeyde tutmak,
- Renklendirme,
- Kontak paslanmayı önlemek (Kılınç, 2019: 34).

#### 4.3.2. Çinko lamelli kaplamaların fiziksel özellikleri ve fırınlanması

Çinko lamelli kaplama, kaplandığı metal parçaların fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkilememektedir. Aksine dayanıklılık ve sürtünme katsayısını azaltmak gibi avantajlı ve işlevsel olabilmektedir.

Fırın içerisindeki kürlenme sıcaklığı ise yaklaşık 320 °C'dir. Su verme ve temperleme ısı işlemine tabi tutulmuş bağlantı elemanlarında kürlenme sıcaklığı, temperleme sıcaklığının üzerinde olmamalıdır (Kılınç, 2019: 34).

#### 4.3.3. Çinko lamelli kaplama iş akışı

Çinko lamelli kaplamanın standart iş akışı şeması aşağıda Tablo 4.2'de verilmiştir (Geomet 321/500, 2017: 42).

Tablo 4.2. Çinko lamelli kaplama proses aşamaları (Geomet 321/500, 2017: 42).

Yüzey Hazırlama Prosesi	Yağ Alma
	Durulama
	Kurutma
	Kumlama
Çinko Lamelli Kaplama - Kürlenme Prosesi	Çinko Lamelli Kaplama
	Ön Kurutma
	Kürlenme
	Soğutma
	Üst Kat Kaplama

#### 4.3.3.1. Yüzey hazırlama süreci

Yüzey hazırlama sürecinin birbirini takip eden dört aşaması vardır. Bunlar;

- Yağ alma
- Durulama
- Kurutma
- Kumlama

Yağ alma işlemi, kaplanacak metal parçaların üzerinde kaplamadan önce oluşan yağı ve kiri parça üzerinden ayırmak amaçlı yapılan bir uygulamadır. Genellikle yağ alma banyoları kurulurken alkali temizleme kimyasalları ile kurulduğu için banyolar asidik değildir. Kimyasalların içeriği silikat ve fosfattan oluşmaktadır. Yağ alma kimyasallarının amacı parça yüzeyindeki kaplamaya etki edecek maddeleri emülsiyon ya da çözünme yoluyla bertaraf ederek yüzeyi kaplamaya hazır hale getirmektedir (Geomet 321/500, 2017: 42).

Durulama işlemi, yağ alma işlemi yapıldıktan sonra kaplanacak malzemede fazlalık olan duran kimyasalları ve diğer istenmeyen yabancı maddeleri uzaklaştırılır. Çinko lamelli kaplama banyosuna girmeden önce parçalar, iyi bir şekilde durulama işlemine tabi tutulmalıdır. Çünkü lamelli kaplama banyosuna giren herhangi bir alkali kimyasal banyolarda bozulmaya yol açabileceğinden yabancı maddelerden arındırmak önemli bir rol oynar (Geomet 321/500, 2017: 43).

Durulama işlemi sonrası ve kaplama öncesinde parçalara, kumlama işlemi ve kurutma işlemi yapılması gereklidir. Parça yüzeyinde herhangi bir sıvı veya alkali kalıntısının olmaması gerekmektedir. Eğer yabancı bir madde kaplama banyosuyla temas ederse boyanın derişimini değiştirerek bozunmasına sebep olabilir. Kurutma işlemi yapıldıktan sonra parçalar uygun kasalarla kumlama işlemi sürecine sokulur (Geomet 321/500, 2017: 43).

Kumlama işlemi, alkali yağ alma prosesine nazaran parçalara uygulanan mekanik bir yöntemdir. Parça yüzeyindeki tüm kimyasalları, metal çapaklarını, yoğun kirlilikleri, daha öncesinde oluşmuş pasları yüzeyden uzaklaştırarak parçanın çinko lamelli kaplama prosesine uygun bir hale gelmesini sağlar. Kumlama işleminde geometrisi farklı ve karmaşık tüm parçaların temizlenmesi mümkündür. Kumlama işleminden önce parçada ıslak bir bölge kalmaması gerekmektedir. Kaldığı taktirde metal yüzeyi o alanda birikir ve uygun bir şekilde işlem tamamlanmış olmaz (Geomet 321/500, 2017: 43).

#### 4.3.3.2. Çinko lamelli kaplama süreci

Çinko lamelli kaplama, ön hazırlık işlemlerinden sonra n kurutma kürlenme soğutma ve son kat kaplama olmak üzere takip eden bir proses aşamalarıdır.

Kaplama yapılmadan önce dikkat edilmesi ve uygun halde olması gereken durumlar mevcuttur. Uygulama yapmadan önce sıcaklık, viskozite ve karıştırma süresi gibi parametreler önemlidir. Kaplamanın kimyasalları sıvı haldedir ve uygulama yapmadan önce üzücü veya su bazlı olarak hazırlanmaları gerekir. Bu proses birbirinden farklı olarak 3 çeşitte teknik ile yapılabilir (Geomet 321/500, 2017: 55).

Bunlar;

**Püskürtme yöntemi:** Püskürtme tabancası ile parçaların yüzeyine uygun kimyasalları püskürterek uygulanır. Yöntem, adından da anlaşılacağı gibi bağımsız tam otomatik bir sistem ile veya el ile manuel olarak uygulanabilir. Bu işlem, normal boyut ve ağırlıktan daha büyük ve daha ağır olan malzemeler için kullanılır. İşlem sonrasında malzemeler, tek tek fırında kürlenme prosesine tabi tutulmaktadır (Geomet 321/500, 2017: 55).

**Dökme ve daldırma yöntemi:** Kaplama prosesi, önceden boya tankı içinde hazırlanmış kimyasalların içinde sepete yüklenmiş parçaların daldırılmasıyla gerçekleşir. Daha sonrasında kaplama banyosundan çıkarılmış sepet, malzemelerdeki kalıntıları gidermek amacıyla kendi eksenini etrafında döndürülmesi ile proses tamamlanmış olur. Bu işlem, genelde tambur parçaları denilen standart normal parçalara kıyasla daha küçük boyutlu ve yüksek hacimli dökme parçaları için uygulanır. Parçalar, kaplama işlemi sonrasında son aşama olan kürlenme işlemine tabi tutulurlar (Geomet 321/500, 2017: 80).



şekil 4.22. Çinko lamelli kaplama prosesi.

**Askılama ve daldırma yöntemi:** Bu yöntemde parçalar, sepet içinde bulunan her parça boyutlarına ve geometrisine göre özel olarak yapılmış kancalara asılıp sabitlenerek kaplanır. Daha önceden tank içinde hazırlanmış kimyasal içine parçaların asılmış olduğu sepetin daldırılmasıyla işlem yapılmaktadır. Dökme ve daldırma yönteminde olduğu gibi malzemeleri koyduğumuz sepetin belli bir hızda döndürülmesiyle yapılır. Bu yöntem özellikler açısından hassas olan yani açısal, ölçüsel malzemelerde kullanılmamaktadır. Daha sonra parçalar, son aşama olan kürlenme işlemine girerek proses sonlandırılmış olur (Geomet 321/500, 2017: 80).



Şekil 4.23. Parçaların kendi etrafında döndürülme işlemi.

Çinko lamelli kaplama yapılmış olan malzemeler, sepet ile kaplanmış olanlar sepet ile birlikte, dökme sisteminde kaplanmış olanlar ise konveyör üzerine dökülerek ön kurutma işlemine alınmaktadır. Daha sonra yaklaşık 6 ile 10 dakika 60-100°C arasında ön kurutma işleminden geçmektedir. Bunun yapılmasının sebebi malzemelerin üzerinde bulunan ilk uçucu kimyasalları uzaklaştırmaktır. Parçalar, yüksek sıcaklıklardaki ısı işlemlere uğramadan ön kurutma işlemine tabi tutulurlar. Bu şekilde hem kaplama kalitelerinde hem de görünümde yüksek kaliteye ulaşılmış olur (Geomet 321/500, 2017: 88).

Tüm bu işlemlerden sonra malzemeler, ön kurutma işleminden sonra konveyör bant ile fırına kürlenme işlemi için gönderilmiş olur. Kürlenme işlemi 300-350°C’de parçasına göre 10-15 dakika sürmektedir. Kürlenme işleminden sonra ise soğutma bölümüne gelerek ortam koşullarında soğutulurlar (Geomet 321/500, 2017: 88).

### **4.3.3.3. Üst kat kaplama prosesi**

Bu proses, baz kat kaplama prosesiyle aynıdır. İkisini birbirinden ayıran tek fark kullanılan kimyasallar ve korozyon dayanımlarıdır (Geomet 321/500, 2017: 110).

Proseste kaplanan parçanın kullanılacağı yere göre soğuma işlemi yapıldıktan sonra uygulanır. Çözücü ve su bazlı bir şekilde hazırlanan kimyasallar hazır hale getirilir. Proses, püskürtme, dip-spin, askılı ip-spin, dip-drain gibi yöntemleri olan çinko lamelli kaplama ile aynı şekilde uygulanmaktadır (Geomet 321/500, 2017: 110).

Proseslerin en sonunda boyanın parçalara iyice yapışmasını sağlayan kürlenme işlemi yapılmaktadır. Üst kat kaplama işleminden sonra parçalar kürlenme için fırına konveyör bant ile alınırlar. Üst kat kaplama için pişirme fırınındaki kürlenme 180°C ile 200°C arasında 15 ile 30 dakika arasındadır (Geomet 321/500, 2017: 110).

## **4.4. Toz boya kaplama**

### **4.4.1. Toz boya uygulamasının başlangıç evreleri**

1966 yılında ABD'nin Los Angeles şehrinde çeşitli endüstrilerde yaygın halde kullanılan boya türünün çevresel ve ekolojik yönünü baz alan bir yasa yürürlüğe giren ilk yasa olma özelliğini taşımaktadır. Zaman geçtikçe boya türünün ekolojik dengesi hakkında çıkan kanunların sayısında artış yaşanmıştır.

1950 yıllarında toz boya kaplaması ile ilgili ilk çalışma ve denemeler yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışma, toz halindeki polietilen kimyasalının akışkan bir yatak içinde, uygulama öncesinde ısıtılmış metale uygulanmıştır. İlk adımların atılmasından sonra ABD'de toz boya türü popülerlik kazanmıştır. 1950'lili yılların sonunda Shell, yaptığı deneme ve çalışmalar sonucunda ilk termoset toz boya türünü ortaya çıkarmıştır. Aslında Shell geliştirdiği bu toz boya türünü kendi işinde kullandığı yeraltı petrol ve doğal gaz boru hattı borularını korumak amaçlı üretmiştir. Bu uygulama aynı zamanda organik bir kaplamadır. 1964 yılına gelindiğinde Avrupada epoksi boyanın ilk uygulamaları yapılmıştır. Aynı dönemlerde Fransa'da elektrostatik toz boya uygulaması geliştirilerek kullanılmaya başlandı. Ancak epoksi toz boya prosesi özellikle ultraviyole ışınlar karşısında duyarlılığı, 1970 yılında ilk polyester esaslı toz boya türünün ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir. 1971 yılında ise iki boyanın özelliklerini kapsayan büyük bir gelişmeyle ilk epoksi-polyester toz boya prosesi geliştirildi. Yine 1970 yılında Avrupa'da geliştirilen bir başka toz boya çeşidi olan akrilik toz boya sistemi, geliştirildiği Avrupa ülkelerinde fazla başarı sağlayamadı. Ancak Japonya'da önemli bir kullanım sağlayarak ciddi bir pazar payı elde etti (Lawrence, 1963: 4).

