

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATAFOREZ KAPLAMANIN FARKLI METAL TÜRLERİNE
ETKİSİ VE ÇÖZÜM METOTLARININ BELİRLENMESİ

NEŞE KARASUNGUR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATAFOREZ KAPLAMANIN FARKLI
METAL TÜRLERİNE ETKİSİ VE ÇÖZÜM
METOTLARININ BELİRLENMESİ

NEŞE KARASUNGUR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. REZAN DEMİR ÇAKAN

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**EFFECT OF CATAPHORESIS COATING ON
DIFFERENT METAL TYPES AND
DETERMINATION OF SOLUTION
METHODS**

NEŞE KARASUNGUR

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER
OF SCIENCE DEPARTMENT OF CHEMICAL
ENGINEERING**

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. REZAN DEMİR ÇAKAN

GEBZE

2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13/07/2023 tarih ve 2023/39 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/08/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Neşe KARASUNGUR 'un tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Rezan DEMİR ÇAKAN

ÜYE

: Doç. Dr. Dilek DURANOĞLU DİNÇER

ÜYE

: Doç. Dr. Esra BİLGİN ŞİMŞEK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Kataforez kaplama, keskin kenarlarda ve köşeli alanlarda homojen film kaplamaya imkan vermesi, yüksek sertlik, basınç dayanımı ve darbe dayanımı gibi çok iyi mekanik parametrelere sahip olması, daha az çevre kirliliği, düşük yangın ve sağlık riski ve korozyon koruma sağlaması, parçaların ömrünü uzatması nedeniyle özellikle otomotiv endüstrisi ve yan sanayide büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, özellikle otomotiv endüstrisi veya yan sanayi başta olmak üzere en çok tercih edilen metal çeşitleri (sac, alüminyum, galvaniz ve paslanmaz çelik) seçilerek kataforez kaplama prosesleri incelenmiş ve farklı metal türlerinin kaplama üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Kaplama proseslerinin tamamlanmasının ardından çalışma amacına ulaşması için, görünüm testi, kaplama kalınlık ölçümü, parlaklık ölçümü, yapışma (cross cut) ve tuz sisi gibi performans testleri de uygulanmıştır. Performans test sonuçlarına bağlı olarak farklı metallerin kaplama prosesleri kıyaslanmış ve yapılan test sonuçları göz önünde bulundurularak, daha üstün performanslı metal olarak sac plaka ve alüminyum seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokaplama, Kataforez, Otomotiv, Ön işlem, Korozyon, Metal.

SUMMARY

Cathaphoresis coating has gained great importance especially in the automotive industry and sub-industry because it allows homogeneous film coating in sharp edges and angular areas, has very good mechanical parameters such as high hardness, compressive strength and impact resistance, low environmental pollution, low fire and health risk and extends the life of parts by providing protection against corrosion.

In this study, cataphoresis coating processes were examined by selecting the most preferred metal types (sheet metal, aluminum, galvanized and stainless steel) especially in the automotive industry or sub-industry and the effect of different metal types on the coating was investigated.

After the coating processes were completed, performance tests such as appearance test, coating thickness measurement, gloss measurement, adhesion (cross cut) and salt fog/salt spray were also applied to achieve the purpose of the study. According to the performance test results, the coating processes of different metals were compared, and sheet metal and aluminum were selected as the metals with superior performance.

Key Words: Electrocoating, Cataphoresis, Automotive, Pretreatment, Corrosion, Metal.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi oluştururken destek olan, yardımlarını esirgemeyen ve sabırlı davranan sevgili danışmanım Prof. Dr. Rezan DEMİR ÇAKAN 'a,

Konu çalışma programım boyunca, bilgi ve tecrübeleri ile yanımda olan değerli arkadaşlarım Araş. Gör. Hüseyin ÖGÇE, Araş. Gör. Hatice Öner, Onur KANTARCI ve Fatma GÜLER' e,

Deneysel çalışmalarım için desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen KARAKAYA 86 firması ve laboratuvar ekibine, ve Tebosan Otomotiv'e,

Çalışmalarım boyunca her zaman destek veren değerli yöneticim Yeşim Şengönül TERZİOĞLU'na, Yarkim Endüstriyel Kimya, AYT Endüstriyel Kimya'ya ve çalışma arkadaşlarıma,

Her zaman yanımda olan ve göstermiş oldukları desteklerinden dolayı sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Korozyon Tanımı	3
2.2. Başlıca Korozyon Çeşitleri	4
2.2.1. Taneler arası korozyon	5
2.2.2. Uniform (Genel) korozyon	5
2.2.3. Çatlak korozyonu	5
2.2.4. Çukur korozyonu	6
2.2.5. Galvanik korozyon	6
2.3. Kataforez Kaplama	6
2.3.1. Kataforez Kaplama Avantajları	7
2.3.2. Kataforez Kaplama Sınırlamaları	7
2.3.3. Kataforez kaplamanın elektrokimyasal süreçleri	8
2.4. Kataforez Kaplamayı Etkileyen Faktörler ve Önleyici Eylem Yöntemleri	9
3. KATAFOREZ KAPLAMA PROSESİ	13
3.1. Yüzey Hazırlama Prosesi (Ön işlem)	13
3.1.1. Yağ alma	14

3.1.2. Durulama	16
3.1.3. Aktivasyon	16
3.1.4. Fosfat Kaplama	17
3.1.4.1. Çinko Fosfat	17
3.1.4.2. Demir fosfat	19
3.1.4.3. Mangan Fosfat	20
3.1.5. Pasivasyon	20
3.1.6. Deiyonize Durulama (DI Durulama)	20
3.2. Kataforez Elektrokaplama Prosesi	21
3.2.1. Kataforez Banyosu	21
3.2.2. Redresörler	22
3.2.3. Anot Sistemi – Anolit Sirkülayon sistemi	23
3.2.4. Ultrafiltrasyon (UF Banyosu)	23
3.3. Fırın (Kürleme Prosesi)	25
4. MALZEME VE YÖNTEM	26
4.1. Akım Toplayıcı Plakaların Özellikleri	26
4.1.1. Al Plaka	27
4.1.2. Galvaniz Plaka	27
4.1.3. Paslanmaz Çelik Plaka	28
4.1.4. Sac Plaka	29
4.2. Akım Toplayıcı Plakaların Kataforez Kaplama Yöntemleri	29
4.2.1. Al Plaka	29
4.2.2. Galvaniz Plaka	35
4.2.3. Paslanmaz Çelik	37
4.2.4. Sac Plaka	39
4.3. Kataforez Kaplama Sonrası Performans Değerlendirme Test ve Kriterleri	41
4.3.1. Görünüm Testi	41

4.3.2. Kaplama Kalınlık Testi	42
4.3.3. Gloss (Parlaklık) Testi	42
4.3.4. Kuru Yapışma (Cross-Cut) Testi	42
4.3.5. Tuz Sisi Testi	43
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
5.1. Performans Değerlendirme Test Sonuçları	44
5.1.1. Al Plaka	44
5.1.2. Galvaniz Plaka	48
5.1.3. Paslanmaz Çelik Plaka	52
5.1.4. Sac Plaka	56
5.2. Sac Plaka Özelinde Hata Türleri ve Çözümlerinin İncelenmesi	59
5.2.1. Dalgalanma	60
5.2.2. Boya Kabarması	60
5.2.3. Pas	61
5.2.4. Çapaklanma	62
5.2.5. Manyetiklenme	62
5.2.6. Sepet Akıntısı	63
5.2.7. UF Lekesi	63
5.2.8. Yanma	64
5.2.9. Asit Lekesi	64
5.2.10. Yetersiz Ön İşlem	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

Re/Rm	: Akma dayanımı /Gerilme dayanımı
Psi	: Basınç birimi
Zn	: Çinko
H_2O_2	: Hidrojen peroksit
ClO_3^-	: Klorat
Cr	: Krom
$\mu S/cm$	: mikrosiemens/santimetre
Ni	: Nikel
NO_3^-	: Nitrat
NO_2^-	: Nitrit
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
P/B	: Pigment bağlayıcı oranı
DI	: Deiyonize
EG	: Elektrog galvaniz
HDG	: Sıcak daldırma galvaniz
VOC	: Uçucu organik bileşik

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Yüzey işlemsiz, korozyona maruz kalan metal örneği.	4
2.2: Elektrokimyasal reaksiyon.	8
3.1: Kataforez kaplama proses adımları.	13
3.2: Ön işlem gerektiren metal örneği.	14
3.3: Kataforez kaplama prosesi genel görünümü.	21
3.4: Kataforez banyoyu oluşturan bileşenler.	22
3.5: Ultrafiltrasyon sistemi görünümü.	24
4.1: Alüminyum plaka için deney planı.	29
4.2: Pasivasyon-ctl hattı banyo sıralaması.	30
4.3: Al-pasivasyon hattından görünüm.	30
4.4: Al-pasivasyon hattından çıkan plakalar.	30
4.5: Kaplama öncesi al plakaların askılanması	32
4.6: Yükleme istasyonunda, kaplanmak üzere bekleyen al plakalar.	32
4.7: Toplama istasyonu.	33
4.8: Performans testleri yapılacak alüminyum plakalar.	33
4.9: Al plaka kaplama kalınlık ölçümü.	34
4.10: Al plaka parlaklık ölçümü	34
4.11: Al plaka yapışma testi.	35
4.12: Al plaka tuz sisi testi.	35
4.13: Galvaniz plakalar için deney planı.	36
4.14: Galvaniz plakalar 1.deney planı için ctl hattı banyo sıralaması.	36
4.15: Paslanmaz çelik plaka için deney planı.	38
4.16: Paslanmaz çelik plakalar 1.deney planı için ctl hattı banyo sıralaması.	38
4.17: Sac plakalar için deney planı.	40
4.18: Sac plakalar için ctl hattı banyo sıralaması.	40
5.1: Alüminyum plakalarda yüzey görünümü.	44
5.2: Alüminyum plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.	45
5.3: Alüminyum plakalarda parlaklık ölçümü.	45
5.4: Alüminyum plakalarda yapışma testi.	46
5.5: Alüminyum plakalarda tuz sisi testi (504 saat).	47

5.6: Galvaniz plakalarda yüzey görünümü.	48
5.7: Galvaniz plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.	49
5.8: Galvaniz plakalarda parlaklık ölçümü.	49
5.9: Galvaniz plakalarda yapışma testi.	50
5.10: Galvaniz plakalarda tuz sisi testi (504 saat).	50
5.11: Paslanmaz çelik plakalarda yüzey görünümü.	52
5.12: Paslanmaz çelik plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.	53
5.13: Paslanmaz çelik plakalarda parlaklık ölçümü.	53
5.14: Paslanmaz çelik plakalarda yapışma testi.	54
5.15: Paslanmaz çelik plakalarda tuz sisi testi (504 saat).	55
5.16: Sac plakalarda yüzey görünümü.	56
5.17: Sac plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.	57
5.18: Sac plakalarda parlaklık ölçümü.	57
5.19: Sac plakalarda yapışma testi.	58
5.20: Sac plakalarda tuz sisi testi (504 saat).	58
5.21: Sac plakada gözlenen hata türleri: a) dalgalanma. b) portakal kabuğu.	60
5.22: Sac plakada gözlenen hata türleri: boya kabarması.	61
5.23: Sac plakada gözlenen hata türleri: pas görünümü.	61
5.24: Sac plakada gözlenen hata türleri: çapaklanma.	62
5.25: Sac plakada gözlenen hata türleri: manyetiklenme.	62
5.26: Sac plakada gözlenen hata türleri: sepet akıntısı.	63
5.27: Sac plakada gözlenen hata türleri: a) uf lekesi 1. b) uf lekesi 2. c) uf lekesi 3	63
5.28: Sac plakada gözlenen hata türleri: yanma.	64
5.29: Sac plakada gözlenen hata türleri: asit lekesi.	65
5.30: Sac plakada gözlenen hata türleri: a) yetersiz ön işlem öncesi görünüm. b) yetersiz ön işlem sonrası görünüm.	65

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.1: Akım toplayıcı metal grubu, ölçüm testleri tablosu.	26
4.2: Alüminyum plaka mekanik özellikleri.	27
4.3: Galvaniz plaka mekanik özellikleri.	28
4.4: Al-pasivasyon hattı banyo değerleri.	31
4.5: Al- pasivasyon hattı reçete detayı.	31
4.6: Al plakalar için ktl banyo değerleri.	32
4.7: Galvaniz plakalar için ktl hattı reçete detayı.	37
4.8: Paslanmaz çelik için ktl hattı reçete detayı.	39
4.8: (devam) paslanmaz çelik için ktl hattı reçete detayı.	39
4.9: Sac plakalar için ktl hattı reçete detayı.	40
4.10:Yapışma testi sonrasında değerlendirme tablosu.	43
5.1: Al plaka performans değerlendirme tablosu.	47
5.2: Galvaniz plaka performans değerlendirme tablosu.	51
5.3: Paslanmaz çelik plaka performans değerlendirme tablosu.	55
5.4: Sac plaka performans değerlendirme tablosu.	59

1. GİRİŞ

Kataforez kaplama metal yüzeylere uygulanan bir işlemdir. Sulu astar olarak elektrokimyasal kaplama prensiplerine göre iletken yüzeylere uygulanır [1].

Günümüzde otomotiv endüstrisinde astar tabakası uygulamanın en yaygın yöntemidir. Bilindiği gibi, otomotiv sektörü, yüzey işlemleri ve özellikle korozyon önleyici kaplamalar alanında giderek daha kısıtlayıcı olan çevre mevzuatına uyumun sağlanmasına büyük ölçüde katkıda bulunmuştur. Şu anda hemen hemen tüm otomobil kaportalarının anti-korozif korumasının kataforetik bir astar içerdiği söylenebilir [2], [3].