## 4.4.2. Elektrostatik toz boya tanımı ve çeşitleri

### 4.4.2.1. Elektrostatik toz boyanın tanımı

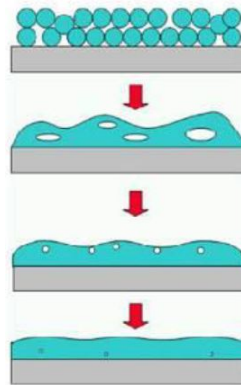
Bir çok metalik malzemede olduğu gibi alüminyum ve alüminyum alaşımlarında da korozyona karşı dayanımı artıran yöntemlerden biri olan lektrostatik toz boya prosesi kullanılmaktadır. Bu proseste, oluşturulan elektriksel çekim, kaplanacak malzeme üzerine gerekli kalınlıkta bir toz tabakası birikmesine yetecek uygunlukta olmalıdır. Böylece pişirme işlemi sonucunda malzeme üzerine yapışacak tozlar biriktirilmiş olur. Genellikle elektrostatik toz boyalar, korozyon dayanımının çok yüksek olması gereken parçalarda ve görselliğin ön planda olması gerektiği uygulamalarda kullanılmaktadır (Lawrence, 1963: 4).

Bu uygulama, müşterinin beklentileri doğrultusunda parçayı kullanacağı yere göre sınırsız renk skalasında ve yüksek mikron kaplama kalınlığı olduğu için de korozyona karşı yüksek bir koruma sağlayan çevre dostu bir kaplama türüdür (Lawrence, 1963: 4).

Toz boya uygulamasının çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır. Uygulama, iş güvenliği ve sağlığı açısından güvenilirdir. Tesis yatırım maliyetlerinin düşük olması, metal dışında farklı yüzeylere uygulanabilir olması, enerjiden tasarruf edilebilmesi gibi önemli avantajları vardır. Dezavantajı ise, ince film kaplaması olarak uygulanamamasıdır. 50 µm kaplama kalınlığı olmasını istediğimiz bir parçada 150 µm gibi yüksek bir kaplama kalınlığı görebiliriz

### 4.4.2.2. Elektrostatik toz boyanın çeşitleri

Toz boya işlemi, katı ve kuru bir formda parça üzerine yüksek verimlilikte kaplama filmi oluşturmaktadır. Yaş boya uygulamalarından daha verimli bir şekilde uygulanır. Elektrostatik toz boya kimyasalları, fırından çıkana kadar tam anlamıyla boya olarak değerlendirilemezler. Kurlenme işleminden önce toz boya taneleri toz halindedirler. Toz boya taneciklerinin film oluşum süreci Şekil 4.24'de gösterilmiştir (Özden, 2020: 46).



Şekil 4.24. Toz boya taneciklerinin boya filmi oluşturma süreci (Özden, 2020: 46).

Kaplanacak malzemenin diğer parçalarla uyumu veya müşterilerin talepleri doğrultusunda toz boyalar çeşitli renklerde uygulanabilmektedir. Uygulanabilen bazı renklerden oluşan renk skalası Şekil 4.25’de gösterildiği gibidir (Güngör, 2007: 7-15).



Şekil 4.25. Toz boya uygulamalarında kullanılan renkler (Güngör, 2007: 7-15).

Elektrostatik toz boya, termoplastikler ve termosetler olmak üzere endüstride iki tip olarak kullanılmaktadır. Seçilecek boya türü kullanıcının isteğine ve şartnamelere göre değişkenlik göstermektedir. Renk, film performansı, kalınlık ve kullanım yeri ve bölgesi gibi özelliklere bağlı olarak seçilir (Güngör, 2007: 7-15).

Devamlı olarak kullanılan toz boyaların %100’e yakın bir hacimlik kısmını termoset toz boyalar doldurmaktadır. Kürlenmiş halde filmlerinin yapısı çapraz bağlı olduğu için solventlere karşı dirençlidir. Termoset boyalara astar gerekmez. Değişik tipteki toz boyalar ve özellikleri Tablo 4.3’de gösterilmiştir (Güngör, 2007: 7-15).

Tablo 4.3. Termoset toz boya çeşitleri ve özellikleri (Guide to Powder Coating, 1999: 28).

Özellik	Epoksi	Akrilik	Polyester	Poliüretan
Havadan etkilenme	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel	İyi
Korozyon dayanımı	Mükemmel	İyi	Çok iyi	Çok iyi
Kimyasal dayanımı	Mükemmel	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
Sıcaklık dayanımı	Çok iyi	İyi	İyi	Çok iyi
Darbe dayanımı	Mükemmel	İyi	İyi	Çok iyi
Sertlik	HB-5H	HB-4H	HB-4H	HB-3H
Esneklik	Mükemmel	İyi	Çok iyi	Çok iyi
Yapışma	Mükemmel	İyi	Mükemmel	Çok iyi

**Epoksi toz boyalar:** Yapılış formülleri çeşitlenebildiğinde termoset toz boyalar içinde en önemlisi diyebiliriz. Epoksi toz boyalar, yüksek derecede parlaklık, yumuşak bir yüzey, mükemmel yapışma, kimyasallara ve çözücülere karşı dirençli olma gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca doğru bir şekilde formüle edildiklerinde aşınma, darbe, esneklik gibi mekanik özelliklerinin de çok iyidi olduğu görülmüştür (Guide to Powder Coating, 1999: 24).

Söz konusu kaplamanın en önemli dezavantajı ise belirli sıcaklığın üzerine çıkıldığında veya gün ışığına belli bir süre maruz kaldığında yüzeylerinde sararma olmasıdır. İklimlendirme testinde 200 saat geçtikten sonra epoksi toz boyanın yüzeyinin parlaklığı %7'ye düştüğü gözlemlenmiştir (Guide to Powder Coating, 1999: 24).

**Polyester toz boyalar:** Epoksi toz boyalar ile karşılaştırıldığında en büyük avantajı dış ortam koşullarına karşı dayanıklılıkları çok iyi derecededir. Ortamdaki ısıya ve uv ışığına karşı da dirençleri çok yüksektir. Ancak polyester toz boyaların, kimyasal dayanımı epoksilere göre daha düşüktür (Guide to Powder Coating, 1999: 25).

**Poliüretan toz boyalar:** Bu tip toz boyalar, hidroksi fonksiyonları içeren polyester bazlı reçinelerin izosiyanatlarla kürlenmesi sonucunda elde edilir. Poliüretan toz boyaların kimyasal ve fiziksel dayanımları yeterli seviyededir. İyi bir dış ortam dayanımları vardır. Bunların yanında çok kritik dezavantajları vardır. Üretimlerinde kullanılan izosiyanatların birkaç tanesi hariç toksik maddelerdir. Diğer dezavantajı kürlenme sırasında gaz çıkışı olmasıdır (Guide to Powder Coating, 1999: 25).

**Akrilik toz boyalar:** Dış ortamda kullanımları en uygun olan toz boya olmasına rağmen, beklenildiği kadar popüler bir boya haline gelememişlerdir. Mekanik özellikleri diğer toz boya türlerine göre geride kalmaktadır (Guide to Powder Coating, 1999: 28).

#### **4.4.3. Toz boya uygulaması öncesi yüzey hazırlama yöntemleri**

Bütün kaplamalarda olduğu gibi toz boya prosesini etkin bir şekilde uygulamak için yüzeylerin kirden ve yağdan arındırılmış olması gerekmektedir. Yüzey kirli olduğunda kaplama görüntüsünde bozukluk, kraterleşme ve tümsekler oluşabilir. Malzemenin yüzeyinde en çok bulunan kirlilikler yağ, pas, metal tozları gibi maddelerdir. Korozyondan korunma söz konusu olduğunda tek başına yüzey temizliği yeterli değildir. Kimyasal ön işlemler korozyona karşı daha etkili koruma sağlansın diye tercih edilmektedir (Arslan, 2000: 17-21).

#### **4.4.3.1. Temizleme / yağ alma**

Bu işlem, hem tek ön işlem olarak hem de kapsamlı bir işlemin parçası olarak kullanılabilir. Yöntem ve kimyasal, yüzeyden alınacak kirlerin ve kaplanacak yüzey malzemesinin cinsine göre seçilmelidir. Genellikle malzemeleri solventlerdir. En çok kullanılan solventler, trikloretilen ve perkloretilen kimyasallarıdır (Arslan, 2000: 17-21).

#### **4.4.3.2. Mekanik temizleme**

Hem kaynak izlerini, metal tozları vb. gibi kirlilikleri çıkarmak hem de kaplamanın yapışma etkinliğini artırmak için kullanılırlar. Aşındırıcı bu temizlemeyi yapmadan önce malzemenin üzerindeki yağ alınmalıdır. Bu temizlik işleminde parça, yüzeydeki pürüzlülük, kritik bölgeleri değerlendirmeye alınarak karar verilmelidir (Arslan, 2000: 17-21).

#### **4.4.3.3. Nano kaplama**

Daha öncede belirtildiği gibi toz boya gibi organik kaplamaların altına nano kaplama ve benzeri kaplamalar kaplanabilmektedir. Mikronları düşük olan kaplanan nano kaplamalar malzeme üzerine son kat olarak uygulanan toz boyanın tutuculuğunda çok önemli bir rol oynar.

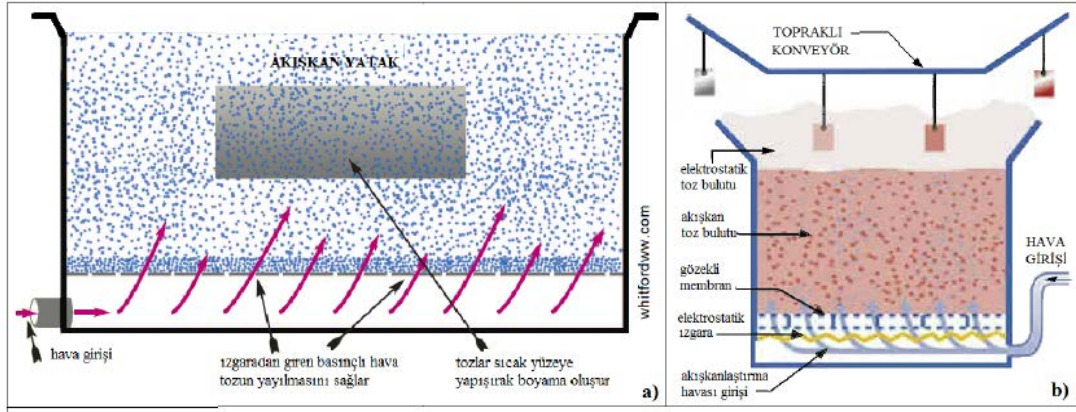
#### **4.4.4. Elektrostatik toz boyanın uygulama yöntemleri**

Temel olarak püskürtme yöntemi ve akışkan yatak yöntemi olmak üzere iki çeşitte yapılabilmektedir.

##### **4.4.4.1. Akışkan yatak yöntemiyle uygulama**

Bu yöntem, termoplastik toz boyaların yapılabilmesi için geliştirilmiştir. Günümüzde de hala en çok termoplastik toz boyalar için kullanılan bir yöntemdir. Termoset boyalarla kullanımı ise tek uygulamada çok yüksek mikron kaplama istenilen yerlerde. Bu yöntem kullanılarak termoset boyalarla tek seferde 250 – 300 µm elde edilebilmektedir (Arslan, 2000: 17-21).

Bu sistem, elektron kontrollü olarak hava üflenen, büyük delikleri olan esnek bir boya kazanından oluşmaktadır. Elektron kontrollü olarak üflenen hava, toz boyayı akışkan bir forma getirip sıvı gibi davranmasını sağlayarak kaplanacak olan parçayı düzgün bir kalınlıkta kaplama yapar. Kaplanacak malzeme kazana daldırılmadan önce ilgili toz boya erime sıcaklığına kadar ısıtılmalıdır. Akışkan yatak yöntemi, Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



Şekil 4.26. Akışkan yatak yöntemiyle toz boya (Guide to Powder Coating, 1999: 28).

#### 4.4.4.2. Püskürtme yöntemiyle uygulama

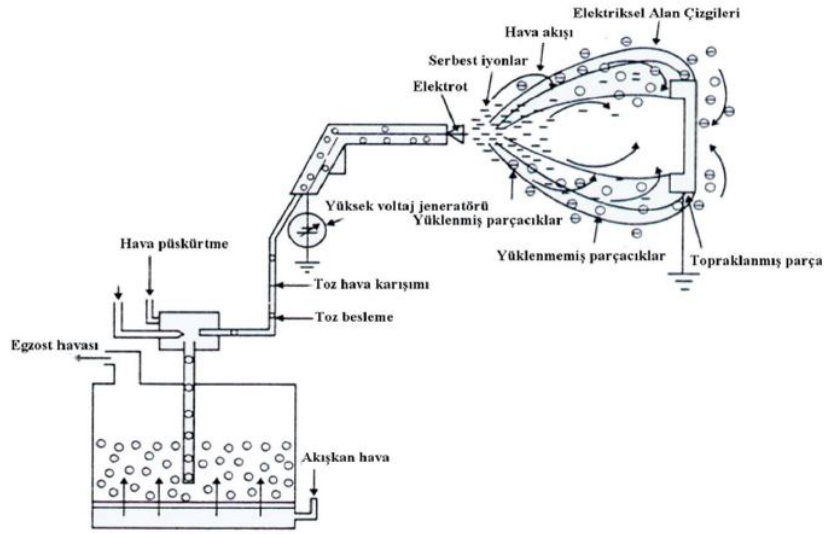
Püskürtme yöntemi, solvent kullanılmayan bir toz boya işlemidir. Boya deposunda hazırlanmış olan toz boya, emilerek hortumdan toz boya uygulama tabancasına taşınır. Elektrostatik püskürtme ekipmanları genellikle tabancadır. Püskürtülen negatif yüklü toz tanecikleri, pozitif yüklü topraklanmış parçayı sarar. Sonrasında fırınlama safhasına geçilir. Fırın ısısı toz boyanın erimesini ve malzemenin üzerine yapışmasını sağlar. Toz boyanın püskürtülmesi esnasından parçanın yüzeyine gelmeyen toz boya partikülleri geri dönüşüm sistemi ile tekrar kullanılmaktadır. Bu nedenle püskürtme toz boya uygulamasının verimliliği neredeyse %100'dür (Guide to Powder Coating, 1999: 31).



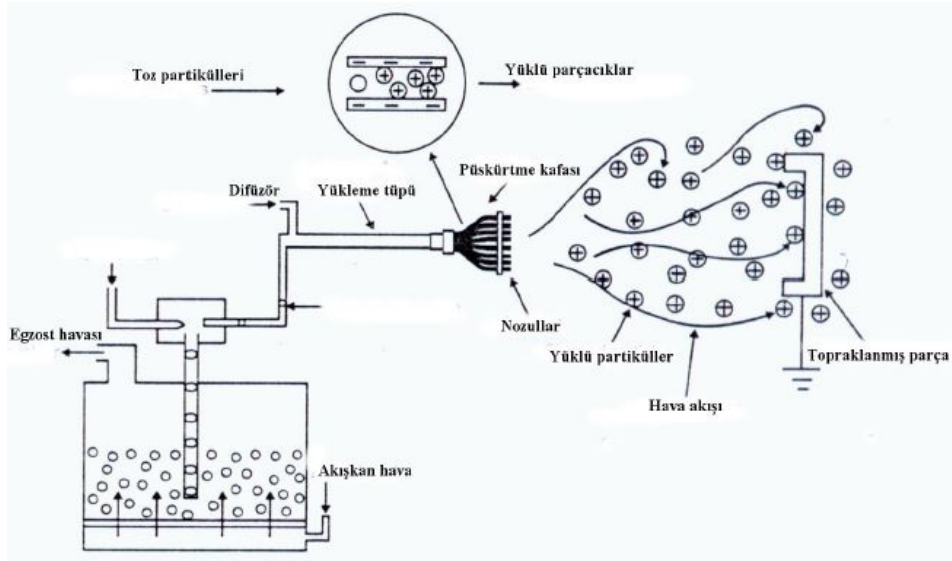
Şekil 4.27. Püskürtme toz boya uygulaması.

Püskürtme, genel anlamda tribo tipi ve korona tipi olmak üzere iki şekilde yüklemeye yapılarak kaplama işlemi gerçekleştirilir. Korona tipi yüklemeye, Şekil 4.28'deki gibi tabancanın iç kısmındaki kaskattan namlunun ucundaki iğneye verilen yüksek voltaj ile havanın nötr durumunu bozarak oluşturulan eksi yüklü iyanların toz boya kimyasallarının partiküllere tutunmasıyla yüklemeye yapılır. Şekil 4.29'da ise tribo yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu

yöntemde yükleme, hareketli toz boya taneciklerinin tabancada bulunan ve özel olarak yapılmış yükleme yollarına sürtünmesi sonucunda yüklenir (Guide to Powder Coating, 1999: 32).



Şekil 4.28. Korona tabancasındaki yükleme (Özçanak, 2008: 28).

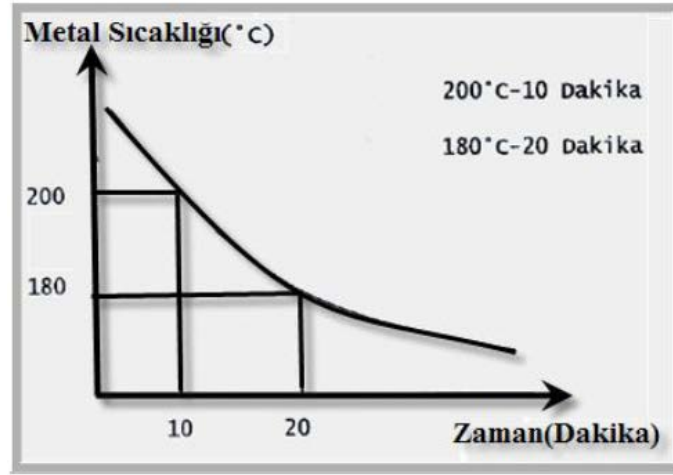


Şekil 4.29. Tribo tabancasındaki yükleme (Özçanak, 2008: 29).

#### 4.4.5. Elektrostatik toz boya uygulamasındaki fırınlama işlemi

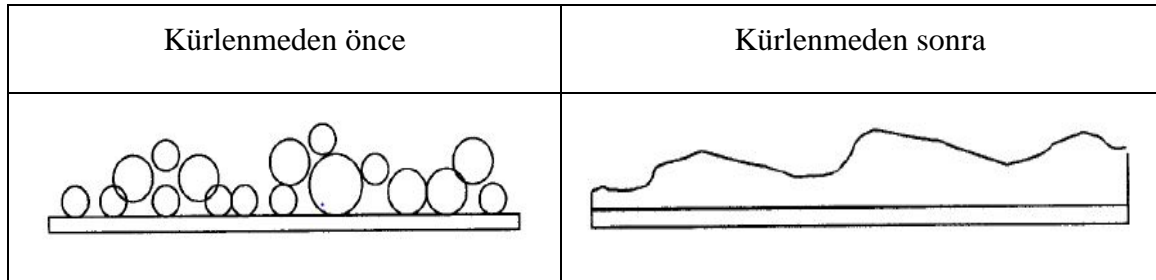
Toz boya işlemleri, reçinenin çapraz olarak bağlanmasıyla kürlendiğinden süre ve sıcaklık değerleri kritik parametrelerdir. Normalde düşük sıcaklıklarda belirli bir süre, daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa sürelerle denk gelmektedir. Ancak her boyanın kürlenme sıcaklığı farklı olduğu gibi özel olarak belirtilen sıcaklık değeri fırın içi sıcaklık değil parçanın ulaşacağı sıcaklık anlamına gelmektedir. Parçalar fırına girmeden önce pişirme fırını yeterli

sıcaklığa getirilmeli daha sonrasında parçaların girişi olmalıdır. Daha sonra ayarlanması gereken parametre ise zamandır. Bu iki parametre uygun şekilde uygulandığında parçalarda uygun şekilde toz boya kaplanmış olur. Fırınlama işlemi uygun şekilde olmadığında nihai üründe korozyon zaafiyeti ve kalitesiz kaplama belirtileri gözlenir. Şekil 4.30'da fırınlama işleminde kullanılacak sıcaklık zaman grafiği örnek olarak verilmiştir (Güngör, 2007: 34-47).



Şekil 4.30. Toz boya fırınlama işleminin örnek sıcaklık-zaman grafiği (Özçanak, 2008: 26).

Kürlenme işleminden önce parçaların üzerindeki toz boya partikülleri uygulama yapıldığı haldekiyle aynı olup hala toz tanecikleri halindedir. Kürlenme işleminden sonra tam anlamıyla kaplanmış görüntü ve yapısına sahip olur. Bu durum, Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Kürlenmeden önce ve sonra toz boya partiküllerinin görünümü (Özden, 2020: 47).

Belli bir sıcaklığın üzerine çıkıldığında toz boyaların yapısında bulunan reçine ve sertleştiriciler reaksiyon eşiklerine gelerek çapraz bağlar oluşturarak dayanıklı ağ yapısı oluştururlar. Kürlenmenin amacı reaksiyonu başlatmak ve toz boyayı jel haline getirerek metal yüzeyi ıslatıp tutunmasını sağlamaktır (Özden, 2020: 47).

## 5. LİTERATÜR BİLGİSİ

Kataforez ve çinko lamelli kaplamalar üzerine yapılan son kat kaplamalar yapan Kılınç (2019), bu proseslerin birbirleri arasındaki ilişkileri ve yapılarını incelemiştir. Kılınç, öncelikle çalışmalarında en uygun kaplama aşamalarını ve süreçlerini belirlemiştir. Daha sonrasında performans değerlerini ölçmüştür. Uygunluk değerlendirmeleri sonucunda su bazlı olan çinko lamelli kaplamanın kataforez kaplama ile uyumunun iyi olmadığını gözlemlemiş ve bu nedeninin kataforez kaplamanın hidrofobik özelliği sebebiyle su bazlı yani su ile çözünen çinko lamelli kaplamayla reaksiyona giremediğinden dolayı yüzeye tutunamaması olarak yorumlamıştır.

Ağaçdelen (2021), çalışmalarında kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile dizel motor silindir gömleğinin kesilmiş parçalarını kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle nano boyutta bir nano kaplama yapmıştır. Bu çalışmada Ağaçdelen, hegzan gazını kullanarak sentezlenen hidrojen akış ile vakum altında grafeni tek tabaka halinde silindir gömlek üzerinde başarıyla biriktirmiştir. Daha sonra grafen kaplı motor parçaları sürtünme özelliklerine, tribotest cihazı yardımıyla bakılmıştır. Test sonucunda nano grafen ile kaplı motor silindir parçası, kaplamasız olana göre düşük sürtünme sonucu çıkmıştır.

Polat (2013), çalışmasında ara katmanlarda en sık kullanılan alkali bakır filmlerini incelemiştir. Çinko ve alüminyum alaşımlarından üretilen döküm parçalarına bakır ara katmanı atıldıktan sonra çeşitli kaplamalar uygulayarak elde ettiği numunelerin korozyon davranışlarını, ASTM B117 standartlarına uygun olarak test etmiştir. Yapılan testler sonucunda, sadece bakır ile kaplandığında malzemenin korozyon direncinin değişmediği gözlenmiştir. Ancak ara katman olarak bakır kullanıldığında ise filmin yapısında değişiklik olduğu ve korozyona karşı direncin arttığı gözlenmiştir.