Kataforez kaplama, çeliğin, dökümlerin, levhaların ve alüminyum bileşenlerin korozyona karşı korunmasının en iyi yollarından biridir. Ayrıca elektronik mahfazalar, kapaklar ve geniş bir yüzey alanına sahip metalden yapılmış diğer öğeler gibi metalden yapılmış faydacı nesnelerin tek katmanlı kaplaması için kullanılır [4].

Bu kaplama korozyona karşı etkin koruma sağlayarak, otomotiv sektörü dışında beyaz eşya, savunma, genel endüstri alanında da kullanılmakta, ülke ekonomisinde önemli rol oynamaktadır. Otomotiv endüstrisinde, süspansiyon bileşenlerinde korozyonu önlemek için 1970'lerden beri kataforetik kaplamalar sıklıkla kullanılmaktadır. Kaplamanın kalınlığındaki farklılıklar küçüktür, toz uygulamasıyla boyanamayan ulaşılması zor bölgelerde bile etkilidir. Kataforetik boyama iz yapmaz, yüzey kaplama verimi çok yüksektir, kayıplar %10'dan azdır ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyonu atmosferde çok sınırlıdır [1], [5], [6].

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Yapılan tez çalışmasının amacı, günümüzde çok tercih edilen ve giderek yaygın olan kataforez kaplamanın farklı metal türleri üzerine etkisini incelemek ve proses tamamlanırken ortaya çıkan bazı görünüm hatalarının belirlenerek çözüm metodlarının bulunmasıdır. Bu tez çalışmasında özellikle otomotiv sektöründe kullanılan farklı türdeki metallerin (sac, alüminyum, galvaniz ve paslanmaz çelik) kataforez kaplama proseslerinin incelenmesi ve farklı metal türlerinin kaplama üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Tezin birinci ve ikinci bölümünde kataforez kaplama kullanılmasının korozyona karşı koruma sağlama özelliği olduğundan korozyon tanımları yapılmıştır. Kataforez kaplamanın tarihçesi, kaplama hakkında genel bilgiler ve kaplamayı etkileyen faktörler anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, tez konusu çerçevesinde kataforez kaplama proses adımları tek tek anlatılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde akım toplayıcı metaller hakkında bilgi verilmiştir ve her metal çeşidi için kataforez kaplama proseslerinin deneysel çalışmaları anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş sonuçlar verilmiş ve yorumlanmıştır. Deneysel sonuç çerçevesinde en yaygın olan sac malzemelerin kataforez kaplamasında, yani seri üretimde proses hattında sıklıkla karşılaşılan problemler ve çözüm metotları incelenmiştir. Son bölümde ise tez çalışmasında elde edilen bulgular ana hatlarıyla özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kataforez kaplama, ilk olarak 1950'lerin sonunda, Dr. George E. F. Brewer ve Ford Motor Şirketinden bir ekibin, otomobillerin kaplanmasına yönelik olarak yaptığı çalışmalarla geliştirilmeye başlanmıştır [7].

Otomotiv sektörü, küresel bazda önde gelen sektörlerden biridir. Türkiye araç üretiminde dünyada 15. ülke konumundadır ve otomotiv sektörü, Türk imalat sektöründe önemli bir yere sahiptir. 2022 yılında Türkiye' de 1 milyondan fazla araç üretilmiştir. Türk otomotiv sanayi, araştırma ve geliştirmeye ayrılan yatırımlar açısından ülkenin önde gelen sektörüdür [8].

Katodik kataforez kaplama için ilk patent 1965 yılında BASF AG firması tarafından alınmıştır [7]. Ticari olarak ilk katodik kataforez kaplama tesisi PPG Industries Inc. şirketi tarafından 1970 yılında faaliyete geçirilmiştir. Otomotiv sanayisinde de 1975 yılında ilk katodik kataforez kaplama kullanımı gerçekleştirilmiştir [7]. Günümüzde dünya genelinde kullanılan kataforez kaplama hacminin yaklaşık olarak %70' i katodik kataforez kaplamadan oluşur ve bu kapasite büyük ölçüde otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Katodik kataforez kaplama teknolojisi, otomotiv endüstrisinde kullanılan parçaların ömrünün uzamasına katkıda bulunmuştur [9], [10].

2.1. Korozyon Tanımı

Literatürde korozyonun birçok tanımına rastlamak mümkündür. Evrensel Ansiklopediye göre tanımlanan korozyon ifadesi; kimyasal ajanların (örn. oksijen, havadaki kükürt dioksit), elektrokimyasal ajanların (metallerle temas eden elektrolit çözeltilerinin yıkıcı etkileri) ve biyolojik ajanların (bazı mikroorganizmaların etkisi) etkisi altında oluşabilecek dış etkenlerden kaynaklanan malzemeleri tahrip etme işlemidir [11].

Korozyon, ekonomik, güvenlik ve koruma açılarından önemlidir. Korozyon mühendisleri, korozyon bilim adamlarının desteğiyle boruların, tankların, makinelerin metal bileşenlerinin, gemilerin, köprülerin korozyonundan kaynaklanan malzeme kayıplarını ve buna eşlik eden ekonomik kayıpları azaltmayı amaçlar. Korozyon, örneğin basınçlı kaplar, kazanlar, toksik kimyasallar için metal kaplar,

türbin kanatları ve rotorları, köprüler, uçak bileşenleri ve otomotiv direksiyon mekanizmalarında arızaya (felaket sonuçlarıyla) neden olarak çalışan ekipmanın güvenliğini tehlikeye atabilir.

Güvenlik, nükleer santraller için ekipman tasarımında ve nükleer atıkların bertaraf edilmesinde kritik bir husustur. Korozyonla metal kaybı, yalnızca metalin değil, aynı zamanda enerjinin, suyun ve en başta metal yapıları üretmek ve imal etmek için kullanılan insan emeğinin de israfıdır. Ek olarak, aşınmış ekipmanı yeniden inşa etmek, tüm bu kaynaklara (metal, enerji, su ve insan) daha fazla yatırım yapılmasını gerektirir [12] .

Otomobillerde de korozyona karşı koruma hem ülke ekonomisi hem de özel araç sahibi açısından büyük önem taşımaktadır [13]. Otomotiv endüstrisi, bozulmaya karşı çok yüksek dirençli organik koruyucu kaplamalar gerektirir. Kaplamalar, alt tabakayı korozyon saldırısına karşı korumalı ve onu uzun süre hasarsız tutarken, aynı zamanda foto-oksidatif bozunma, mekanik aşınma ve diğer zararlı işlemlere karşı yüksek düzeyde stabilite anlamına gelen, kalıcı olarak iyi estetik özellikler sunmalıdır [14].



Şekil 2.1: Yüzey işlemsiz, korozyona maruz kalan metal örneği.

2.2. Başlıca Korozyon Çeşitleri

Bu başlık altında beş farklı korozyon çeşitleri anlatılmıştır. Bunlar; taneler arası, genel, çatlak, galvanik ve çukur korozyonlarıdır.

2.2.1. Taneler arası korozyon

Metaller mikro metrik boyutlu kristal tanelerden oluşur. Tane sınırı olarak adlandırılan bu taneler arasındaki sınır, bozulmuş kristalografik yapı ve safsızlıkların ve ikinci fazların olası ayrışması nedeniyle kendine özgü ve hassas bir bölgedir. Bu denge dışı özellikler, tane sınırlarını özellikle reaktif ve korozyon direnci açısından daha zayıf hale getirir, böylece bazı durumlarda taneler arası korozyon olarak adlandırılan lokalize bir korozyon meydana gelebilir. Bu korozyon tipi saldırı çok şiddetlidir, çünkü tane ayrılmasına yol açar, ardından mekanik direncin azalmasına neden olur [12].

2.2.2. Uniform (Genel) korozyon

Genelleştirilmiş korozyon olarak da adlandırılan üniform korozyon, anodik ve katodik bölgelerin çakışması nedeniyle agresif bir ortamla temas halindeki aktif metallerin açıkta kalan tüm yüzeyini etkiler. Genel korozyona uğrayan metallerin başlıca örnekleri aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır.

- Karbon çeliği: atmosfere maruz bırakıldığında veya nötr veya asidik çözeltilere, toprağa ve deniz suyuna daldırıldığında,
- Alüminyum: düşük ve yüksek pH'lı solüsyonlarda,
- Paslanmaz çelik: asidik solüsyonlarda.

2.2.3. Çatlak korozyonu

Metal bir yüzey üzerinde çatlaklar, boşluklar, elekler veya birikintilerin varlığı, çatlak korozyonu veya ara yer korozyonu ve birikinti altında korozyon olarak adlandırılan lokalize bir korozyon formuna yol açabilir. Çatlak korozyonu, paslanmaz çelikler, nikel alaşımları ve titanyum gibi aktif-pasif alaşımlar için birçok ortamda endişe kaynağıdır. Tipik olarak, paslanmaz çelikler deniz suyunda veya kimya, petrokimya, ilaç, gıda işleme gibi endüstriyel tesislerin çoğunda ve ayrıca biyomedikal, nükleer ve inşaat mühendisliğinde bulunan klorür içeren çözeltilerde çatlak korozyonundan mustarıdır [15].

2.2.4. Çukur korozyonu

Korozyonun metal yüzeyin bazı noktalarında çukur oluşturması durumuna çukur korozyon denir. Pasif film yerel olarak kırılır, daha sonra korozyon hasarlı noktada birkaç milimetre genişliğinde veya daha az ilerler ve çevredeki sağlam pasif metal ile bir makro elektrokimyasal hücre oluşturur [16].

2.2.5. Galvanik korozyon

Kimyasal veya elektrokimyasal bir korozyondur. Akımın daha aktif metalden (daha negatif potansiyel) daha asil metale (daha pozitif potansiyel) oluşması için bir devre aracılığıyla bağlanan iki farklı metal arasındaki potansiyel farkından kaynaklanır [15].

2.3. Kataforez Kaplama

Endüstri şartlarında üretilen parçalar dahil olmak üzere atmosferik koşullara maruz kalan tüm ürünlerin, atmosferik korozyonla karşılaşması kaçınılmazdır. Bu koşullar altında, malzemeler hızlı bir şekilde korozyona uğrayarak kırmızı pas oluşumuna neden olur ve sonuç olarak malzemenin kullanılamaz hale gelmesine yol açar. Bu sorunu önlemek ve atmosferik korozyonun etkisini en aza indirebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri, ilgili metal yüzeylerin kaplanması işlemidir [17], [18].

Metallere kaplama ve boya uygulanması, aşınma ve korozyondan korunması için uygulanan işlemlerdir. Metal yüzeylerde, elektrokimya prensiplerine dayalı olarak uygulanan su bazlı astar kaplamaya "kataforez kaplama" denilmektedir. İletken zellik gösteren tüm metal yüzeylere kataforez kaplama uygulanabilmektedir [19].

Kataforetik kaplama, otomotiv endüstrisinde de elik, dökümler, levhalar, dövme parçalar ve alüminyum gibi bileşenlerin korozyona karşı korunmasının en iyi yollarından biridir. Ayrıca kapaklar ve geniş bir yüzey alanına sahip metalden yapılmış diğer öğeler gibi metalden yapılmış işlevsel nesnelerin tek katmanlı

kaplanması için de kullanılır. Kataforez kaplama, parçanın ömrünü uzatır ve korozyona karşı kalitesini garanti eder [4], [20].

2.3.1. Kataforez Kaplama Avantajları

Kataforetik boyama, küçük boyutlar ve karmaşık geometrik şekillerle karakterize edilen parçalar üzerinde kaplama oluşturan bir teknolojidir. Tercihen kaplama kalınlığı az olan alanlarda (korumalı, içi boş vb.) kaplama devam eder. Bu sayede zor ulaşılan yerler ve keskin kenarlar da dahil olmak üzere tüm yüzeyde çok düzgün bir kaplama elde edilir [21–23]. Flanşlar ve kutu profil gibi oldukça girintili alanlarda koruyucu filmlerin oluşması kritik korozyon koruması sağlar.

- Özellikle spreyle uygulanan kaplamalarla karşılaştırıldığında, %95'ten daha iyi aktarım verimliliği, daha az boya israfıyla sonuçlanır.
- Pratikte tek taşıyıcı olarak suyun kullanılması, yangın tehlikesini fiilen ortadan kaldırır, su ve hava kirliliğini maddi olarak azaltır ve bu koşulları kontrol etmek için tesislerin maliyetini önemli ölçüde azaltır.
- Düşük boya banyosu viskozitesi (yaklaşık olarak suyunkine eşittir) pompalama kolaylığı sağlar.
- Süreç otomatik olduğundan, doğrudan işçilik maliyetleri önemli ölçüde azalır [20].

2.3.2. Kataforez Kaplama Sınırlamaları

Kataforez kaplama işleminin avantajları dezavantajlardan çok daha fazla olmasına rağmen, bazı sınırlamalar mevcuttur.

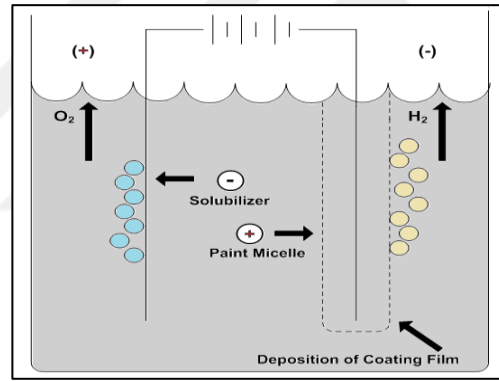
- Kataforez kaplama sadece elektriksel olarak iletken substratlar üzerinde gerçekleşebilir. Bir ünite kaplandığında ve fırınlandığında, standart elektro kaplama ürünleriyle ikinci katın kataforez kaplaması imkansızdır. Bu nedenle, kataforez kaplama esas olarak astar katların uygulanması için kullanılır.
- Çeşitli renkler mevcuttur yalnız çoklu renkler genellikle elde edilemez.
- Tesis yatırım maliyeti diğer boya tesislerine göre yüksektir.