Otomotiv sektöründe, araç parçalarının kaplanmasında kullanılan çinko ve çinko alaşımı kaplı çelik malzemelerin korozyona olan etkisi ve hızlandırılmış korozyon test yöntemleri Fujita (2007) tarafından incelenmiştir. Oluşan çatlakların korozyona uğrayıp uğramamasını etkileyen ana faktör, kaplama çeşidine nazaran çinko ve çinko alaşımlarının kaplama ağırlıklarıdır. Otomobillerde çatlaktaki galvaniz çeliğin korozyon işlemi dört aşamaya ayrılır. Bu parçalar için korozyon analizine istinaden, çelik paneller için korozyon endeksi (PCI) önerilmiştir. Farklı ortam koşullarında korozyon test yöntemleri PCI varsayıldığında gerçek ortamlarda kaplamalı çelik sacların korozyon performansları değerlendirilmiştir.

Ulubayrak (2020), tez çalışmasında numune olarak seçtiği kumlmalı ve kumlamasız iki farklı şekilde plakalar kullanarak gerçekleştirmiştir. Fosfat kaplama ve lamelli kaplama arasındaki ilişkinin kaplama kalitesine nasıl etkiler yaptığını incelemiştir. Çalışma sonuçlarına göre görsel uygunluk olarak fosfat kaplanmış yüzeylerin üzerine kumlama ve lamelli kaplama olarak belirlenmiştir. 9 pH değerinde 60 saniye aktivasyon üzerine 10 dakika fosfat kaplama uygulaması yapılmıştır. Ardından 12 dakika kumlanarak yüzey pürüzlendirilmiş pürüzlü yüzeye de 2 kat lamelli kaplama yapılmıştır. Bu operasyonlardan sonra numunenin 720 saat korozyon dayanımı olduğu belirlenmiştir.

Eren (2020), çalışmasında döküm ve sıcak dövme malzemelerini üzerine çeşitli türdeki çinko kaplamaları ve onların üzerine olacak şekilde kataforez kaplaması yapmıştır. Farklı iki prosesi bir araya getirerek her iki proses sonucundan da nihai ürün olarak daha dayanıklı bir kaplama elde edilmiştir. En uygun kaplama prosesi belirlenmiştir. Kaplaması yapılan parçalara çeşitli testler yapılarak araştırma yapmıştır. Mürekkep, hogabom, şok, pull-off adhezyon, su direnci, tuz sisi, taş çarpma, çevrimsel korozyon ve scab korozyon performanslarına bakmıştır.

Özçanak (2008), kataforez kaplama prosesinde, kaplamadan önce kaplanmasında ve kaplamadan sonra prosesleri incelemiş, tasarımı ve hesaplama yöntemlerini açıklamıştır. Tüm üretim süreçlerde olduğu gibi kaplamada da yatırım ve işletme maliyetleri de büyük önem taşımaktadır. Özçanak, kataforez tesislerinin yatırım ve işletme maliyetlerini inceleyerek diğer proseslerle karşılaştırarak ekonomik bir analiz yapmıştır.

Mora ve Ballester (2019), yaptıkları çalışmada kaplama maddelerinin karşılaştırılması konusunda araştırmalar yapmıştır. Çinko bazlı kaplama maddelerine alternatif olarak çinko, alüminyum ve magnezyum bazlı alaşımları geliştirilip uygulamaya başlanması ile çoğu sektör için bilgi kirliliği olduğunu tespit etmiştir. Yaptıkları bu incelemeyle ortada olan bu belirsiz durumu ortadan kaldırarak daha sağlıklı bir bilgi akışını sağlamaktır. Analiz ve incelemeler sonucunda kaplamanın cinsi ve uygulama yöntemi haricinde kaplandığı malzemenin de uzun süreli yapılan korozyon testleri baz alındığında çok önemli olduğu kanısına varmışlardır. Yani metal cinsine göre kaplamanın performansı da etkilenmektedir sonucunu ortaya koymuşlardır. Ortak sonuç ise kaplama kalınlığının yüksek olması korozyon direncine doğru orantı ile etki ettiğiidir.

Özden (2008), bu tez çalışmasında metal malzemelerin korozyona uğramaması için metali dış ortam etkilerinden koruyucu bir kaplama prosesi olan toz boya prosesini traktör kabin iskeletine uygulayarak incelemeler yapmıştır. ISO-12944 standartına uyumlu biçimde kaplama için optimum kuru film kalınlığı elde edilmeye çalışılmıştır. Toz boya prosesinde deney

tasarımı yöntemlerinden taguchi ve yanıt yüzey yöntemleri kullanılmıştır. İlk olarak taguchi deney tasarımına göre kuru film kalınlığı üzerine etkili durumlar belirlenmiş etkisi az olan faktörler ortam şartları sabitlenerek parametreler azaltılmıştır. İkinci durumda ise yanıt yüzey yöntemi ile kalan faktörler için bir optimizasyon ayarlanmıştır. Minitab istatistiksel analiz programı kullanılarak yapılan deney tasarımı, modelleme ve optimizasyonlarını gerçekleştirmiştir.

Zhao vd. (2019), okyanuslardaki gemilerin ortam şartlarından dolayı korozyona uğramalarının engellenebilir bir şey olmadığı hakkında görüş bildirmiştir. Fakat bu durumun kontrol altına alınıp alınamayacağı hakkında çalışmalar yapmışlardır. Korozyonu önlemek için ise ön plana çıkan yöntemleri katodik koruma ve kaplama olarak değerlendirilmiştir. Çeliklerin boyanmasında veya kaplanmasında kullanılan uçucu organik bileşikler üstün koruma sağlamanın yanında dezavantaj olarak yüksek oranda atmosferik kirliliğe neden olurlar. Silikat içerikli kaplamalar uygulandıklarında reçine ve işlenen malzeme arasında van der waals bağları oluşmaktadır. Daha sonrasında kaplanmış malzeme pişirme fırınında kürlenme prosesine tabi tutulduğunda bu van der waals bağları kovalent bağlara dönüşür. Böylelikle hem korozyona karşı performans artmış olur hem de tutuculuğu güçlenir. Bazı dezavatajlarından bahsedilirse eğer asit modifikasyonudur. Bu hidridizasyon ve nano modifikasyon ile iyileştirilebilir. Ayrıca çalışmada nano boyutlu silikon akrilik emülsiyon ile modifiye edilmiş silikat reçinesinin uygulaması da araştırılmıştır. Denemelerin sonucunda su bazlı silikat kaplamalar için sertleşme mekanizması değiştirilmiştir. Testler sonucunda kaplamalı yüzey 168 saat tuz sisi testine atılmış ve korozyon görülmemiştir.

Sadaway ve Eid (2019), gerçekleştirdikleri çalışmada alüminyum, çinko ve magnezyum alaşımlarının yüksek mukavemetleri, döküm yapılabilme özellikleri ve işlenebilirlikleri nedeniyle havacılık sektörü, otomotiv sektörü, askeri savunma sektörü gibi alanlarda oldukça fazla kullanıldığını saptamışlardır. Araştırmaları sonucunda korozyon performansını artırmak için çinko fosfat kaplamalarında tercih edilmeye başladığını raporlarmışlardır. Bu kaplamanın demir içeren veya içermeyen metaller üzerinde korozyon performansını iyi bir şekilde artırdığını belirlemişlerdir.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 6.1. Deneysel çalışmalar

Çalışmalarda 3 farklı tip alüminyum alaşımı üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada bunlardan savunma sanayi, uçak sanayi ve havacılık sanayisinde sıklıkla kullanılan türleri olan 1050, 5005 ve 7075 serisi alüminyumlar seçilmiştir.

Seçilen bu alüminyum türleri üzerine çeşitli nano kaplama işlemi yapıldıktan sonra organik kaplamalar ile kaplanarak kuru yapışma testi, CASS testi ve çevrimsel korozyon testi uygulanmıştır. Daha sonrasında sonuçlar alüminyum türlerine göre karşılaştırılmıştır.

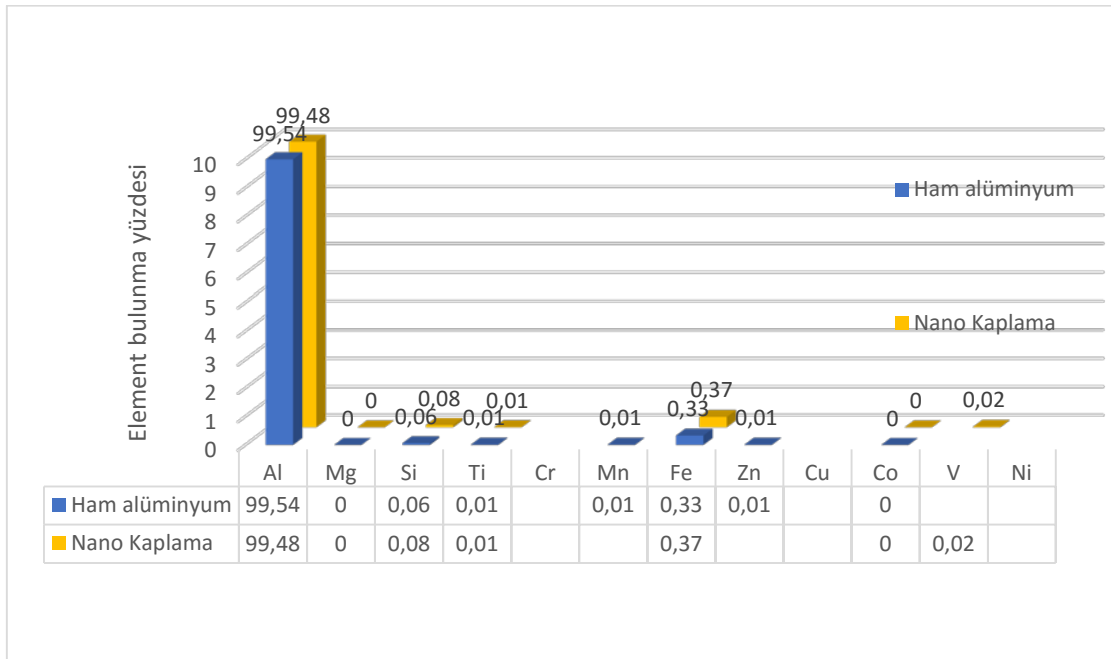
### 6.2. Deneysel çalışma koşulları ve banyo değerleri

#### 6.2.1. Kullanılan alüminyum tiplerinin XRF ölçümleri

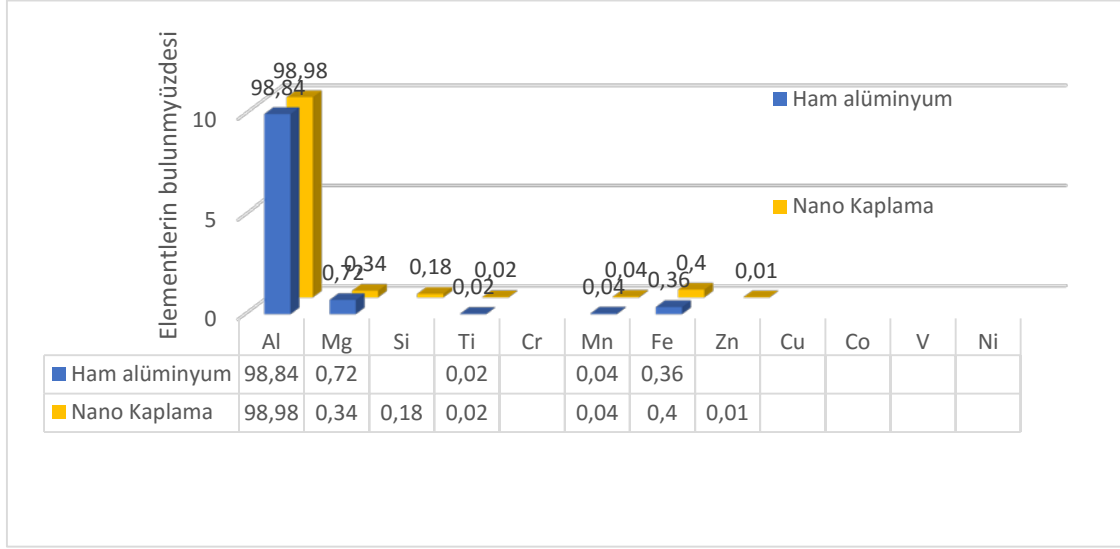
Yapılan çalışmalarda kullanılan tüm alüminyum plakalara kaplama öncesinde ve sonrasında XRF ölçümleri yapılmıştır.

Tablo 6.1’de 1050 tipi alüminyum ve nano kaplama yapıldıktan sonraki XRF ölçümleri, Tablo 6.2’de 5005 tipi için, Tablo 6.3’te ise 7075 tipi için ölçümlere yer verilmiştir.

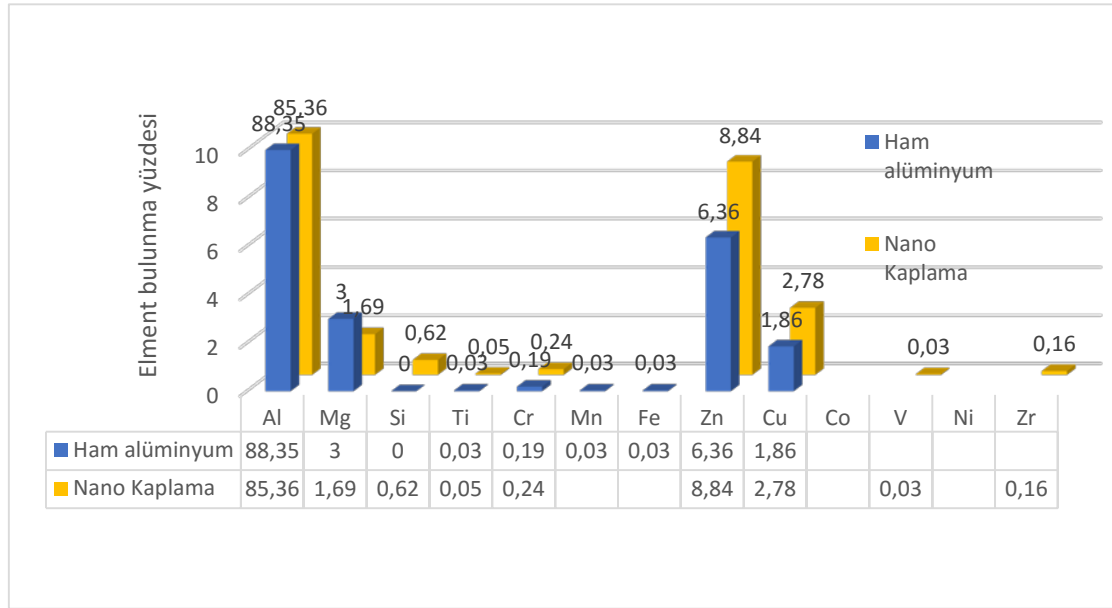
Tablo 6.1. 1050 Tipi Alüminyum XR-F Ölçümleri.



Tablo 6.2. 5005 Tipi Alüminyum XRF Ölçümleri.



Tablo 6.3. 7075 Tipi Alüminyum XRF Ölçümleri.



### 6.2.2. Deneysel çalışma koşulları

Bu çalışmada, AA1050 (Al99.5), AA5005 (AlMg1) ve AA7075 (AlZn5.5MgCu) türleri üzerine nano kaplama banyosuyla kaplandıktan sonra kaplanan yüzeyler kataforez, çinko lamelli ve yoz boya proseslerine tabi tutulmuştur. Her bir alüminyum alaşımlı plaka türü için, nano kaplama süresi ve aktivasyon süresi farklı 3'er adet plaka üzerine nano kaplama sonrası kataforez, çinko lamelli ve toz boya kaplamaları yapılmıştır. Tablolarda parametreler verilmiştir. Tablolarda a kataforez, b toz boya, c harfi çinko lamelli kaplamayı temsil eder.

Tablo 6.4. 1050 tipi alüminyum için kaplama tipleri ve süreleri.

Alüminyum Tipi	Çalışma Kodu	Aktivasyon Süresi (sn.)	Nano Kaplama Süresi (dk)	Kaplama Tipi
1050	1 – a	60	6	Kataforez
	1 – b			Toz Boya
	1 – c			Çinko Lamelli
	2 – a	75	7	Kataforez
	2 – b			Toz Boya
	2 – c			Çinko Lamelli
	3 – a	90	8	Kataforez
	3 – b			Toz Boya
	3 – c			Çinko Lamelli

Tablo 6.5. 5005 tipi alüminyum için kaplama tipleri ve süreleri.

Alüminyum Tipi	Çalışma Kodu	Aktivasyon Süresi (sn.)	Nano Kaplama Süresi (dk)	Kaplama Tipi
5005	1 – a	60	6	Kataforez
	1 – b			Toz Boya
	1 – c			Çinko Lamelli
	2 – a	75	7	Kataforez
	2 – b			Toz Boya
	2 – c			Çinko Lamelli
	3 – a	90	8	Kataforez
	3 – b			Toz Boya
	3 – c			Çinko Lamelli

Tablo 6.6. 7075 tipi alüminyum için kaplama tipleri ve süreleri.

Alüminyum Tipi	Çalışma Kodu	Aktivasyon Süresi (sn.)	Nano Kaplama Süresi (dk)	Kaplama Tipi
7075	1 – a	60	6	Kataforez
	1 – b			Toz Boya
	1 – c			Çinko Lamelli
	2 – a	75	7	Kataforez
	2 – b			Toz Boya
	2 – c			Çinko Lamelli
	3 – a	90	8	Kataforez
	3 – b			Toz Boya
	3 – c			Çinko Lamelli

### 6.2.3. Banyo parametreleri

Numaralandırılan alüminyum plakaların üzerine Tablo 6.4, Tablo 6.5 ve Tablo 6.6’da belirtilen sürelerde nano kaplama yapıldıktan sonra son kat kaplama tipleriyle kaplanacaktır. Bu kaplamaların belirli bir çalışma parametreleri vardır.

Uygulanan kataforez, toz boya ve çinko lamelli kaplama proseslerinin çalışma parametreleri Tablo 6.7, Tablo 6.8 ve Tablo 6.9’da verilmiştir. Tüm plakalar bu parametrelere göre aynı koşullarda kaplanmıştır.

Tablo 6.7. Kataforez kaplama prosesi değerleri.

Kaplama Tipi	Proses Banyosu	Parametre	Teorik Değer	DeneySEL Değer
Kataforez Kaplama	Kataforez Kaplama Banyosu	Sıcaklık (°C)	30 – 33	32,5
		Katı miktarı (%)	14 – 16	15,2
		P/B oranı	0,12 – 0,16	0,15
		pH	5 – 5,8	5,6
		İletkenlik ( $\mu\text{S.cm}^1$ )	1000 – 1600	1488
	Ultrafiltrasyon Banyosu	pH	5,4 – 5,8	5,5
		İletkenlik ( $\mu\text{S.cm}^1$ )	500 – 1500	762
	Deiyonize su	pH	5,5 – 7,5	6,8
		İletkenlik ( $\mu\text{S.cm}^1$ )	10 – 250	58
	Anolit	İletkenlik ( $\mu\text{S.cm}^1$ )	1500 – 3000	2413
	Kürlenme	Sıcaklık (°C)	150 – 165	160
		Süre (dk)	Min. 20	28

Tablo 6.8. Çinko lamelli kaplama proses değerleri.

Kaplama Tipi	Proses Banyosu	Parametre	Teorik Değer	Deneyisel Değer
Çinko Lamelli Kaplama	Çinko Lamelli Kaplama Banyosu	Viskozite (sn)	60 – 83	80
		Yoğunluk (g/lt)	1,3 – 1,4	1,34
		Katı (%)	40 – 42	41,03
		Sıcaklık (°C)	18 – 22	20,2
		pH	7 – 8,5	8,14
	Ön Kurutma	Sıcaklık (°C)	60 – 100	85
		Süre (dk)	6 – 10	8
	Kürleme	Sıcaklık (°C)	300 – 320	310
Süre (dk)		15 – 45	25	

Tablo 6.9. Toz boya kaplama proses değerleri.

Kaplama Tipi	Proses Banyosu	Parametre	Teorik Değer	Deneyisel Değer
Toz Boya Kaplama	Toz Boya Uygulaması	Tabanca basıncı (bar)	2 – 5	4
		Tabanca voltajı (V)	50 – 100	85
	Kürleme	Sıcaklık (°C)	170 – 190	180
		Süre (dk)	8 – 18	12

### 6.3. Test yöntemleri

Kaplanan alüminyum plakalara, asıl testler öncesinde ön değerlendirme için kuru yapışma testi yapılacaktır. Daha sonra plakalar, asıl uygulanacak testlere tabi tutulacaktır. Bunlar, çevrimsel korozyon testi ve CASS testleridir.

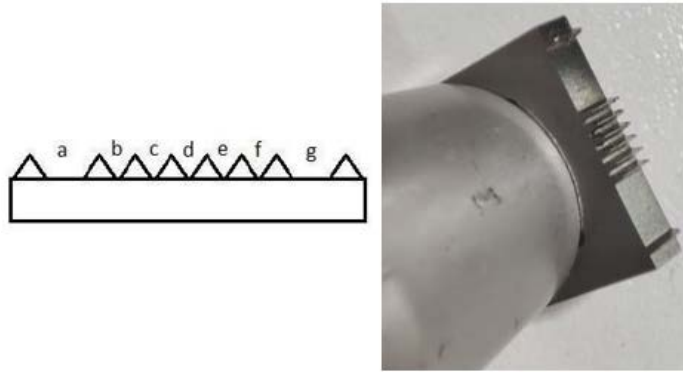
#### 6.3.1. Kuru yapışma (cross-cut) testi

Kaplamanın yüzeye ne kadar iyi yapışıp yapışmadığı hakkında bize ön bilgi verir. Sonucunu hemen aldığımız test yöntemi olduğundan uzun süren testlerin sonucunu beklemeden olumsuz bir durum olduğunda hızlıca aksiyon alınmasına olanak sağlar. Bu testin uygun sonuç alamayan kaplamaların diğer testleri de uygunsuz çıkacağından uygulamaya gerek yoktur. Yapışma testi ISO 2409 standartına göre yapılmaktadır. Kaplanan parçanın düz bir yüzeyi Şekil 6.2'deki kesici bir alet ile (cross-cut bıçağı) belli bir sabit basınç uygulayarak

çizilir. Bu uygulamadaki kritik, çizilen çizimin kaplamasız yüzey olan paçanın kendi yüzeyine kadar inmesidir (DIN EN ISO 2409, 2007: 2-13). Test ekipmanları Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Yapışma testinin ekipmanları.



Şekil 6.2. Cross-cut bıçağının kesici kısmı.





Yüzeyleri çizilen plakaların yüzeyine özel bant olan TESA 4657 tipi bant yapıştırılır. Şekil 6.3’te görülen aparat yardımıyla yapıştırılan bant, uygulamanın hemen ardından el ile kuvvet uygulayarak çekilir (DIN EN ISO 2409, 2007: 2-13).



Şekil 6.3. Özel bandın uygulanması.

Bant uygulamasından sonra uygulama yapılmış bölgenin Tablo 6.10'da verilen bilgilere göre yapılmaktadır.

Tablo 6.10 : Yapışma testinin değerlendirme kriterleri (DIN EN ISO 2409, 2007: 14).