- Kaplamanın istenmediği bölgelerde maskeleme maliyeti ve işçiliği ortaya çıkar [24], [25].

2.3.3. Kataforez kaplamanın elektrokimyasal süreçleri

"Katodik" ve "katyonik" terimleri eşanlamlı olarak kullanılabilse de, konunun iki farklı yönüne atıfta bulunurlar.

Pozitif yüklü elektrotlara anot, negatif yüklü elektrotlara katot denir. Bir su çözeltisi, "iyonlar" adı verilen yüklü parçacıklar içerir. İyonlar, yüklü atomlar veya moleküllerdir. Anyonların negatif, katyonların ise pozitif yükleri vardır. Zıt kutuplar birbirini çektiğinden negatif yüklü katot pozitif yükleri çeker ve dolayısıyla negatif yükleri iter. Katot konumunda nispeten sabit olduğundan, katyonlar ona doğru hareket eder. Bu harekete göç denir.



Şekil 2.2: Elektrokimyasal reaksiyon.

Negatif yüklü iyonlar, pozitif yüklü reçine moleküllerini bir katodik sistemde çözelti içinde tutar. Reçinenin çözünürlüğü, pozitif ve negatif yüklü iyonların kritik dengesine bağlıdır (Şekil 2.2) [26].

Boya katotta biriktiğinde, prosese katodik, pozitif yüklü boyaya ise katyonik boya denir. Katodik ve katyonik terimleri sırasıyla boyanın bırakıldığı yeri ve bırakılan boyanın yükünün türünü belirtir.

Elektro kaplama işlemi, ED, E-Kaplama, Elektro boyama, Kataforez işlem ya da Elektroforetik Boyama olarak adlandırılır. Katodik elektro kaplama, kaplanacak nesnenin suyla inceltilmiş bir boyaya daldırıldığı boya kaplama tipi bir işlemdir. Daha sonra boyadan bir doğru akım (DC) geçirilir. Katodik sistemde kaplanacak

madde katot haline getirilir (negatif yüklenir). Boya katıları pozitif yüklüdür ve bu nedenle katoda çekilir.

Özetle, iletken bir çözelti içeren bir banyoda iki elektrota bir elektrik potansiyelinin uygulanması, çözeltinin elektrolizini ve yüklü parçacıkların elektroforezini üretir. Pıhtılaşma veya birikme, katotta meydana gelir. Bu işlem, katodun tüm yüzeyini sürekli ve eşit bir film kaplayana kadar devam eder. Elektro-birikimli film, belirli bir voltajda nispeten yüksek bir elektrik direncine sahip olduğundan, film tüm yüzeylerde ve kenarlarda neredeyse eşit olduğunda süreç kendini durdurur. Film kalınlığı, biriken kaplamanın direnci ile doğru orantılıdır [26].

2.4. Kataforez Kaplamayı Etkileyen Faktörler ve Önleyici Eylem Yöntemleri

Kataforez elektro kaplama kalitesini etkileyen etmenler akım yoğunluğu, derişim ve karıştırma, sıcaklık, metal özellikleri, banyoda kirlilik, ön işlem kaynaklı hatalar ve pH etkisi olarak tanımlanabilir. Kaplamayı etkileyen faktörler ve önleyici eylem yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

Tank karıştırma. Boya tankının çalkalanması, boya süspansiyonu, filtreleme, pompalama ve kaplamadan kaynaklanan fazla ısının giderilmesi için gereklidir. Uygun çalkalama, başlık/edüktör sistemine ve sirkülasyon pompasına bağlıdır. Kırık veya yanlış ayarlanmış karıştırıcı edüktörler, üretimde görüntü bozukluklarına ve boya tankında ölü bölgelere neden olabilir. Arızalı bir pompa, zayıf banyo sirkülasyonuna, köpük ve görünüm bozukluklarına neden olabilir. Tankın aşırı çalkalanması parçaların düşmesine neden olabilir. Karıştırmayı kontrol etmek için altı ayda bir tank temizliği yapılmalıdır ve pompa ızgaralarının haftalık olarak temizlenmesi tıkanmayı önleyecektir.

Fırın. Fırın, nihai kaplama görünümü ve istenen performans özellikleri için kritik öneme sahiptir. Fırın birikiminin izlenmesi ve gerektiğinde temizlenmesi önerilir. Doğru fırın dengesi ve dehidrasyon bölgesi sıcaklıklarını sağlamak için fırın sıcaklığı kayıt cihazları altı ayda bir çalıştırılmalıdır.

Redresör. Redresör dalgalanma için yıllık olarak kontrol edilmelidir. Kalibrasyonun doğruluğunu sağlamak için amperaj ve voltaj göstergeleri de kontrol edilmelidir. Üretim yapılmayan saatlerde boya tankına kaçak voltaj gelmemelidir.

Anotlar. Elektrotlar bozulma, besleme ve dönüş akışlarının düzgün çalışması ve elektrik kablolarının bağlı olduğundan emin olmak için düzenli olarak kontrol edilmelidir. Anot performansını izlemek için her elektrotun amper çekişinin periyodik kontrolleri kullanılabilir.

Anolit. Anolit, boya banyosundaki fazla asit/bazı gidermek için gereklidir ve uygun sıvı seviyesi, iletkenlik ayar noktası göstergesinin ve probun düzgün çalışması, su kaynağının kullanılabilirliği ve besleme ve dönüş akışlarının çalışır durumda olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Taşıyıcılar / Raflar. Raf tasarımı, parça yükleme ve temizleme işlemini içerir. Garip şekilli parçalar için özel olarak tasarlanmış raflar ve küçük parçalar için yaylı kancalar bulunmalıdır. Parça topraklaması için tek kontak noktası olması ve bunların sıvı birikmesini, hava ceplerini, düşmeyi ve diğer parçalarla temasını önleyecek şekilde taşınması önerilir. Taşıyıcıların, rafların ve temas noktalarının temiz tutulması, kaplama hatalarını önlemeye yardımcı olacaktır. Topraklama sistemi aşınma ve iyi temas için yıllık olarak kontrol edilmelidir.

Durulama. Durulama sisteminin tıkalı veya yanlış yönlendirilmiş nozullar olmadan aylık olarak çalıştığından emin olunmalı. Püskürtme tank içinde olmalı ve devridaimli durulama akışı kademedan kademeye dengeli olmalıdır. Tankta boya katıları ve düşmüş parçalar birikip birikmediği kontrol edilmeli ve başlıklar, borulardaki çökelmiş malzemeyi çıkarmak için periyodik olarak temizlenmeli ve basınç 5-10 psi arasında tutulmalıdır.

Filtreleme. Elektro kaplama tankının filtrasyonu, hem torba filtreleri hem de ultra filtreleri içerir. Girişten çıkışa basınç farkı beş psi olduğunda torba filtreler değiştirilmelidir. Ultrafiltre akı oranı, üreticinin tavsiyelerine göre tesis göstergeleri ve temizleyici kullanılarak günlük olarak kontrol edilmelidir. Çoğu üretici, stabilize edilmiş akış hızının %70'inde temizlik yapılmasını tavsiye eder, aksi takdirde membranlar geri döndürülemez şekilde kirlenebilir, bu da kullanım ömrünü kısaltır ve temizlenmesini zorlaştırır. Ultrafiltre pompası basınç göstergeleri ile izlenmelidir.

Temizleme işlemi. Uygun temizleme parametreleri, metal işleme yağları, yüzey kiri, lifler ve kaynak isi gibi alt tabaka kirleticilerinin giderilmesini sağlayacaktır. İster asit ister alkalın temizleyici kullanılsın, konsantrasyon ve işlem süresi korunmalı ve günlük olarak izlenmelidir. Buna kumlama ve asitleme gibi yardımcı temizleme adımları da dahildir. Uygun ön işlem ve kaplama için temiz bir

alt tabaka gereklidir. Kirli veya kirlenmiş alt tabaka yüzeyleri nihai görünüm ve/veya performans sorunlarına yol açarak reddedilen parçalara ve yeniden işlemeye neden olur.

Ön işlem süreci. Ön işlem, gelişmiş boya yapışması ve performansı için bir dönüşüm kaplama olarak işlev görür. Bu sürecin yakından izlenmesi ve tedarikçinin tavsiyelerine göre takip edilmesi çok önemlidir. Optimum ön işlem kimyasının dört temel zaman, sıcaklık, basınç ve konsantrasyonun izlenmesini gerektirir. Uygun kaplama ağırlıkları ve kristal morfolojisi için rutin testler de yapılmalıdır. Elektro kaplamalı parçanın nihai görünümü ve performansı ancak hazırlığı kadar iyidir [27].

Su. Bir elektro kaplama sisteminin çalışması için yüksek kaliteli su şarttır. Kaliteli su, düşük iletkenlik, deiyonize için 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ veya ters ozmoz için 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den az, düşük silika seviyeleri ve mikropsuz olmasıyla karakterize edilir. En az iki su kaynağının, dönüşümlü olarak çalışan iki ünite veya bir ünite artı su depolama kapasitesi olması önerilir.

Yüzey. Yüzey kalitesi, kaliteli bir yüzey elde etmede ilk husustur. Alüminyumdan soğuk haddelenmiş çeliğe, galvanizden ısıtılmış işlem görmüş metallere kadar elektro kaplamada kullanılan birçok metal türü vardır. İlk giren ilk çıkar kuralını kullanmak, alt tabakaları temiz tutacaktır. Koruyucu saklama koşulları, ani paslanma ve diğer yüzey kusurlarının önlenmesine yardımcı olacaktır [28].

Çalışma parametresi etkileri. Temizleyici ve ön işlemden elektro kaplamaya kadar tüm sistemler, optimum çalışma aralıklarını öneren spesifikasyonlara sahiptir. Her bir spesifikasyonun kaplamanın görünümünü ve performansını nasıl etkilediğinin anlaşılması düzeltici ayarlamaların yapılmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca, doğru testler ve grafikler sayesinde sistemin tarihsel bir resmi oluşturulabilir ve kusurların oluşumu en aza indirilebilir.

Banyo katıları. Bu, pigmentleri ve boyanın uçucu olmayan bileşenlerini içerir. Düşük banyo katıları, daha düşük film kalınlığına, düşük fırlatma gücüne (throwing power) ve daha yüksek ultrafiltre akı oranına neden olur. Düşük banyo katıları, aşırı pasta ilavelerinden oluşur.

Pigment bağlayıcı oranı (P/B Oranı). Düşük pigment-bağlayıcı oranları daha yüksek parlaklığa, daha düşük püskürtme gücüne, daha az örtücülüğe ve daha fazla krater oluşumuna neden olur. Düşük pigment seviyeleri, aşırı reçine ilavesi ve tankta çökme nedeniyle oluşur. Yüksek pigment/bağlayıcı oranları parlaklığın azalmasına,

atma gücünün artmasına, banyo ve durulamalarda çökelmeye neden olur ve filmi su lekesine karşı daha hassas hale getirir. Yüksek pigment seviyeleri aşırı pasta ilavesinden kaynaklanır [19].

Banyo pH'ı. Yüksek banyo pH'ı tankta çökelmeye, kirlenmeye, ultra filtre geçirgenlik oranlarında düşüşe ve çizgilenmeye karşı hassasiyete neden olabilir. Yüksek pH aşırı anolit tahliyesi, deiyonize sudan kaynaklanan kostik kontaminasyondan kaynaklanabilir. Düşük pH aşırı asit seviyelerinden kaynaklanır ve yeniden çözünmeye neden olabilir. Düşük pH' ın olası nedenleri arasında yetersiz anolit tahliyesi, boya tankında anolit sızıntısı, yetersiz membran yüzeyi, membran yüzeyinin tıkanması, aşırı asit ilavesi ve taşınan veya düşük kaliteli deiyonize sudan kaynaklanan asit kontaminasyonu yer alır.

Banyo iletkenliği. Banyo iletkenliği. Düşük banyo iletkenliği zayıf fırlatma gücüne, düşük film oluşumuna ve pürüzlülüğe neden olabilir. Düşük iletkenliğe aşırı ultrafiltre tahliyesi ve düşük banyo katıları neden olur. Yüksek banyo iletkenliği yırtılmaya, yüksek film oluşumuna ve pürüzlülüğe neden olabilir. Yüksek iletkenlik, yüksek banyo katılarından ve taşınan iyonik kontaminasyondan veya düşük kaliteli deiyonize sudan kaynaklanır.

Solvent. Düşük solvent seviyeleri düşük film yapılarına, daha yüksek kopma voltajlarına, çizilmeye karşı hassasiyete (fosfat haritalama), daha düşük parlaklığa ve zayıf akışa veya portakal kabuğuna neden olabilir. Düşük solvent seviyeleri, yetersiz solvent ilavelerinin ve aşırı ultra filtre temizlemelerinin bir sonucudur. Yüksek solvent seviyeleri yüksek film yapılarına, düşük kopma voltajlarına, daha yüksek parlaklığa ve zayıf fırlatma gücüne neden olabilir. Yüksek solvent seviyeleri aşırı solvent ilavesinin bir sonucudur.

Atma gücü (Throwpower) karşılaştırmalı bir fonksiyondur ve boyanın girintili veya gizli alanları kaplama derecesi olarak tanımlanır.

Yüksek elektrik direncine sahip elektrokaplanmış filmler iyi bir fırlatma gücü sergiler. Atma gücü, elektrokaplama işleminin en kritik yönlerinden biridir.

Daha yüksek Atma Gücü elde etmek için voltaj artırılırsa dikkatli olunması gerekir. Film oluşumu ayrıca voltaj arttıkça artar ve hatta filmin yırtılmasına neden olabilir. Kopma (veya iğne deliği), yüksek akım yoğunluğu elektrotta kontrolsüz gaz çıkışı ürettiğinde meydana gelir [19], [28].