Derecesi	Açıklaması	Görünüşü
Gt 0	Kesik olan kenarlar çok iyi derecede düzdür. Karelerde ise kaplamanın kalması görülmez.	---
Gt 1	Karelerin kesişme bölgelerinde ufak kırık parçalar mevcuttur. Karelenmiş bölgede %5 daha az kalkma.	
Gt 2	Karelerin kesişme bölgelerinde küçük kırık parçalar mevcuttur. Karelenmiş bölgede %5 - %15 arası kalkma.	
Gt 3	Karelerin kesişme kenarları boyunca kırılma mevcuttur. Karelenmiş bölgede %15 - %35 arası kalkma.	
Gt 4	Büyük şeritler halinde ve kare içlerinde tamamen kopmalar vardır. Karelenmiş bölgede %35 - %65 arası kalkma.	

### 6.3.2. SEM cihazı ölçümleri

Kaplanan parçaların kaplama kalınlıkları gerekli büyütme yapılarak kaplama kalınlıkları ölçülür. Tez çalışmamda kalınlıkların ölçülmesinde HITACHI marka TM-1000 modeli elektron mikroskobu kullanılmıştır.



Şekil. 6.4. Sem Cihazı.

### 6.3.3. Çevrimsel korozyon testi

EN ISO 11997-1 Cycle B standartlarına göre plakalara çevrim testi yapılmıştır (DIN ISO 11997-1 Cycle, 2006: ). Başka bir standart olan Renault 47-01-000-E standardına göre de test koşulları belirlenmiştir. Testin tek çevrimi 24 saatten oluşmaktadır. Çevrim aşamaları Şekil 6.5'de verilmiştir (47-01-000/--E, 2015: ).





Şekil 6.6. ASCOTT CC1000 IP çevrimsel korozyon test kabini.

#### 6.3.4. CASS testi

DIN 50 021 standartına göre yapılan CASS testi, bakır ile hızlandırılmış asetik asit tuzunu püskürterek parçaları test eden bir yöntemdir. Püskürtme kimyasalarını hazırlarken ilk önce, sodyum klorür çözeltisine 1 litrede 1 gram Bakır (II) Klorür,  $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  eklenir. Kimyasal çözeltideki pH, asetik asit yardımıyla dengelenir ve bu şekilde püskürtülen ve toplam çözelti  $23 \pm 2$  °C değerinde 3,1 ile 3,3 pH aralığında olmalıdır. Çözeltinin pH değeri cam elektrot yardımıyla ölçülmektedir. Kabin içinde kaplanmış parçaya  $50 \pm 2$  °C sıcaklıkta püskürtme gerçekleştirilir (DIN 50 021, 1988: ). Ulaşmasını beklediğimiz test süreleri Merceces DBL 7391 şartnamesindeki test standartlarına göre belirlenmiştir (DBL 7391, 2008: 2-20). Bu süreler Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12. Hedeflenen CASS testi dayanım süreleri (DBL 7391, 2008: 2-20).

Kaplama Türü	CASS Testi (Saat)
Kataforez	168
Çinko Lamelli	168
Toz Boya	144

Kaplamanın koruyuculuğunu ve uygun olup olmadığını anlamak amacıyla yapılan çevrimsel korozyon testini diğer korozyon testlerinden ayıran çok önemli bir özelliği vardır. Bu testte kabin içindeki parçalar aşındırıcı ve agresif bir saldırı altında testi tamamlarlar. Normal tuz sisi korozyon kabininde sabit bir ortam ve sabit bir agresiflik mevcuttur. Çevrimsel korozyon testini, ortamının sürekli değiştiği hızlandırılmış bir korozyon testi olarak tanımlayabiliriz. Test sonrasında parça yüzeyinde kabarcıklanma, test öncesinde çizilen çizgide ilerleme ve kırmızı pas olmamalıdır (DBL 7391, 2008: 2-20).

### 6.3.5. X-ray cihazı

Metal içerikli kaplamaların kalınlık ölçümlerinde kullanılmaktadır. Parçada özel olarak bakmak istenilen bölgesine ışın gönderilerek analiz yapılmaktadır. Genelde farklı bölgelerden alınan ölçümlerin ortalaması alınarak kaplama kalınlığı belirlenmiştir. Bunun amacı farklı bileşimdeki yerlerde yüzeylerin homojen olup olmadığını belirlemektir. Tez çalışmasında alınan çinko lamelli kaplama ölçümlerini almak için HELMUT FISCHER markasının positest XDL modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.7. X-ray cihazı

## 7. DENEYSEL SONUÇLAR

1050, 5005 ve 7075 türü alüminyum alaşımlarına uygulanan test sonuçları ve değerlendirmeleri aşağıdaki gibidir.

### 7.1. Kuru yapışma testinin sonuçları


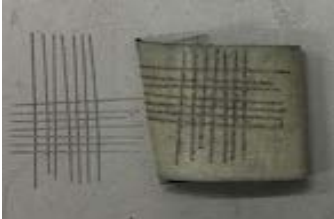
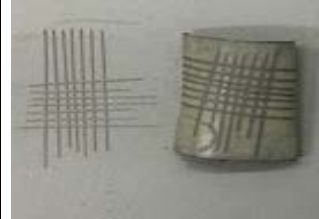
Nano kaplama üzerine kataforez, çinko lamelli ve toz boya kaplaması yapılan ilgili alaşımlar kuru yapışma testine tabi tutulmuştur.

Çinko lamelli kaplama yapılmış plakalara cross-cut bıçağı ile çizgi çekilip özel bant ile bant çekme işlemi yapılmıştır ve test sonuçları uygunsuz olarak sonuçlanmıştır. Bunun sonucunda çinko lamelli plakalara diğer testler başlatılmadan sonlandırılmıştır.



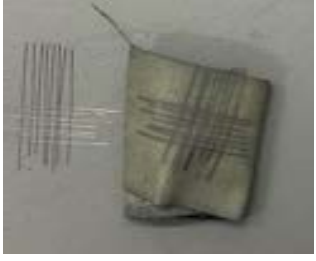
Kataforez kaplanmış plakalara uygulanan kuru yapışma testlerinde; 1050 alüminyum alaşımı için 2-a çalışmasının ve 3-a çalışmasının sonuçları, 5005 alüminyum alaşımı için 3-a çalışmasının sonuçları, 7075 alüminyum alaşımı için ise 2-a ve 3-a çalışmalarının sonuçları uygun çıkmıştır. Diğerleri uygunsuz çıktığından testler başlatılmadan sonlandırılmıştır.

Toz boya kaplama yapılmış plakalar üzerine uygulanan kuru yapışma testlerinde; 5005 alaşımı için 2-b çalışması, 7075 alaşımı için ise 2-b ve 3-b çalışmaları uygun sonuçlar vermiştir. Diğerleri uygunsuz çıktığı için geri kalan testler başlatılmadan sonlandırılmıştır.

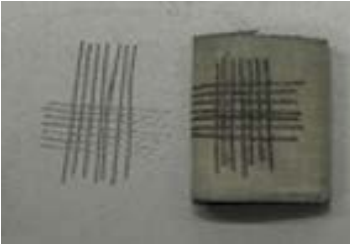

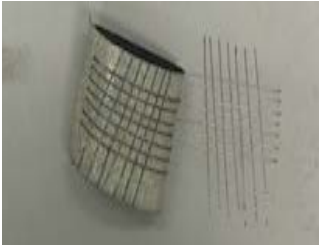
Tablo 7.1. 1050 Çinko lamelli kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-c	2-c	3-c
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 3	Uygun Değil – Gt 3	Uygun Değil – Gt 3

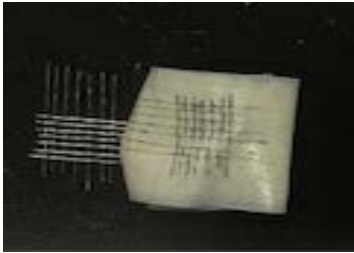
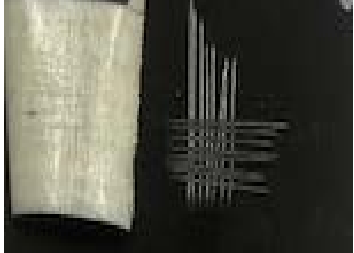
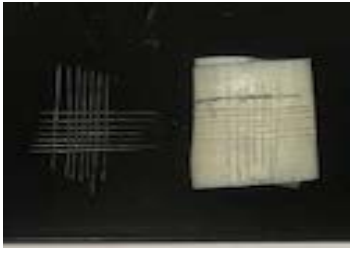
Tablo 7.2. 5005 Çinko lamelli kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-c	2-c	3-c
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 3	Uygun Değil – Gt 3	Uygun Değil – Gt 3


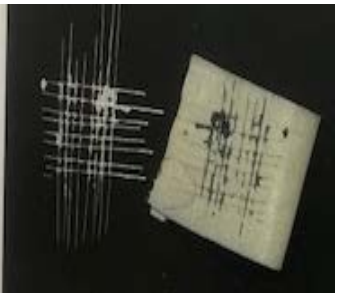
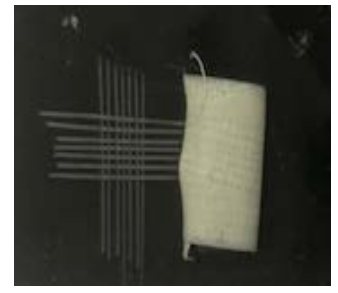
Tablo 7.3. 7075 Çinko lamelli kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-c	2-c	3-c
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 3	Uygun Değil – Gt 3	Uygun Değil – Gt 3

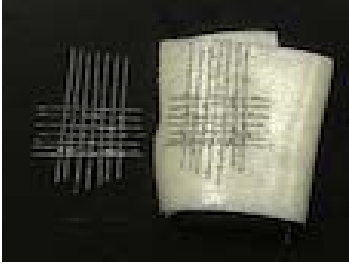

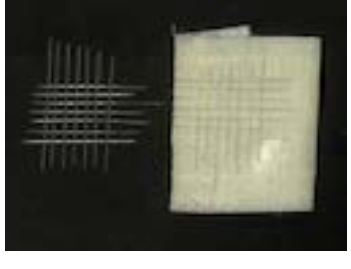
Tablo 7.4. 1050 Kataforez kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 2	Uygun – Gt 0	Uygun – Gt 0

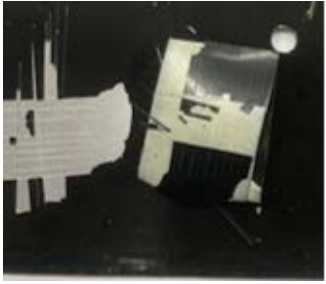


Tablo 7.5. 5005 Kataforez kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 4	Uygun Değil – Gt 4	Uygun – Gt 0


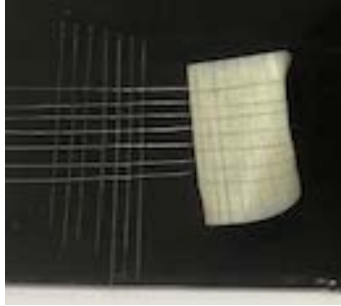

Tablo 7.6. 7075 Kataforez kaplama kuru yapışma sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 3	Uygun – Gt 0	Uygun – Gt 0


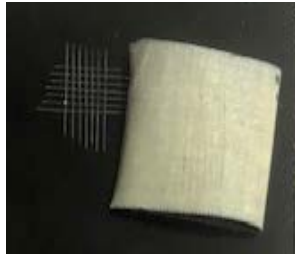
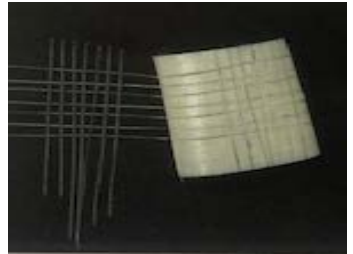
Tablo 7.7. 1050 Toz boya kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 4	Uygun Değil – Gt 4	Uygun Değil – Gt 4

Tablo 7.8. 5005 Toz boya kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil – Gt 4	Uygun – Gt 0	Uygun Değil – Gt 4

Tablo 7.9. 7075 Toz boya kaplamanın kuru yapışma testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf			
Sonuç	Uygun Değil	Uygun – Gt 0	Uygun – Gt 0

## 7.2. Çevrimsel korozyon direnci sonuçları

Ön değerlendirme testi yani kuru yapışma sonrasında sonuçları uygun olmayan çalışmalar çevrimsel korozyon testine hiç alınmamıştır.