3. KATAFOREZ KAPLAMA PROSESİ

Kataforez kaplama prosesi Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, yüzey hazırlama prosesi (ön işlem), elektrokaplama prosesi ve kürlenme proseslerinden oluşur. Yüzey hazırlama prosesi sırasıyla; yağ alma (bir veya birkaç adımda), durulama, aktivasyon, fosfat kaplama, durulama, pasivasyon ve DI (Deiyonize) Durulama banyolarından oluşur. Elektrokaplama prosesi, kataforez kaplama, ultrafiltrat durulama banyolarından oluşmaktadır. Kürlenme prosesi ise pişirme fırınından oluşmaktadır [29].

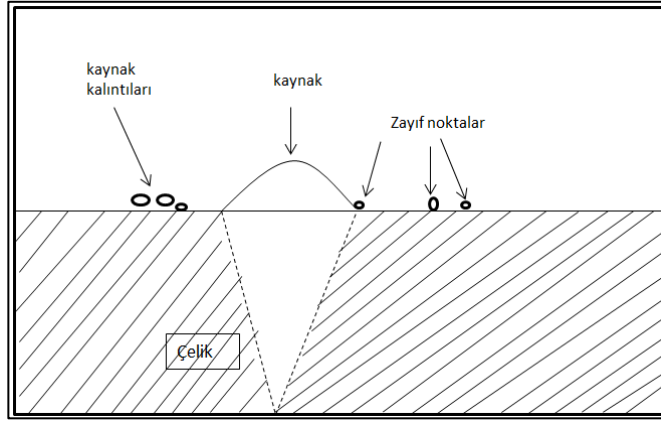
KATAFOREZ KAPLAMA PROSESİ									
YÜZEY HAZIRLAMA PROSESİ (Ön İşlem)							ELEKTRO KAPLAMA PROSESİ		KÜRLENME PROSESİ
YAĞ ALMA	DURULAMA	AKTİVASYON	FOSFAT KAPLAMA	DURULAMA	PASİVASYON	DEİYONİZE DURULAMA (DİDURULAMA)	KATAFOREZ KAPLAMA	ULTRAFİLTRAT DURULAMA	PİŞİRME FIRINI
BANYOLAR									

Şekil 3.1: Kataforez kaplama proses adımları.

3.1. Yüzey Hazırlama Prosesi (Ön işlem)

Metal yüzeylere boya filmi uygulanmadan önce ön hazırlama işlemi görmesi gerektiği bilinmektedir. Şekil 3.2’de ön işlem gerektiren metal örneği verilmiştir. Etkili bir boya ve kaplama işlemi için, ön işlem prosesi büyük önem taşımaktadır. Metal kaplama işlemi için oldukça önemli bir adım olan bu işlem, metal yüzeylerinde biriken yağ ve kirin temizlenmesi sürecidir. Yağ ve kir, hem organik hem de inorganik yapıda bulunabilen maddelerdir. Organik maddeler, bitkisel ve hayvansal kaynaklı sabunlaşabilen yağlar, mineral yağlar, inhibitör ve balmumu gibi diğer organik kirlilik unsurlarından oluşmaktadır. İnorganik maddeler grubu içerisindeyse

metal oksitler, parlatma, aşındırma, yüksek ısılarda ergitmeden oluşan işlem kalıntıları ve toz döküntüler yer almaktadır [19].



Şekil 3.2: Ön işlem gerektiren metal örneği.

Yüzey hazırlama prosesinin (ön işlem) başlıca amaçları; metal parçasını temizlemek, boyanın metal parça üzerine tutunmasını arttırmak, metal parçası ile boyanın reaksiyonunu azaltmak (özellikle galvanizli yüzeylerde) ve korozyon dayanımını yükseltmektir [30].

3.1.1. Yağ alma

Yüzey hazırlama prosesinin ilk ve en önemli adımı yağ almadır. Yağ alma işlemi bir sonraki adımları da etkileyeceği için işlemin kusursuz olması çok önemlidir [31].

Yağ alma işleminde kullanılan temizleyici ürünlerinin her türlü yüzey kirleticisini (Şekillendirme yağları, yağlayıcılar, tuz kalıntıları, parçacıklar, korozyon katmanları ve diğerleri) çıkarması, yüzeyi su ile ıslanabilir hale getirmesi, yüzeyi bir sonraki işlem adımı için hazırlaması (dönüşüm kaplamaları, boyama v.b.) gerekmektedir.

Temizleyici ürünlerin seçiminde gerekli hususlar vardır. Başlıca hususlar; temizlenecek yüzeydeki kirin yapısı ve türü, solüsyon sıcaklığı, temizlenecek olan metal yüzeyi, çevre korumaya ilişkin gereklilikler ve maliyettir. Çevre korumaya ilişkin gereklilikler; toksik olmayan maddelerin kullanımı, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve sert kompleks oluşturu maddelerin kullanılmamasıdır.

Bunların yanı sıra, temizleyici ürünlere ayrılan sermaye yatırımı ve operasyon süresi de proseste kullanım için oldukça önemlidir [32].

İki türlü yağ alma işlemi uygulanabilir; çözücüler ile yağ alma ve alkali yağ alma.

Çözücüler ile yağ alma: 3 farklı yöntem ile uygulanabilmektedir: Metali çözücüye daldırma yöntemi, metal yüzeyini silme yöntemi ve çözücü buharında temizleme yöntemidir. Temizleme işleminde kullanılan genel çözücüler, benzin, benzen, trikloretilen ve perkloretilendir. Bu yöntemle temizleme işleminde kullanılan kimyasallar genel olarak insan sağlığına zararlı olduğundan pek tercih edilmemektedir [33].

Alkali yağ alma: Bitkisel veya hayvansal yağları sabunlaştırma, madeni yağları emülsiyeye etme yolu ile temizleme işlemi yapılır. Yağ ve partiküllerden alkali banyoda kullanılan çözelti ile arındırılır. Bu banyoda kostik ve deterjanlar mevcuttur. Bu işlem kaplama malzemeleri askıya dizilerek 10 dakika süreyle ve 60-65°C sıcaklıkta uygulanmaktadır. Banyo üzerinde biriken yağların tekrar malzeme üzerine sürülmemesi için yağ ayırıcı ile banyodan ayrılır [34].

Alkali yağ alma 3 farklı yöntem ile uygulanabilmektedir. Uygulama metotları; manuel uygulama, bir tesiste uygulama ve daldırma metodu ile temizle işlemidir. Bu çalışmada daldırma metotlu alkali yağ alma banyoları kullanılmıştır.

Manuel uygulama: Silme, fırçalama, manuel daldırma, püskürtme borusu ile uygulama, ayrıca yüksek basınç püskürtme ile uygulamadır.

Özellikle küçük ve özel parçalar veya aşırı büyük parçalar olması durumunda manuel uygulama yöntemleri kullanılmaktadır.

Bir tesiste uygulama: Sprey temizleme yöntemiyle tesislerde kullanılmaktadır. Operasyon süresi bu yöntem ile kısa sürmektedir. Basit bir geometriye sahip parçalar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Daldırma temizleme: Genelde kompleks yüzeyler için tercih edilir. Bu yüzeylerde boşluklar, kıvrımlı bölgeler için mükemmel temizlenmelidir. Püskürterek temizlemeye göre daha yüksek konsantrasyonlar, sıcaklıklar ve/veya uygulama süreleri gerektirmektedir. Endüstride kullanım için daha yüksek banyo hacimleri ve sirkülasyon pompalama veya hatta enjeksiyonlu su basması ile desteklenmesi gerekmektedir.

Alkali yağ alma malzemesinde olması gereken özellikler: metal yüzeyini ıslatma, derinlere nüfuz edebilme özelliği, yüzeydeki yağı söküp dağıtabilme özelliği, yağı parçalayabilme özelliği, emülsiye edebilme özelliği ve kolayca durulanabilme özelliğinin olmasıdır [33], [35].

3.1.2. Durulama

Durulama işleminin temel amacı, yağ alma kimyasalının sonraki banyolara taşınmasını olabildiğince minimize etmektir. Yağ alma malzemesinin alkali olmasından ve kir içermesinden dolayı içeriğinin diğer banyolara fazla miktarda taşınması kirin tekrar malzeme üzerine bulaşmasını sağlayabilir, takip eden banyoların performansını bozabilir, hatta içerdiği kimyasalları etkisizleştirebilir. Durulama işlemi, yağ alma malzemesinin yüzeyden yeterli düzeyde uzaklaştırılmasını sağlamalıdır. Fosfatlama öncesi yapılan durulamalarda genellikle şehir suyu ya da kuyu suyu kullanılabilir. Durulama banyolarında bir kimyasal kullanılmamaktadır.

Yüzey hazırlama konusunda fosfatlama sonrasındaki işlemler fosfatlama öncesi işlemler kadar önem arz eder. Fosfatlama işlemi tamamlandıktan sonra, yüzeydeki kaplamanın suyla iyice durulanması gerekmektedir. Bu bölümde kullanılacak durulama banyolarında, deiyonize su kullanılmalı ve klorür konsantrasyonu 50 mg/l'tnin altında olmalıdır. Pasivasyon banyosundan gelebilecek kirleticilere karşı pasivasyon sonrasında da bir durulama banyosu kurulmalıdır. Bu bölümde de kullanılacak durulama banyolarında, deiyonize su kullanılmalı ve klorür konsantrasyonu 50 mg/l'tnin altında olmalıdır [31].

3.1.3. Aktivasyon

Çinko fosfat tabakalarının fosfatlama hızı, kalınlığı ve kristal boyu, sadece fosfatlama banyosunun bileşimine ve kullanma tarzına bağlı olmayıp, ayrıca metal yüzeylerin fosfatlamadan evvelki ön hazırlığına da bağlıdır. Dolayısıyla kuvvetli alkali temizleyiciler ve asit aşındırıcılar çoğu zaman yüzeyi düzenli bir şekilde kaplayacak fosfat tabakasının oluşması için gereken süreyi uzatırlar. Buna karşılık pürüz giderme, fırçalama ve hatta sadece silme gibi önceden yapılan mekanik

hazırlıklar, tabakayı belirgin olarak inceltir. Fosfatlamadan önce metal yüzeyinde özel bir ön durulama (aktivasyon) yapılırsa, fosfat kristalizasyonu için gereken katodik çekirdeklerin sayısı arttırılabilir. Burada, fosfat tabakası oluşumunda bir aktivasyondan söz edilir. Takip eden fosfatlamada bu aktivasyon kendini aşağıdaki şekillerle belli eder:

- Birim yüzeyde fosfat kristali sayısında artış (aktif çekirdekler oluşturur.)
- Kaplamanın homojen, kristallerin ince olmasını sağlar.
- Fosfatlama reaksiyonunu düzenler, reaksiyon süresini kısaltır.
- Aktivasyon malzemeleri sadece Çinko ve Mangan fosfat uygulamalarında kullanılırlar.

3.1.4. Fosfat Kaplama

Fosfat kaplama işlemi; çinko fosfat, demir fosfat, mangan fosfat olarak sınıflandırılabilir. Yapılan bu çalışmada otomotiv sektöründe çok tercih edilmesinden ötürü daldırma yöntemli çinko fosfat kaplama kullanılmıştır.

3.1.4.1. Çinko Fosfat

Günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çinko, korozyon önleyici kaplamaların (Zn, Cu, Ni, Cr) üretiminde geleneksel olarak kullanılan elementler arasında en ucuz elementlerden biridir ve ek olarak, Zn kaplama işlemleri çok basittir, büyük finansal harcamalar gerektirmez [1].

Çinko fosfat genellikle boya altında koruyucu tabaka olarak uygulanır. Bu işlem, yüzeyi homojen bir fosfat filmi ile kaplayarak ve metalin yüzey alanını artırarak metal yüzeye daha iyi bir boya tutma yeteneği kazandırmayı amaçlar. Daldırma ve püskürtme yöntemleri ile uygulanır [36].

Çinko fosfat endüstride mono katyon (Zn), di katyon (Zn, Ni) veya tri katyon (Zn, Ni, Mn) olarak uygulanır.

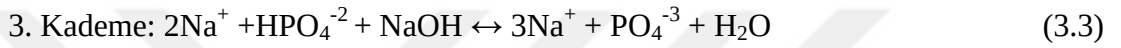
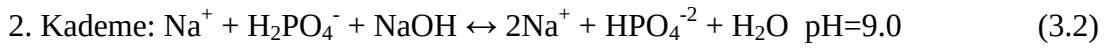
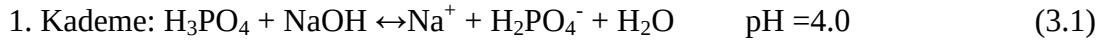
Çinko fosfat kaplama işleminin temel prensipleri: Çinko fosfat kaplama işlemi için çinko fosfat banyosunda serbest asit, toplam asit, hızlandırıcı, pH, flor ve sıcaklık banyo değerlerine bakılır. Operasyon çalışma değerleri ürünlerin sağlandığı

tedarikçi tarafından belirlenmektedir. Çalışma sıcaklığı 48-52 °C aralığında olmalıdır.

Çinko fosfat banyosunda serbest asit ve toplam asit değerine bakılır. Titrasyon analizi ile banyodaki asit değerleri tedarikçi tarafından verilen çalışma aralıklarına uygun olarak kontrol edilir.

Fosforik asit (fosfat asiti) üç hale iyonize olabilen proton (H^+) içeren bir triasittir.

Fosforik asitin sodyum hidroksit ile reaksiyonu aşağıdaki denklemler ile gösterilebilir.



Yukarıdada görüldüğü gibi fosforik asitin sodyum hidroksit ile üç ekivalans noktası vardır. Birinci ekivalans noktası serbest asiti, ikinci ekivalans noktası toplam asiti gösterir, üçüncü ekivalans noktası titre edilemez.

Çinko fosfat banyoları başlıca fosforik asit, primer çinko fosfat ve görevleri açıklanacak diğer kimyasallardan oluşurlar;

Hızlandırıcıların işlevi: Kaplamayı makul bir zamanda tamamlayabilmek için bazı hızlandırıcılar kullanılır. Bu hızlandırıcılar iki gruba ayrılır;

1. Ağır metal tuzları (Özellikle bakır ve nikel): Bakır ve nikel tuzları saç üzerindeki katodik bölgeleri arttırarak ve oluşan kolloidal çinko fosfat üzerine etkiyerek çökme sürecini hızlandırır.

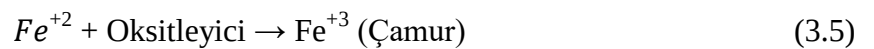
2. Oksitleyiciler: Çinko fosfat banyolarında kullanılan oksitleyiciler başlıca nitrit (NO_2^-), klorat (ClO_3^-), nitrat (NO_3^-) ve hidrojen peroksit (H_2O_2).

Oksitleyicilerin iki ana işlevi vardır.

I. Oluşan hidrojeni oksitleyerek bertaraf etmek.



II. Anodik reaksiyonlar sonucu banyoda biriken iki değerlikli demiri üç değerlikli hale getirip çöktürmek.



Çinko fosfat malzemelerinin seçimi için boya altı çinko fosfat uygulanan tesislerde kaplama yapılan metal çok önemlidir.

İşletmede ağırlıklı olarak (toplam metal yüzeyinin yaklaşık % 90'ı) demir ve çelik malzeme kaplanıyorsa proses seçiminde standart ürünler kullanılabilir.

İşletmede karma metal kullanılıyorsa malzeme seçiminde özellikle Alüminyum, Galvaniz (Sıcak daldırma galvaniz (HDG), elektrogalvaniz (EG)) ve Zamak için flor miktarı ayarlanabilen ürünler seçilmelidir [33], [37], [38].

3.1.4.2. Demir fosfat

Demir fosfat temel fosfatlama işlemidir. Yüzey hazırlama işlemleri ilk olarak demir fosfat uygulamaları ile başlamış ve günümüzde uygulanan çeşitliliğe ulaşmıştır. Demir fosfat galvaniz ve alüminyum yüzeylerde de temizlik ve aşındırma özelliği nedeniyle kullanılabilir.

Demir fosfat daldırma, püskürtme ve yüksek basınçta elle püskürtme yöntemleri ile uygulanabilir. Kaplama ağırlıkları 0.2 - 1.2 gr/m² arasında çalışma şartlarına ve kimyasala bağlı olarak değişir. Demir fosfat yüzey görüntüsü, banyo zayıf asidik (pH:4-6) olduğundan yüzey kirliliklerinden çinko fosfata nazaran daha çok etkilenir. Çinko fosfat banyoları asidik (pH:2-3) olduklarından yüzeydeki bir takım kirlilikler ve oksitlenmeleri temizleme özelliği vardır, buna karşın demir fosfatta böyle bir şans yoktur. Sonuç olarak demir fosfat uygulamalarında yüzey temizliği, yağ alma ve durulama banyolarının titiz kontrolünü gerektirir.

Demir fosfat uygulamasının avantajları:

- Yüzeye boya tutunmasını artırır.
- Boya tabakasının darbe direncini artırır.
- Boya tabakasının elastikiyetini artırır.
- Yüzeyin korozyon direncini artırır, korozyon direnci çinko fosfata göre daha düşüktür.
- Demir fosfat uygulamasında yüzeyde metal ile boya arasında kalan bir film tabakası oluşur.

Demir fosfat uygulamalarında kontrol edilmesi gereken parametreler; toplam asit, pH, sıcaklık ve zamandır.

Demir fosfat malzemeleri ile alüminyum, galvaniz (HDG, EG), bakır ve zamak gibi metallere kaplama yapılmaz, ancak demir fosfat banyoları zayıf asidik özellik taşıdıklarından bu metaller üzerinde aşındırma etkileri olacağından pürüzlü bir yapı

oluştururlar ve boya tutunmasını sırf yağ alma yapılmış yüzeye göre arttırırlar [33],[39].

3.1.4.3. Mangan Fosfat

Mangan fosfat yağlı ortamlarda sürtünmeyi azaltan fosfat uygulaması olduğu bilinmektedir. Metal yüzeyinde bir tabaka görevi yapar ve yağ emme kapasiteleri oldukça yüksektir. Çinko fosfata göre daha fazla basınca ve sıcaklığa dayanıklıdır. Mangan fosfat tabaka ağırlıkları 4 - 60 gr/m² arasında çalışma şartlarına ve seçilen prosese göre değişir.

Yaygın olarak dişli, piston ve silah sanayinde kullanılırlar [33], [39].

3.1.5. Pasivasyon

Bir metal yüzeyi, bir dönüşüm kaplamasını aldıktan sonra, tepkimeye girmemiş dönüşüm kaplama kimyasallarını çıkarmak için durulanır ve pasivasyon ve/veya son durulama uygulanır. Yüksek kaliteli bir fosfatlama üretmekte son adım, etkili bir son durulama uygulamaktır.

Pasivasyonun etkisi aşağıdaki gibi sıralanabilir:

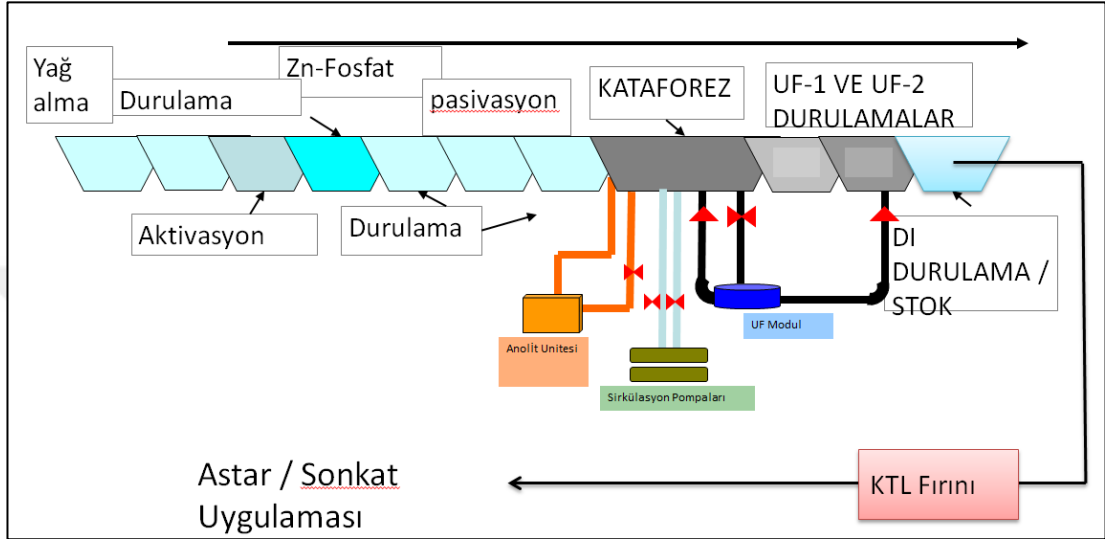
- Korozyondan korunma arttırılır.
- Boya tutunma daha iyidir.
- Boya tabakasında, hava kabarcıkları oluşması azalır.
- Tesis durup çalışmadığında, pas oluşması azalır [31].

3.1.6. Deiyonize Durulama (DI Durulama)

Deiyonize (DI) veya ters osmoz su ile durulama işlemi, yüzey hazırlama hat-tında yer alan son adımdır. Bu işlemin asıl amacı, iş parçası yüzeyindeki sert/kireçli su tuzlarını uzaklaştırmak ve boyama işlemine hazır hale getirmektir [31]. DI su boya filminin görünüm ve performansına etki eder ve kaplama proseslerinde ön işlem, kataforez banyo ve yıkama işlemlerinde kullanılır [40].

3.2. Kataforez Elektrokaplama Prosesi

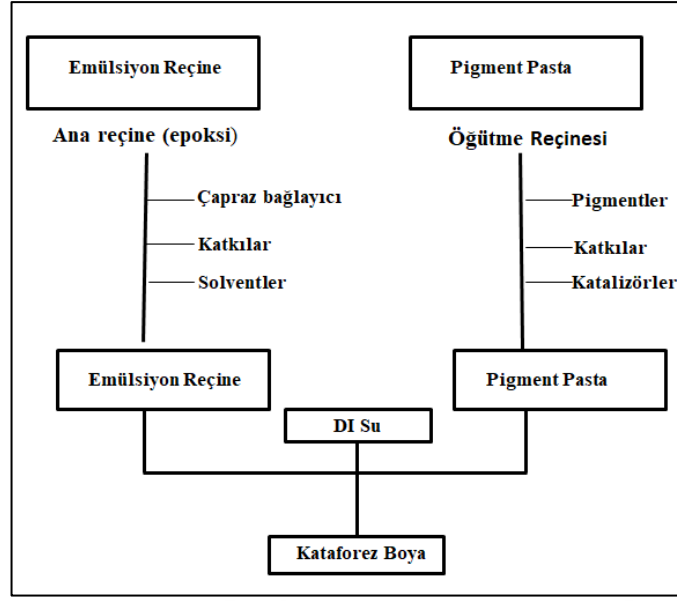
Kataforez kaplama prosesi genel görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir. Elektrokaplama (Kataforez kaplama) sisteminde; kataforez kaplama banyosu, redresörler, ultrafiltrasyon banyoları ve anot sistemi bulunmaktadır [38].



Şekil 3.3: Kataforez kaplama prosesi genel görünümü.

3.2.1. Kataforez Banyosu

Kataforez boyası son derece kalıcıdır ve sürekli karıştırma gerektirir. Bu nedenle sirkülasyon pompaları sürekli olarak çalıştırılır. Kataforez kaplama doğrudan elektrik akımı altında yapıldığından bu işlem sırasında ısı açığa çıkar. Bu ısı boyayı bozabilir. Bunu önlemek için, boyayı 30 °C sabit sıcaklıkta tutmak için bir soğutma üniteli boya sirkülasyonu kullanılır. Kataforez banyoyu oluşturan bileşenler Şekil 3.4'te özetlendiği gibi, reçine, pigment pasta, solvent, asit ve DI sudan oluşmaktadır.



Şekil 3.4: Kataforez banyoyu oluşturan bileşenler.

- Reçine kataforez kaplamanın omurgasıdır. Boya filmini tutan koruyucu bir polimer tabaka oluşturur. Kataforez yapısında korozyon direnci, UV dayanıklılığı, mekanik özellikler, kimyasal özellikler ve kalınlık sağlar.
- Pasta kataforez yapısına renk, parlaklık kontrol, akış kontrol, anti-korozyon ve mekanik özellikler sağlar.
- DI su reçine ve pastaları askıda tutmak için kullanılır.
- Aminler ya da asitler suda çözünebilir kaplamayı oluştururlar.
- Birleştirici solventler film homojenliğini artırmak için kullanılır. Solventler kalınlık ve görünüşü/görselliği ayarlamak için kullanılır [26].

3.2.2. Redresörler

Kataforez redresörü, esas olarak alternatif akımı doğru akıma dönüştürür. Alternatif akım, genlik ve yönü periyodik olarak değişen elektrik akımıdır. Doğru akımda ise elektrik yüklerinin akışı aynı yönde gerçekleşmektedir. Kataforez redresörleri, bu işlemin gerektirdiği özelliklere sahip olarak tasarlanmıştır.

Çalışma programında rampa, akım gerilim kontrolü gibi özellikler kullanılarak reçete hazırlanabilir ve istenen boya kalınlığı standart olarak elde edilebilir. Kısacası kataforez redresörü doğru akım ve voltajı ayarlayarak kataforez kaplama kalınlığını da ayarlayan bir ünedir. Redresörde genellikle iki adet ölçü aleti olur. Voltmetre,

kataforez boyanın gövdeye ve parçalara uygulanan potansiyel voltajı gösteren bir ölçüm cihazıdır. Ampermetre ise tankın içindeki gövdenin çektiği akımı göstermektedir. Kataforez boya tanklarında kullanılan redresörler genelde yüksek ve düşük voltaj, yüksek akımlar ve rampa kontrolü ayarlarının kontrol altında tutulmalıdır [41].