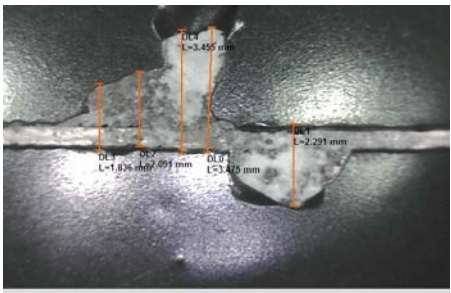

Testen başarıyla geçen çalışmalar için çevrimsel korozyon testleri 47-01-000-E standartına göre 1 çevrim 24 saate denk gelecek şekilde teste tabi tutulmuşlardır. Test sonucunda hedeflenen değerlere ulaşılmıştır.

Yapılan bütün test sonuçları genel sonuç tablosu Tablo 7.11’de gösterilmiştir.

Tablo 7.10. Çevrimsel korozyon genel test sonuçları.

Alüminyum Türü	Kaplama Tipi	Çalışma Kodu	Çevrimsel Korozyon Testi Sonucu
1050	Kataforez	2-a	Uygun Değil
1050	Kataforez	3-a	Uygun
5005	Kataforez	3-a	Uygun
7075	Kataforez	2-a	Uygun
7075	Kataforez	3-a	Uygun
5005	Toz Boya	2-b	Uygun
7075	Toz Boya	2-b	Uygun Değil
7075	Toz Boya	3-b	Uygun



Tablo 7.11. 1050 Kataforez kaplamanın çevrim testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75	90
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı		
Sonuç	-	Uygun Değil	Uygun

Tablo 7.12. 5005 Kataforez kaplamanın çevrim testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı	Teste Atılmadı	
Sonuç	-	Uygun Değil	Uygun

Tablo 7.13. 7075 Kataforez kaplamanın çevrim testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı		
Sonuç	-	Uygun	Uygun

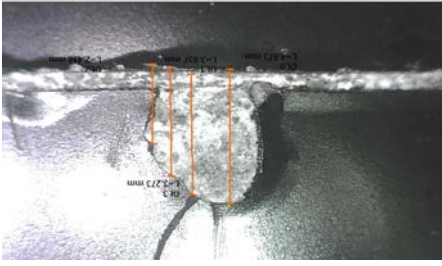

Tablo 7.14. 1050 Toz boya kaplamanın çevrim testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı	Teste Atılmadı	Teste Atılmadı
Sonuç	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil

Tablo 7.15. 5005 Toz boya kaplamanın çevrim testi sonuçları.

Çalışma	71-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı		Teste Atılmadı
Sonuç	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil

Tablo 7.16. 7075 Toz boya kaplamanın çevrim testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı		
Sonuç	-	Uygun Değil	Uygun

### 7.3. CASS testinin sonuçları

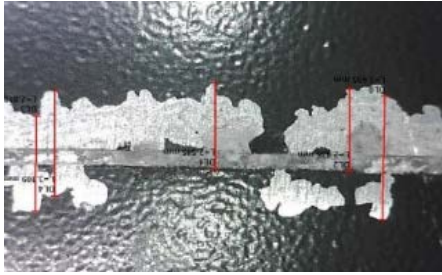

Ön değerlendirme testini başarıyla geçen denemeler, CASS testine sokulmuştur. Testi geçemeyen diğer plakaların testleri hiç başlatılamamıştır.

Kaplanan plakaların uygun olarak değerlendirilebilmeleri gerekli sürelerle dayanması gerekmektedir. Genel test sonuçları tablo 9.18’de gösterilmiştir.


Tablo 7.17. CASS testi genel test sonuçları.

Alüminyum Türü	Kaplama Tipi	Çalışma Kodu	Çevrimsel Korozyon Testi Sonucu
1050	Kataforez	2-a	Uygun Değil
1050	Kataforez	3-a	Uygun
5005	Kataforez	3-a	Uygun
7075	Kataforez	2-a	Uygun
7075	Kataforez	3-a	Uygun
5005	Toz Boya	2-b	Uygun Değil
7075	Toz Boya	2-b	Uygun Değil
7075	Toz Boya	3-b	Uygun



Tablo 7.18. 1050 Kataforez kaplamamın CASS testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı		
Sonuç	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun

Tablo 7.19. 5005 Kataforez kaplamamın CASS testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı	Teste Atılmadı	
Sonuç	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun

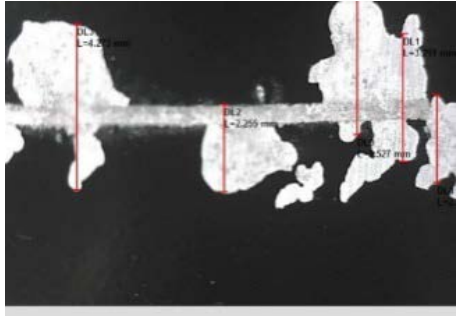
Tablo 7.20. 7075 Kataforez kaplamamın CASS testi sonuçları.

Çalışma	1-a	2-a	3-a
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı		
Sonuç	Uygun Değil	Uygun	Uygun

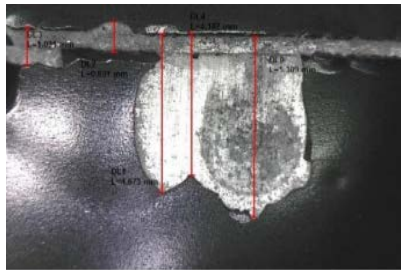
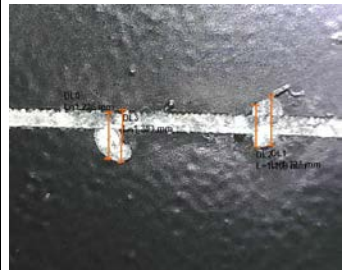
Tablo 7.21. 1050 Toz boya kaplamamın CASS testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı	Teste Atılmadı	Teste Atılmadı
Sonuç	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil

Tablo 7.22. 5005 Toz boya kaplamasının CASS testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Teste Atılmadı		Teste Atılmadı
Sonuç	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil

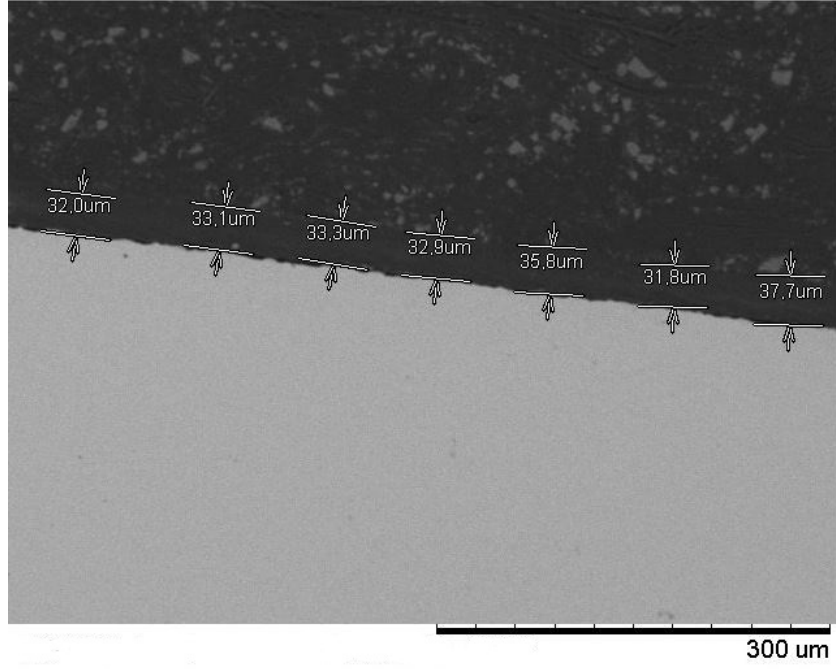
Tablo 7.23. 7075 Toz boya kaplamasının CASS testi sonuçları.

Çalışma	1-b	2-b	3-b
Aktivasyon	60 saniye	75 saniye	90 saniye
Nano	6 dakika	7 dakika	8 dakika
Fotoğraf	Başlatılmadı		
Sonuç	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun

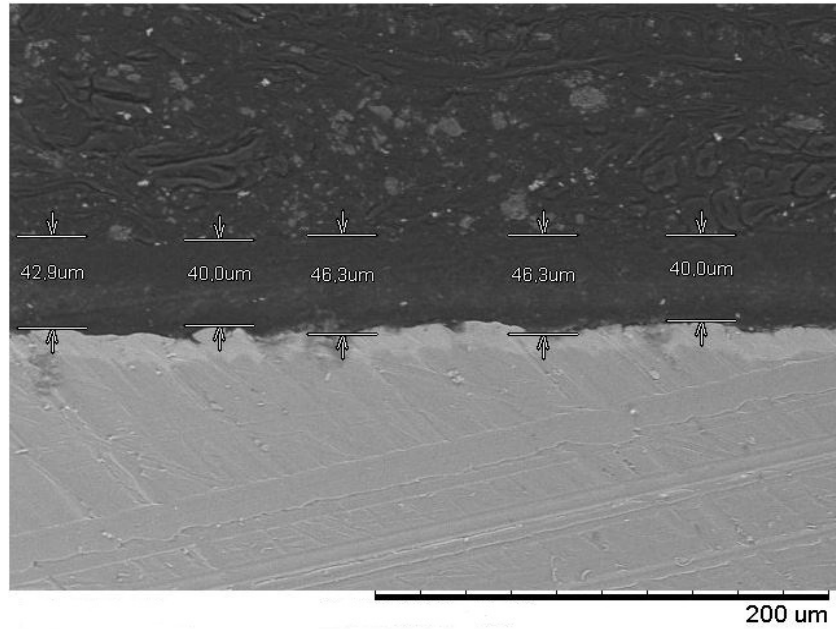
#### 7.4. SEM cihazı sonuçları

Kataforez ve toz boya kaplamaların kaplama kalınlıkları aşağıda verilmiştir. Bunlar Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 'de gösterilmiştir. Şekil 7.1'de görüldüğü üzere kataforez kaplamasının

yaklaşık 32-38  $\mu\text{m}$  kalınlığın elde edildiği görülmüştür. Şekil 7.2’de ise toz boya kaplama kalınlıklarının 40-47  $\mu\text{m}$  kalınlığında elde edildiği görülmüştür.



Şekil 7.1. Katakforez kaplama kalınlığı.

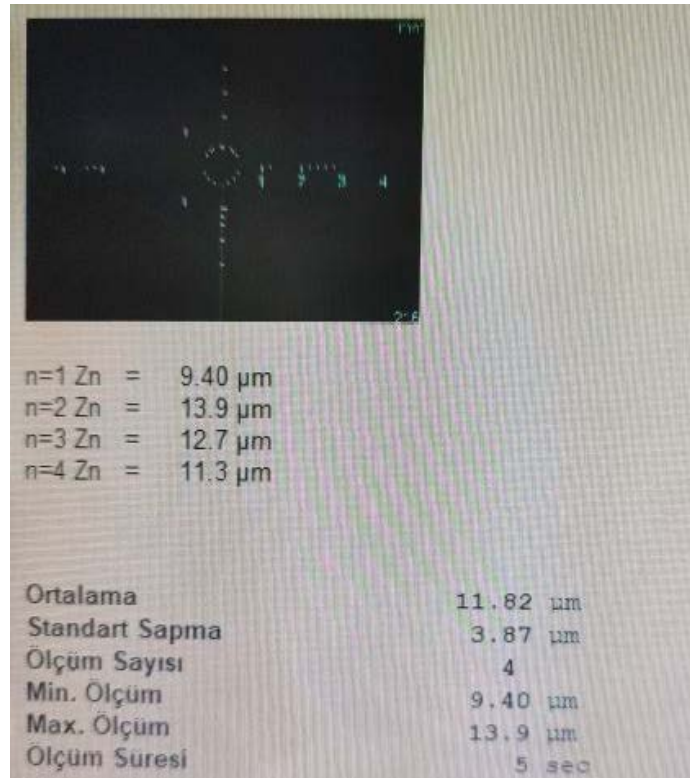


Şekil 7.2. Toz boya kaplama kalınlığı.

## 7.5. X-ray sonuçları

Metalik bir kaplama olan çinko lamelli kaplamanın kaplama kalınlığı raporu, x-ray cihazı üzerinden alınabilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan plakaların üzerine yapılan çinko lamelli kaplamanın kalınlığı da x-ray cihazı ile ölçülmüştür.

Çinko lamelli kaplamanın kaplama kalınlığı sonucu Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Ard arda 4 ölçümün gerçekleştirildiği X-ray sonuçlarına göre ortalama kaplama kalınlığının 11,82  $\mu\text{m}$  olduğu ölçülmüştür.



Şekil 7.3. Çinko lamelli kaplama kalınlığı.

## 8. SONUÇLAR

Tez çalışmamızda 1050, 5005 ve 7075 alüminyum tipi plakalar üzerine kataforez, çinko ve toz boya kaplamaları uygulanmıştır. Elde edilen kaplamalar performans ve korozyon testlerine sahip tutulmuş ve aşağıda belirtilen sonuçlar bulunmuştur.

1. Kuru yapışma testinde çinko lamelli kaplamaların hiç biri olumlu sonuç vermediği, kataforez ve toz boya kaplamalarda ise çok sayıda testleri geçen kaplamaların olduğu tespit edilmiştir.
2. Kaplama süreleri açısından değerlendirildiğinde 90 saniye aktivasyon süresi ve 8 dakika nano kaplama süreleri üzerinde yapılan kaplamalarda daha iyi sonuçların alındığı görülmektedir.
3. Alüminyum tipi açısından değerlendirildiğinde hem kataforez kaplamada hem de toz boya kaplamada iyi bir sonuç veren 7075 tipi alüminyum plakalar testleri başarıyla tamamlamıştır.
4. Kaplama tipi olarak ise yapılan bu alüminyum plakaların üzerine kataforez kaplamanın diğer kaplamalara göre korozyona karşı daha dirençli bir kaplama olduğunu göstermiştir.

## KAYNAKÇA

- Ağaçdelen, Z.** (2021). *Motor Parçalarında Nano Kaplamalar ve Yüzey Aşınmalarına Etkileri*, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul.
- Ak, M.** (2012). *AA206 Alüminyum Döküm Alaşımında Empürite Demirin Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akdoğan Eker, A.** (2013). *Alüminyum ve Alaşımları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akzobel** (1999). *Complete Guide to Powder Coatings*.
- Alper, M. G.** (2003). *Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilmiş 5052 – 5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Altınoğlu, A.** (1995). *Alaşımlar Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Fakültesi, İstanbul.
- Anonim.** (2019). *Toxicological Review of Hexavalent Chromium*.
- Anonim,** (2017). *Geomet 321/500 Technical Manuel*, Nof Metal Coatings Group.
- Elektrostatik Toz Boya Rehberi*, [ Erişim: 21.01.2022  
[https://www.boymak.com.tr/tr/know-how/img/elektrostatik\\_toz\\_boya\\_rehberi.pdf](https://www.boymak.com.tr/tr/know-how/img/elektrostatik_toz_boya_rehberi.pdf) ]
- Arslan, A.** (2000). *Üst Yüzey İşlemleri*, Türkiye Halk Bankası, Ankara.
- Avcı, G. G.** (2009) *İşlevsel Nano Kaplamalar*, Bilim ve Teknik Dergisi, İstanbul.
- Batchelor, A. W., Lam, L. N. & Chandrasekaran, M.** (2002). *Materials Degradation and Its Control by Surface Engineering*, Imperial Collage Press, London.
- Berk, V.** (2004). *Yüzey İşlem Teknolojileri*.
- Bryci, B. E., Kowalczyk, I. H., Szulc, A., Kaczerewska, O. & Pakiet, M.** (2017). *Organic Corrosion Inhibitors*, Principles and Recent Applications
- Callister D., W., Rethwisch D. G.** (2011). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, Utah Üniversitesi.
- Comite Europeen de Normalisation.** *EN 13858 Corrosion Protection of Metals. Non – Electrolytically Applied Zinc Flake Coatings On Iron or Steel Components*.
- Chaturvedi, T.P.** (2009). *An Overview of The Corrosion Aspect of Dental Implants (Titanium and Its Alloys)*, Indian Journal of Dental Research,

**Çekanyıldırım, Ç., Gürü, M.** (2021). *Alüminyum Üretim Teknolojilerindeki Gelişmeler, Çevreye Etkisi ve Uygulama Alanları*. Politeknik Dergisi, 24(2).

**Davis, J.R.** (2000). *Corrosion, Understanding the basic ASM International*.

**DIN EN ISO 2409**, (2007). *Paints and Varnishes – Cross-cut Test*

**DIN ISO 11997-1 Cycle** (2006). *Paint and Varnishes – Determination of Resistance to Cyclic Corrosion Conditions*.

**DIN 50 021**, (1988). *Salt Sprey Testing. Er December 2019; Published: 6 December 2019 Oxide on Electrochemical Corrosion Performance of Waterborne Silicate Coating*

**Dündar, M., Güngör, G.** (2002). *Otomotiv Sektöründe Alüminyum Uygulamaları ve Sürekli Döküm Tekniği İle Üretilmiş Alüminyum Levha Alaşımları*.

**Elsevier** (2005). *Metal Finishing Organic Finishing Guidebook and Directory*.

**Eren, B.** (2020). *Döküm Malzemelerin Performans Dayanımını Artırmaya Yönelik Kaplama Araştırılması*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.

**Eroğlu, G., Şahiner M.** (2018). *Dünya’da ve Türkiye’de Alüminyum*. Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü.

**Eruslu, N., Altınoğlu, A., Taktık, Y.** (1990). *Alaşımlar Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji Fakültesi, İstanbul.

**Güngör, G.** (2007). *Boya Bilgisi*, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara.

**ISO/TC 156.** (2015). *Corrosion of Metals And Alloys – Basic Term and Definitions (ISO 8044:2015)*, Trilingual version EN ISO 8044:2015.

**Kakani, S. L., Kakani, A.** (2004). *Material Science*, New Age International, Daryaganj, Delhi.

**Kılınç, M.** (2019). *Kataforez Kaplama Üzerine Solvent Bazlı ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Uygulamaları İle Oluşacak Dupleks Kaplamanın Korozyon ve Ömür Testine Etkisinin İncelenmesi*. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

**Lawrence, J. D.** (1963). *Electroplating Engineering Handbook*, New York

**Luther, W.** (2004). *International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology*.

**Metin, O.** (1973). *Alüminyum-Silisyum Alaşımlarında Silisyumun Malzeme Mukavemetine Etkisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji Fakültesi, İstanbul

**Mora, E. ve Ballester, V.** (2019). *Rewiev and Long-term Corrosion analysis of coating for Zinc – Alüminium – Magnesium Alloys, as an Alternative to Traditional Zinc – Based Coatings for cable trunking system in electrical installations*, Novasinerzia.

**Oguz, B.** (1990). *Demir Dışı Metallerin Kaynağı Metalurji – Uygulama*, Oerlikon Yayınları, İstanbul.

**Öksüz, C.** (1996). *Yüksek Mukavemetli (2024,6061,7075) Alüminyum Alaşımlarının Jominy Yöntemi İle Su Verme Duyarlılığı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji Fakültesi, İstanbul.

**Özçanak, T.** (2008). *Kataforez Kaplama Öncesinde Yüzey Hazırlama, Kurutma ve Kaplama Proseslerinin İncelenmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Özdemir, E.** (2019). *Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılan Bazı N-süstitüe Amino Asitlerin Kuantum Mekaniksel Olarak İncelenmesi*, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

**Özden, E.** (2020). *Elektrostatik Toz Boya Proses Parametrelerinin Deney Tasarımı Yöntemleri İle Optimizasyonu ve Endüstriyel Uygulaması*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

**Panagopoulos C.N., Agathocleous P.E., Papachristos V.D., Michaelides A.** (2000). *Sliding Wear Behavior of Zinc – Iron Alloy Electrodeposits*.

**Pearce, J.** (2001). *Abstracted From Materials Information Service, Edited by Dominic Lodge* [Erişim: 24.12.2021 <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=91>]

**RENAULT, 47-01-000/--E.** (2015). *Protection Against Ambient Corrosive Attack of Metal Parts and Assemblies Fitted Together on The Vehicle on Assembly*.

**Sadaway, M.M., Eid, E.A.** (2020). *Preparation and Electrochemical Behavior of Graphene-Oxide/Zinc-Phosphate Composite Coatings on as-Cast Al-Zn (5.0 wt. %)-Mg (2.5 wt. %). Alloy*.

[Erişim tarihi : 22.04.2022

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379677919305909?via%3Dihub>]

**Sarsılmaz, F.** (2008). *Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş AA7075 / AA6061 Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*. Fırat Üniversitesi, Elazığ.

**Satake, M., Nagahiro, T.** (1990). *Physical Chemistry*, New Delhi.

- Savaşkan, T.** (2012). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Streitberger, H., Dössel, K.** (2008). *Automotive Paints and Coatings*, WileyVCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Schweitzer, P. A.** (2010). *Fundamentals of Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*, Taylor and Francis Group, LLC.
- Sugimura, S. & Liao, J.** (2016). *Long – term Corrosion Protection of Arc Spray Zn – Al – Si Coating System in Dilute Chloride Solutions and Sulfate Solutions*, Surface & Coatings Technology.
- Sugimaru, S., Tanaka, S., Hikita, N., Ohba, H., Yoshie, A. & Nishida, S.** (2007). *Zinc Alloy Coated Steel Wire with High Corrosion Resistance*, Nippon Steel Technical Report.
- TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu, Alüminyum Raporu, Yirmi Dördüncü Dönem Çalışma Raporu.**
- Torabian, H., Pathal J.P.** (1994). *On Wear Characteristics of Loaded Al-Si Alloys*, 177.
- Uchida, H., Yoshida H.** (1996). *Aluminum and Magnesium for Automotive Applications, The Minerals, Metals & Materials Society.*
- Ulubayrak, S.** (2020). *Metal Parçalar Üzerine Fosfat ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Araştırılması*, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik
- Ünal, N.** (1987). *Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- Vu, T. N.** (2012). *Selective Dissolution From Zn – Al Alloy Coatings on Steel. Material Chemistry*, University Pierre et Marie Curie, Paris.
- Yalçın, H., Koç, T.** (1997). *Mühendisler İçin Korozyon*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Kimya Mühendisliği Odası, Ankara.
- Zhao, Xu, Yuhong Qi Zhanping Zhang and Kejano Li.** (2019). *The Influence of Glass Flake and Micaceous Iron Received, Oxide on Electrochemical Corrosion Performance of Waterborne Silicate Coatings in 3.5 % NaCl*