3.2.3. Anot Sistemi – Anolit Sirkülayon sistemi

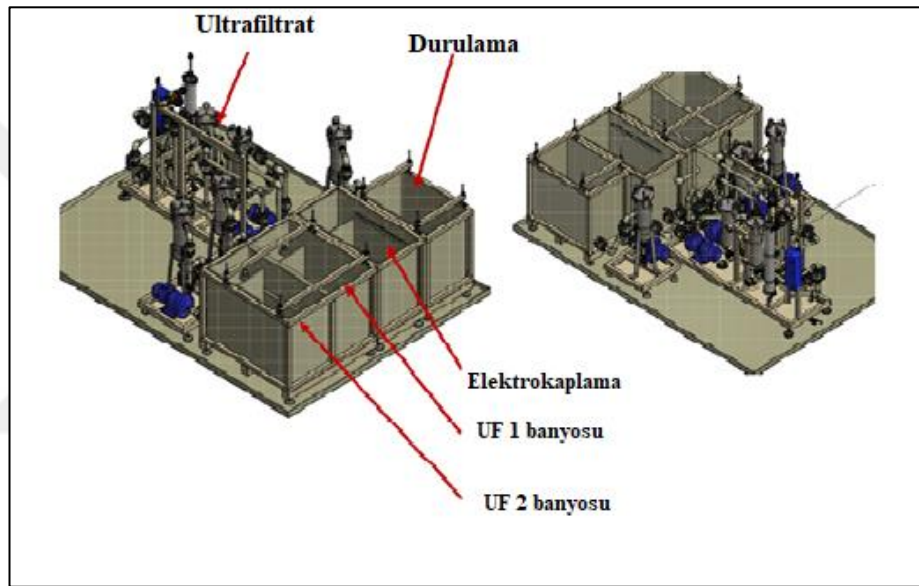
Kataforez kaplama banyosunda kaplama gerçekleştikçe pH dengesini korumak gerekir. Anot sistemi, banyodaki fazla asidi uzaklaştırmak, pH dengesini korumak için kullanılmaktadır. Standart anot, plastik kutu içerisine yerleştirilmiş paslanmaz çelik ve plastik kutuyu örten anyon değiştirici membrandan oluşmaktadır. Anotta yer alan membran, kaplama prosesi boyunca banyoya iyon geçişine izin verir. Anyon değiştirici membranlar katyonik yüklere sahiptir ve katyonları geçirmez. Anolit sisteminin çalışmaması durumunda boyanın pH değeri kritik değere kadar düşer. pH asit içeriği iletkenlik değeri ölçülerek kontrol edilir. Yüksek iletkenlik durumunda boyanın pH değeri azalır. Düşük iletkenlik durumunda boyanın pH değeri artar. Anolit sıvısının iletkenliğinin 700 ve 1400 $\mu\text{S/cm}$ arasında olacak şekilde ayarlanması gerekir. İletkenlik değeri üst limite ulaştığı zaman valf açılır, anolit çözeltisinin seyreltme işlemi anolit tankına DI su alınarak gerçekleşir. Boya banyosunun pH değerinin kontrol edilememesi, ince boya, yırtılma kaplama yapılamaması gibi problemler oluşturabilir [9], [19], [39].

3.2.4. Ultrafiltrasyon (UF Banyosu)

Kataforez banyosunda kaplanan, boyanan yüzeyde kalan fazlalıkların temizlenmesi için UF banyosunda yıkama işlemi yapılır. Bu sayede istenilen kalitede boya işlemi sağlanır ve boyama maliyeti düşürülür. Boyanın geri kazanımı bir UF ünitesi ile gerçekleştirilir. Bu banyo, kaplama sisteminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Yıkama banyoları UF I ve UF II den oluşmaktadır. Ultrafiltrasyon sistem görünümü şekil 3.5'te verilmiştir [21]. Banyo yılda bir kez içeriği boşaltılarak temizlenir. Temizleme prosedüründen sonra banyoya DI suyu verilir [21], [36].

Kataforez (KTL) banyosundan, UF II'ye kadar devam eden ve her iki durulamayı temiz ve gerekli koşullarda tutan ultrafiltrasyon ile saf ultrafiltrat üretilir. Kalan boya, kataforez küvetine geri döndürülür. Ultrafiltrasyon sayesinde, üründen veya durulama suyundan mekanik olarak yapışan boyanın sürekli geri dönüşümü ve böylece tüm seyreltilmemiş boyanın kataforez banyosuna geri dönüşü vardır. Bu sistem, %99,99' luk bir kaplama verimliliğine ulaşır. Kayıplar yalnızca filtreleri değiştirirken ve bakım yaparken buradadır.

Kataforez boya sistemine sadece demineralize su ve kendi banyo bileşenleri (solventler, reçineler, pigmentler) eklenir.



Şekil 3.5: Ultrafiltrasyon sistemi görünümü.

Ultrafiltrasyonun amacı aşağıda sıralanmıştır:

- Boya kurtarma; işten fazla boyayı çıkarmak için durulama suyu üretir. Toplanan boya, boya tankına geri gönderilir.
- Boya tankı kontrolü; ultrafiltratı sistemden çıkararak fazla serbest iyonları, düşük moleküler ağırlıklı reçineleri ve dönüşüm kaplamasından gelenleri giderir. Telafi etmek için taze DI su eklenmelidir.
- Tehlikeli atık minimizasyonu; dışarı sürüklenen boyanın %90'dan fazlasını kurtarır. Atık su arıtma tesisinde azaltılmış yük [26].

3.3. Fırın (Kürlenme Prosesi)

Malzemelerin kaplandıktan sonraki önemli bir diğer aşaması, kürlenme işlemidir. Öğeler durulandıktan sonra kürlenmeleri gerekir. Yüksek performans elde etmek için, ısıyla sertleşen reçineler sertleştiğinde çapraz bağlanır (kaynaşma veya erime). Çapraz bağ oluştuktan sonra (sertleşme sırasında) biriken nispeten küçük moleküller kimyasal olarak birleşerek sert ve solvent saldırısına karşı dirençli tek bir düzgün yüzey oluşturur. Gereken süre ve sıcaklık, kullanılan elektro kaplama ürününe bağlıdır. İyice kürlenmeyen kaplamadaki yapışma performansı, korozyon direnci zayıf olmaktadır. Kuruma süresi fırının sıcaklığına ve metal kalınlığı gibi parçaların konfigürasyonuna bağlı olarak değişecektir [26].

4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında kullanılan malzemelerin özellikleri, numune üretim yerlerinden sağlanan kimyasal ve mekanik özelliklerine dair bilgiler açıklanmıştır.

4.1. Akım Toplayıcı Plakaların Özellikleri

Deneyisel çalışmaya başlamadan önce bir deneysel çalışma raporu hazırlanarak, kullanılan 4 farklı metal türü, numune kodu olarak gruplandırılmıştır. Alüminyum plakalar için A grubu, sac plakalar S grubu, paslanmaz çelik plakalar P grubu ve galvaniz plakalar G grubu olarak adlandırılmıştır. Kullanılan plakaların ebatları ve uygulanacak testler aşağıdaki Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Tablo 4.1: Akım toplayıcı metal grubu, ölçüm testleri tablosu.

Numune Kodu	Malzeme	Adetler & Ebatlar	Karakaya 86 Proses & Hat	Karakaya 86 Ölçüm & Test
A GRUBU	Alüminyum Plaka	7 adet plaka Ebatlar: 7,5x12,5 mm	Kataforez kaplama	-Görünüm -Parlaklık -Kaplama kalınlığı -Yapışma testi -Tuz sisi testi
S GRUBU	Sac Plaka	4 adet plaka Ebatlar: 7,5x15 mm	Kataforez kaplama	-Görünüm -Parlaklık -Kaplama kalınlığı -Yapışma testi -Tuz sisi testi
G GRUBU	Galvaniz Plaka	8 adet plaka Ebatlar: 7,5x12,5 mm	Kataforez kaplama	-Görünüm -Parlaklık -Kaplama kalınlığı -Yapışma testi -Tuz sisi testi
P GRUBU	Paslanmaz Çelik Plaka	8 adet plaka Ebatlar: 7,5x12,5 mm	Kataforez kaplama	-Görünüm -Parlaklık -Kaplama kalınlığı -Yapışma testi -Tuz sisi testi

4.1.1. Al Plaka

Alüminyum doğada bileşikler halinde bulunur. Yerkabuğunda, yaklaşık %8 civarında bir oranla alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra en yaygın üçüncü element konumundadır. Yerkabuğunda bu kadar çok bulunmasına karşın varlığı 1808 yılında İngiliz Sir Humpry Davy tarafından tespit edilmiştir. Bu metalin ticari anlamda üretim teknolojisi ancak 1886'da Paul Louis Toussaint Héroult (Fransa) ve Charles Martin Hall (ABD) tarafından birbirlerinden habersiz olarak ayrı ayrı çalışılarak geliştirilmiştir. Özellikle son yıllarda, enerji tasarrufu odaklı çalışmalar, daha az yakıt tüketen hafif ve ekonomik taşıtların üretimini teşvik etmiş alüminyum alaşımları, otomobillerde, otobüslerde, trenlerde, deniz taşıtları yapımında öncelikli olarak tercih edilen malzemeler haline gelmiştir.

Alüminyum bir çok alanda diğer metallere göre avantajlı kılan en önemli ana özellikleri; mekanik özellikleri ile düşük ağırlık, hafifliğine karşın alaşımlandırıldığında yeterli mukavemeti, geri dönüşebilirliği, korozyona karşı direnci, çekilebilirliği, kolay işlenebilir ve şekillenebilir olması, dövülebilirliği, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği ve parlama ve alev almazlığıdır [42].

Alüminyum Assan tarafından EN 10204-3/1 /EN 15088 standartlarına uygun üretilen plakaların kalınlığı 1,5 mm olup %99,5 saflık içermektedir. İçerisinde Si, Fe, Cu, Mn, Zn, Mg ve Ti bulunmamaktadır. Kullanılan Al plakanın mekanik özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir, galvaniz plakaya kıyasla dayanımı daha düşüktür.

Tablo 4.2: Alüminyum plaka mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikler		
Çekme. Mpa Tensile Str.	Akma MPa Yield Str.	Uzama A50% Elongation
105,0	85,0	4,0
145,0	-	-
133,0	126,0	5,0

4.1.2. Galvaniz Plaka

Galvanizli çelik, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci gibi uygun özellikleri nedeniyle otomotiv ve nakliye endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Organik kaplamanın yüzeye zayıf yapışması, galvanizli çelik

uygulamalarının en önemli sınırlamalarından biri olarak kabul edilebilir [43]. Araç gövdelerinin yapımında şu anda galvanizli saclar kullanılmaktadır. Üretimde araç gövdeleri, yüzeylerini dış etkenlerin etkilerinden koruyabilen bir dizi işlem (kataforez banyosu, boyama) geçse de, malzemenin kendisinin gerekli korozyon önleyici özellikleri sağlaması önemlidir. Bu sonuçta araç gövdesinin genel korozyon direncini daha da artıracaktır [44].

Kullanılan galvaniz plaka MMK Metalurji EN 10346 standartlarına uygun üretilen plakaların kalınlığı 1,5 mm olup mekanik özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Re, akma mukavemetini, Rm, çekme mukavemetini ifade etmektedir.

Tablo 4.3: Galvaniz plaka mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Uzama %	Akma dayanımı /Çekme dayanımı (Re/Rm)
287	373	31,80	0,76

4.1.3. Paslanmaz Çelik Plaka

Yıllar geçtikçe çelik, otomotiv endüstrisindeki ana malzemeler olmaya devam etti. Çelik, yüksek esneklik modülü ile geniş bir esneme dayanımı aralığına sahiptir. Çelik, düşük maliyeti nedeniyle otomotiv uygulamalarında da en çok tercih edilen malzeme olarak kabul edilmektedir. Çeliğin diğer faydaları arasında yakıt verimliliği, gelişmiş güvenlik, iyi geri dönüştürülebilirlik ve şekillendirilebilirlik özelliklerine yol açan yeni nesil yüksek dayanımlı çelik kullanılarak hafif ağırlıklandırma fırsatları yer alır. Çeliğin otomotiv sektöründe kullanılmasına ilişkin diğer avantajlarından bazıları, şekillendirme kolaylığı, tedarik tutarlılığı, çinko kaplamalarla korozyon direnci, birleştirme kolaylığı, geri dönüştürülebilirlik ve iyi çarpma enerjisi emilimidir. Dezavantajlardan bazıları, çeliğin rakip malzemelerinden daha ağır kabul edilmesi ve kaplanmadığı takdirde çok kolay aşınmasıdır [45], [46].

Deney çalışmasında kullanılan EN 10204 standartlarına uygun 316 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Bileşiminde en fazla Cr olup, C, Si, Mn, P, S, Ni, N ve Mo bulunmaktadır.

4.1.4. Sac Plaka

Saclar, sürekli döküm yöntemiyle üretilen slabların sıcak haddeleme ve ardından soğuk haddeleme işlemlerinden geçtikten sonra oluşan çelik saclardır. Saclar, yüksek yüzey düzgünlüğü, çapaksız kenarları, dekoratif parlak görünümü, yüksek mukavemet değerleri ve kaynak kabiliyeti ile öne çıkan saclardır. Sanayide yaygın olarak kullanılırlar ve genellikle rulo veya levha halinde bulunurlar.

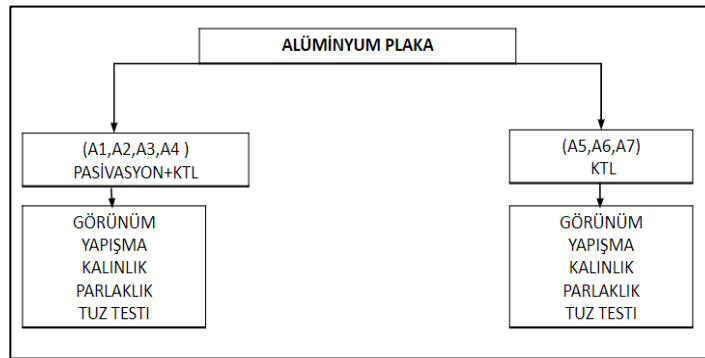
Sacların kullanım alanları arasında otomotiv sektörü, beyaz eşya imalatı, yapı sektörü, metal mobilya üretimi ve genel metal işleme endüstrisi yer almaktadır[47].

4.2. Akım Toplayıcı Plakaların Kataforez Kaplama Yöntemleri

Bu başlık altında farklı türde kullanılan plakaların deneysel tasarım metotları ve bu metotların uygulama aşamaları açıklanmıştır.

Her proses KARAKAYA 86 firmasının üretim tesisinde incelenmiştir.

4.2.1. Al Plaka

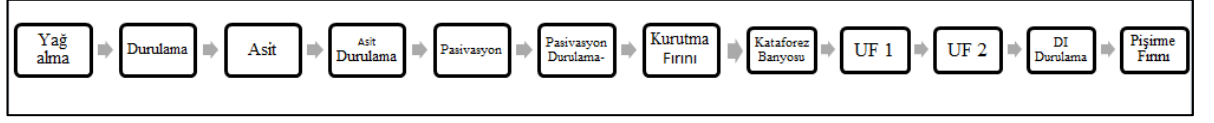


Şekil 4.1: Alüminyum plaka için deney planı.

Al plakalar, Şekil 4.1'deki deney planında belirtildiği gibi iki farklı proseste kaplanmıştır.

1) Pasivasyon-Kataforez (KTL) hattı: Kaplama için hazırlanan alüminyum plakalardan; A1, A2, A3 ve A4 numaralı plakaların Al-Pasivasyon hattında ön işlem

prosesi gerçekleştikten sonra kataforez banyosunda kaplanmıştır. şekil 4.2 birinci proses için kullanılan banyoları sırasıyla göstermektedir.



şekil 4.2: Pasivasyon-KTL hattı banyo sıralaması.



şekil 4.3: Al-Pasivasyon hattından görünüm.

Al-Pasivasyon hattından çıkan plakalar işlem sonrasında kuruması için bekleme istasyonunda bekletilmiştir (şekil 4.4).



şekil 4.4: Al-Pasivasyon hattından çıkan plakalar.

Proses esnasında ölçülen banyo analiz sonuçları Tablo 4.4'te ve reçete detayı Tablo 4.5'te belirtilmiştir.

Tablo 4.4: Al-Pasivasyon hattı banyo değerleri.

BANYOLAR	% KONSATRASYON
SICAK YAĞ ALMA (KOH)	3,94
ASİT (HCL)	5,8
PASİVASYON(Cr^{+3})	12,74

Tablo 4.5: Al- Pasivasyon hattı reçete detayı.

Adım No	Kazan İsmi	Zaman (dk, sn)	Süzülme (dk, sn)
1	Sıcak Yağ alma	4,00	0,15
2	Durulama	0,30	0,10
3	Asit	0,45	0,15
4	Asit Durulama	0,15	0,10
5	Pasivasyon	3,00	0,15
6	Pasivasyon Durulama- Sıcak	0,15	0,10
7	Kurutma Fırını	5,00	0,00
8	Boşaltma İstasyonu	0,00	0,00

2) KTL; diğer numaralandıran alüminyum plakalar (A5, A6 ve A7) ise, hiçbir ön işlem banyosuna daldırılmadan, elle mekanik silme işlemi yapıldıktan sonra Şekil 4.2'de verilen banyo sıralamalarından kataforez banyosu ile başlayıp elektrokaplama ve kürlleme prosesi ile tamamlanmıştır. Şekil 4.5 kaplama öncesi askılanan Al plakaların görünümünü, Şekil 4.6 ise yükleme istasyonunda kaplanmak üzere ktl hattına alınan plakaları göstermektedir.



Şekil 4.5: Kaplama öncesi Al plakaların askılanması



Şekil 4.6: Yükleme istasyonunda, kaplanmak üzere bekleyen Al plakalar.

Al plakalar için ktl boya banyo değerleri Tablo 4.6 'da özetlenmiştir.

Tablo 4.6: Al plakalar için KTL banyo değerleri.

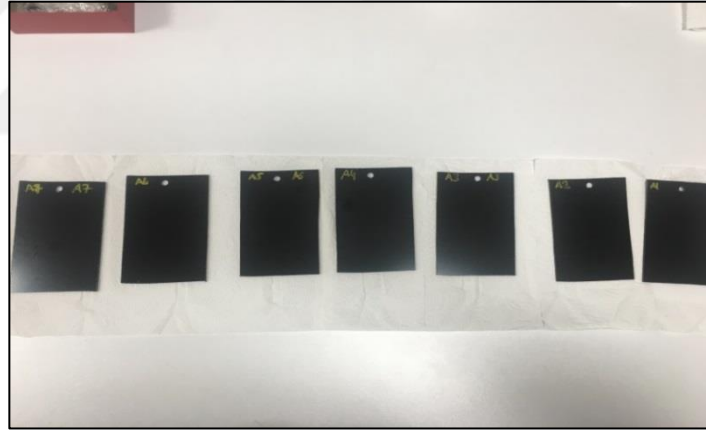
KTL		
BANYOLAR	PARAMETRELER	DEĞER
BOYA	%KATI	16,46
	%KÜL	2,072
	P/B	0,144
	İLETKENLİK (μ S)	1552
	pH	5,5

Tüm alüminyum plakalar kaplama işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 4.7'te gösterilen toplama istasyonunda soğutulmak üzere beklemeye alınmıştır.



Şekil 4.7: Toplama istasyonu.

Kaplama sonrasında tüm Al plakalar performans testleri yapılmak üzere laboratuvara alınmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Performans testleri yapılacak alüminyum plakalar.

Farklı proseslerde kaplanan, laboratuvara alınan alüminyum plakalara görünüm, yapışma, kalınlık, parlaklık ve tuz sisi performans testleri uygulanmıştır. Öncelikle kaplanan tüm Al plakaların (A1, A2, A3, A4, A5, A6 ve A7) yüzey görünimleri tek tek gözlemlenerek her proses için incelenmiştir. Daha sonra kaplama kalınlıklarını ölçmek için kaplama kalınlık ölçüm cihazı ile ISO 2808 standartlarına uygun olarak Şekil 4.9’da olduğu gibi her proses çeşidi için (A1 ve A6) alüminyum numune kodlarında ölçülmüştür.



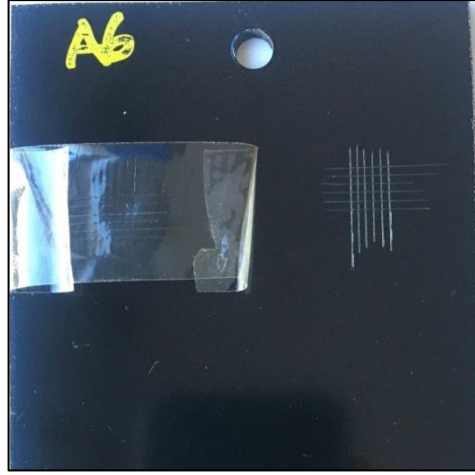
Şekil 4.9: Al plaka kaplama kalınlık ölçümü.

Parlaklık ölçümleri ISO 2813 standartlarına uygun olarak, parlaklık ölçer cihazı (glossmetre) kullanılarak otomotiv sektöründe baz alınan 60° açıda parlaklık tayini her proses çeşidi için (A1 ve A6) yapılmıştır (Şekil 4.10).



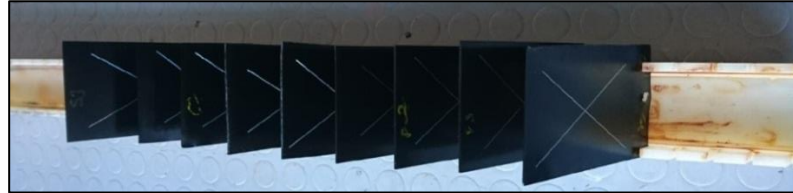
Şekil 4.10: Al plaka parlaklık ölçümü

Yapışma testleri ISO 2409 standartlarına uygun olarak Şekil 4.11’de örnek olarak gösterilmiştir. Her proses çeşidi için (A1 ve A6) uygulanmıştır.



Şekil 4.11: Al plaka yapışma testi.

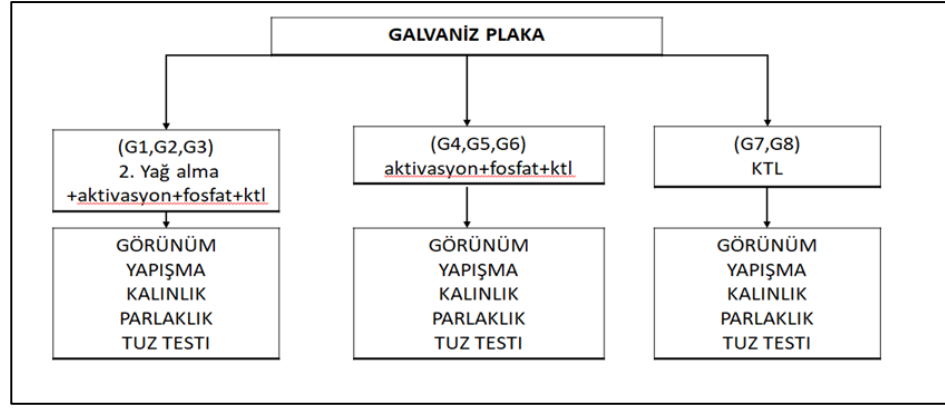
Tuz sisi testi bu çalışmada ISO 9227/ASTM B117 standartlarına uygun olarak ve kabin parametreleri TS EN ISO 9227 “Yapay atmosferlerde korozyon deneyleri Tuz püskürtme deneyleri” standartları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Test standartlarına göre hazırlanmış plakalar kaplandıktan sonra 35 °C sabit sıcaklık ve %95 nemde %5’lik sodyum klorür çözeltisini püskürten bir tuz sisi kabini içerisine yerleştirilmektedir. Şekil 4.12, plakaların test cihazına konulmadan önceki görünümüdür.



Şekil 4.12: Al plaka tuz sisi testi.

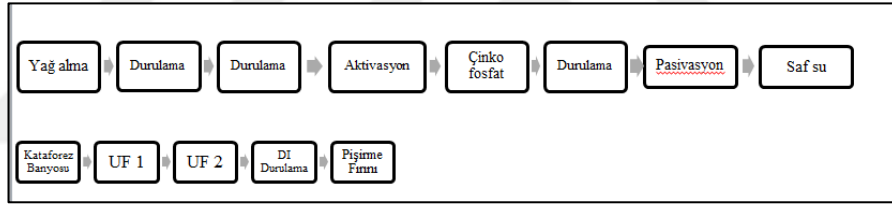
4.2.2. Galvaniz Plaka

Galvaniz plakalar için Şekil 4.13’te belirtildiği gibi üç farklı deney çalışması yapılmıştır.



Şekil 4.13: Galvaniz plakalar için deney planı.

G1, G2 ve G3 numaralı galvaniz plakalar sırasıyla yağ alma banyosundan başlayarak durulama, aktivasyon, çinko fosfat, durulama, pasivasyon ve saf su banyolarına daldırılmıştır. Elektro kaplama prosesi için ise kataforez banyo, UF banyoları (UF ve UF2) ve DI durulamada işlem gördükten sonra fırında kürlenme prosesi ile tamamlanmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Galvaniz plakalar 1.deney planı için KTL hattı banyo sıralaması.

2. deney planında ise G4, G5 ve G6 numune kodlu galvaniz plakalar Şekil 4.14'ten farklı olarak, yağ alma banyolarına tabi tutulmadan plakalar mekanik olarak silinmiştir. Ardından aktivasyon banyosu ile başlayıp, çinko fosfat, durulama, pasivasyon ve DI durulama banyolarına daldırılmıştır. Elektro kaplama prosesi için ise kataforez banyo, UF banyoları (UF ve UF2) ve DI durulama yapıp fırında kürlenme prosesi de gerçekleştikten sonra kaplama işlemi tamamlanmıştır.

Son olarak 3. çalışmada ise G7 ve G8 numaralı galvaniz plakalar, yüzey işlem banyolarında işlem görmeden mekanik olarak elle silinip direkt elektro kaplama prosesi olan; kataforez banyosundan başlayarak, UF banyoları ve DI durulama banyolarına daldırılmıştır. Kürlenme prosesi için fırına verilerek proses tamamlanmıştır.

Proses esnasında ölçülen boya banyo analiz sonuçları Tablo 4.6 ile aynı olup, reçete detayı Tablo 4.7’ de verilmiştir;

Tablo 4.7: Galvaniz plakalar için KTL hattı reçete detayı.

Banyo İsmi	Zaman (dk, sn)	Süzülme (sn, ms)	Voltaj (V)	Redresör Kontrol
Transfer 1 Giriş	0,00	0,00	-	-
Transfer 1 Çıkış	0,00	0,00	-	-
Yağ alma 2	1,30	5,00	-	-
Durulama	1,00	3,00	-	-
Aktivasyon	1,00	3,00	-	-
Fosfat	1,00	5,00	-	-
Durulama	1,00	3,00	-	-
Pasivasyon	0,30	3,00	-	-
Saf su	0,20	3,00	-	-
Kataforez	5,20	5,00	165,0	Volt
UF 1	0,30	3,00	-	-
UF 2	0,00	5,00	-	-
Hava Tutma 1	4,00	0,00	-	-
Yükleme Boşaltma	0,00	0,00	-	-

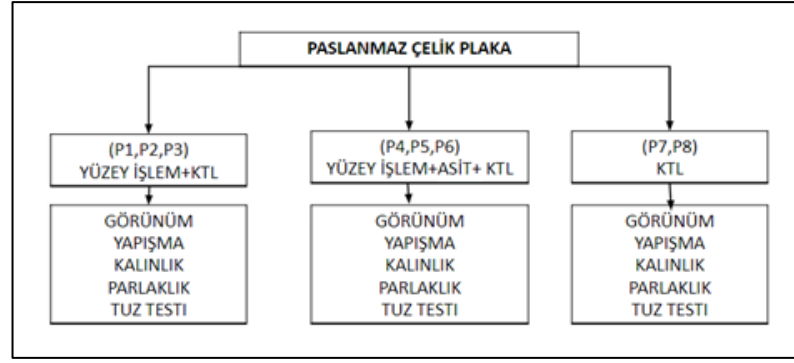
Farklı proseslerde kaplanan, laboratuvara alınan galvaniz plakalara görünüm, yapışma, kalınlık, parlaklık ve tuz sisi performans testleri uygulanmıştır.

Öncelikle kaplanan tüm galvaniz plakaların (G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7 ve G8) yüzey görünümleri tek tek gözlemlenerek her proses için incelenmiştir. Daha sonra kaplama kalınlıklarını ölçmek için kaplama kalınlık ölçüm cihazı ile ISO 2808 standartlarına uygun olarak her proses çeşidi için kaplama kalınlıkları galvaniz plaka numune kodlarında ölçülmüştür.

Parlaklık ölçümleri ISO 2813 standartlarına uygun olarak, parlaklık ölçer cihazı kullanılarak otomotiv sektöründe baz alınan 60° açıda parlaklık tayini, yapışma testleri ise ISO 2409 standartlarına uygun olarak her proses çeşidi için yapılmıştır. Tuz sisi testi bu çalışmada diğer plakalarda olduğu gibi ISO 9227/ASTM B117 standartlarına uygun olarak galvaniz plakalar için de gerçekleştirilmiştir.

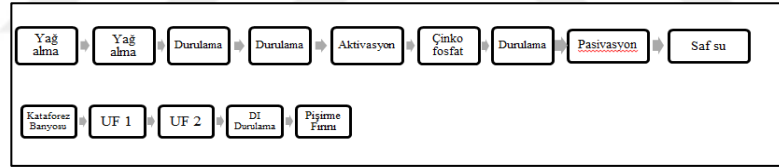
4.2.3. Paslanmaz Çelik

Paslanmaz çelik plakalar için deney planı Şekil 4.15’te gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Paslanmaz çelik plaka için deney planı.

P1, P2 ve P3 nolu paslanmaz çelik plakalar kataforez hattında, sırasıyla bölüm 3'te anlatılan yüzey işlem banyoları olan yağ alma, durulama, aktivasyon, çinko fosfat kaplama, durulama ve pasivasyon ve saf su banyolarına daldırıldıktan sonra, elektrokaplama prosesi olan kataforez banyo, ultrafiltrasyon banyoları (UF1 ve UF2) ve durulama banyolarında işlem görmüştür. Daha sonra, kürlenme prosesi için bekleme istasyonuna alınmıştır. Son olarak fırına alınarak kürlenme işlemi tamamlanmıştır. (Şekil 4.16)



Şekil 4.16: Paslanmaz çelik plakalar 1.deney planı için KTL hattı banyo sıralaması.

P4, P5 ve P6 nolu paslanmaz çelik plakalar da yapılan işlemin farkı, ek olarak asit banyosunun kullanılmasıdır. Plakalar elle bir bez yardımıyla silme işlemi yapıldıktan sonra asit banyosunda manuel olarak yaklaşık 2-3 dakika bekletilmiştir. Bu banyonun ardından sırasıyla Şekil 4.16'da gösterilen banyolara daldırılıp proses tamamlanmıştır.

P7 ve P8 nolu paslanmaz çelik plakalar ise yüzey işlem banyolarına daldırılmadan önce elle silme işlemi yapılmıştır ve ardından direkt kataforez kaplama banyosunda kaplanacak şekilde askıya asılıp kataforez banyosu, UF banyoları ve DI durulama banyosuna daldırılarak kürlenme işlemiyle birlikte proses tamamlanmıştır.

Tüm paslanmaz çelik plakalar kataforez kaplama işlemi tamamlandıktan sonra toplama istasyonunda soğutulmak üzere beklemeye alınmıştır. Proses reçete detayı Tablo 4.8’de belirtilmiştir;

Tablo 4.8: Paslanmaz çelik için KTL hattı reçete detayı.

Banyo İsmi	Zaman (dk, sn)	Süzülme (sn, ms)	Voltaj (V)	Redresör Kontrol
Transfer 1 Giriş	0	0	-	-
Transfer 1 Çıkış	0	0	-	-
Yağalma 1	4,30	7,00	-	-
Yağalma 2	4,30	10,00	-	-
Durulama	1,00	3,00	-	-
Durulama	1,00	5,00	-	-
Aktivasyon	1,00	5,00	-	-
Fosfat	4,30	5,00	-	-
Durulama	1,00	3,00	-	-
Pasivasyon	0,30	3,00	-	-
Saf su	0,20	3,00	-	-

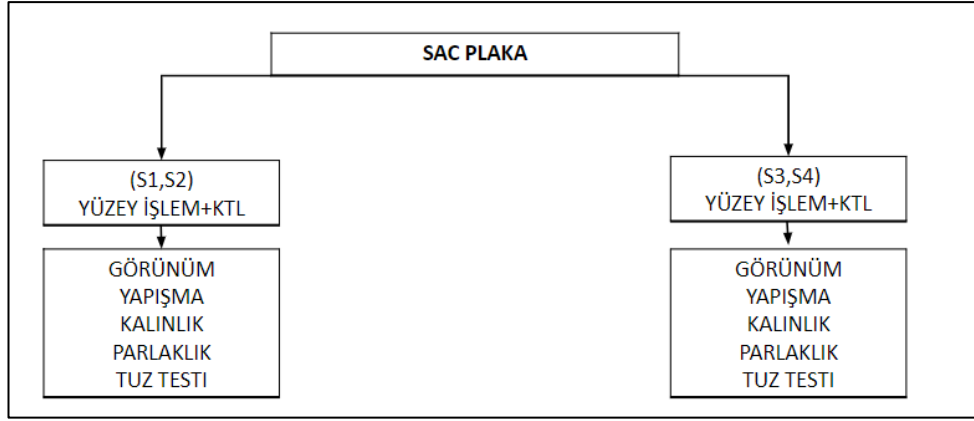
Tablo 4.8: (Devam) Paslanmaz çelik için KTL hattı reçete detayı.

Kataforez	4,10	8,00	170,0	Volt
UF 1	1,00	3,00	-	-
UF 2	0	5,00	-	-
Hava Tutma 1	3,30	0	-	-
Yükleme Boşaltma	0	0	-	-

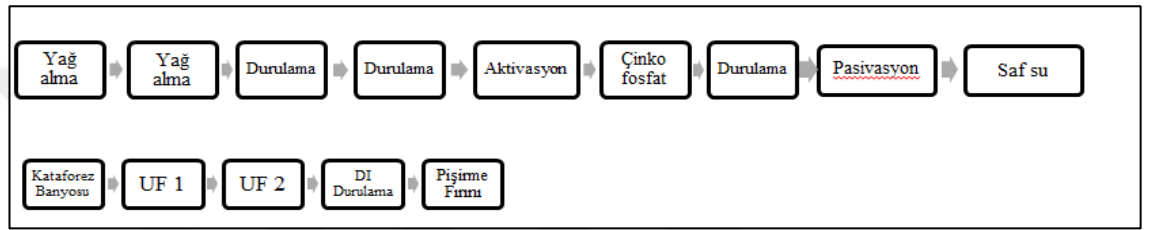
Farklı proseslerde kaplanan ve laboratuvara alınan paslanmaz çelik plakalara görünüm, yapışma, kalınlık, parlaklık ve tuz sisi performans testleri diğer plakalarda kullanılan standartlara göre uygulanmıştır.

4.2.4. Sac Plaka

Şekil 4.17 sac plakalar için deney planını göstermektedir. Tek proste yapılan kaplama için aynı anda S1, 2, 3 ve S4 plakaları ktl hattından geçerek kaplama prosesi tamamlanmıştır. Kullanılan banyolar sırasıyla Şekil 4.18’de özetlenmiştir.



Şekil 4.17: Sac plakalar için deney planı.



Şekil 4.18: Sac plakalar için KTL hattı banyo sıralaması.

Tablo 4.9 proses reçete detayını göstermektedir.

Tablo 4.9: Sac plakalar için KTL hattı reçete detayı.

Banyo İsmi	Zaman (dk, sn)	Süzülme (sn, ms)	Voltaj (V)	Redresör Kontrol
Transfer 1 Giriş	0	0	-	-
Transfer 1 Çıkış	0	0	-	-
Yağ alma 1	4,30	7,00	-	-
Yağ alma 2	4,30	10,00	-	-
Durulama	1,00	3,00	-	-
Durulama	1,00	5,00	-	-
Aktivasyon	1,00	5,00	-	-
Fosfat	4,30	5,00	-	-
Durulama	1,00	3,00	-	-
Pasivasyon	0,00	3,00	-	-
Saf su	0	3,00	-	-
Kataforez	4,10	8,00	170,0	Volt
UF 1	1,00	3,00	-	-
UF 2	0	5,00	-	-
Hava Tutma 1	3,30	0	-	-
Yükleme Boşaltma	0	0	-	-

Kaplama işlemi tamamlanan tüm sac plakalar performans testleri yapılmak üzere laboratuvara alınmıştır. Farklı proseslerde kaplanan, laboratuvara alınan sac plakalara diğer metallere yapıldığı gibi, görünüm, yapışma, kalınlık, parlaklık ve tuz sisi gibi performans testleri uygulanmıştır.

4.3. Kataforez Kaplama Sonrası Performans Değerlendirme Test ve Kriterleri

Elektro kaplama işlemini kullanırken amacımız, işlemin dayanıklı bir son kat olmasını sağlamaktır. Ancak sürecin başarılı olup olmadığının kriterlere göre test edilmesi önemlidir. Performans testi, gerçek dünya performansını tahmin etmek için gerçek dünya koşullarını çoğaltmak için standartlaştırılmış laboratuvar testlerinin kullanılmasıdır. Performans değerlendirme ölçütleri üç ana kategorisi şunlardır:

Görünüm

Fiziksel özellikler

Dayanıklılık (korozyon direncini) içerir.

4.3.1. Görünüm Testi

Bu tezde kataforez kaplamanın avantajlarından; homojen olarak yayılma özelliğinden bahsedilmişti. Görünüm, kaplama prosesi çok iyi gerçekleştiği takdirde kusursuz olup, kaplama prosesinde yanlış bir durum olduğu takdirde ise görünüm maalesef homojen olmamaktadır. Bu tezde de farklı metal türleri ile kaplama işlemi gerçekleştirildiğinden, her bir metal çeşidi için kaplama sonrası plakaların görsel uygunlukları kontrol edilmiştir. Görünüm testinde uygunluk olup olmadığı aşağıdaki kriterler dikkate alınarak değerlendirme yapılır;

- Parçalar parlak veya mat mı?
- Yüzey pürüzsüz veya pürüzlü mü?
- Parça üzerinde herhangi bir krater veya kirlilik hatası var mı?
- Renk standart renk şartlarına uyuyor mu?

4.3.2. Kaplama Kalınlık Testi

Deneyisel çalışmada kaplanan tüm metal türleri ve kaplama türleri için kaplama kalınlıkları ISO 2808 standartlarına uygun olarak llmştr. Otomotiv sektöründe kullanılan şartnameye bağlı olarak kabul edilir mikron değeri 18-25 m arasında değişmektedir.

4.3.3. Gloss (Parlaklık) Testi

Parlaklık değeri parlaklık ölçer kullanılarak belirlenmekte ve parlaklık değeri 20°, 60° veya 85° olmak üzere üç farklı geometride belirlenebilmektedir. Kataforez kaplamada kullanılan boya çeşidine göre parlaklık değerleri değişiklik göstermektedir.

İdeal parlaklık değerleri, boyanın temin edildiği firma tarafından bir referans aralığı sunmasıyla değerlendirilir. Otomotiv sektöründe sunulan değerler 55-75 aralığıdır. Bu değerlerin altında veya yukarısında ölçülen sonuçlar için uygun olup olmadığı talepte ki şartnameye göre değişkenlik göstermektedir.

4.3.4. Kuru Yapışma (Cross-Cut) Testi

Kaplama dik açılı bir ızgara deseni şeklinde taban malzemesinin içine nüfuz edecek şekilde kesildiğinde, boya kaplamalarının taban malzemeden ayrılmaya karşı direncinin değerlendirilmesine ilişkin bir deney yöntemini kapsar.

Otomotiv sektöründe yapılan bu testler genellikle üretici talebine göre değişmekte olup, kesme bıçağı, bantı üreticinin özel talebine göre gerçekleştirilmektedir. Yapışma testi sonrasındaki değerlendirme tablosu Tablo 4.10'da verilmiştir [48].

Tablo 4.10: Yapışma testi sonrasında değerlendirme tablosu.

Sınıf	Açıklama	Gösterim
Ad0	Kesik kenarlar mükemmel bir biçimde düzdür; karelerde boya kalkması yok.	--
Ad1	Kesişme noktalarında kırılmış küçük parçalar;karelenmiş yüzeyden %5 kalkma var.	
Ad2	Karelerin kesişme noktalarında veya karelenmiş yüzeyden %5 den fazla, %15'ten az kalkma var.	
Ad3	Kesik kenarlar boyunca kırılmanın kısmi veya karelenmiş yüzeyden %15 'ten fazla %35'ten az kalkma var.	
Ad4	Geniş şeritler veya tek karelerden tamamen veya karelenmiş yüzeyden %35'ten fazla %65'ten az kalkma var.	

4.3.5. Tuz Sisi Testi

Tuz püskürtme yöntemlerinin tümü, korozyon koruması olan veya olmayan metalik bir malzemenin kalitesinin korunduğunu kontrol etmek için uygundur. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından, düşme koruma ekipmanlarının korozyon testleri kapsamında, tuz spreyi test yöntemlerini açıklamak üzere ISO 9227 standardı tasarlanmıştır. Bu standart ülkemizde de Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından TS EN ISO 9227 başlıkla “Tuz püskürtme deneyleri/ Yapay atmosferlerde korozyon deneyleri” adıyla yayınlanmıştır. ISO 9227, otomotiv malzemelerinin korozyon performansını değerlendirmek için onlarca yıldır kullanılmaktadır [13].

Tuz testi için değerlendirme şartnameye göre değişebilir. Tuz sisi testi sonrasında değerlendirme kriterleri arasında, lekelenme, yüzey paslanma, nokta paslanma, kabarcıklanma (blisterlenme), bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanarak dökülme, tabakalara ayrılma, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve parça yüzeyinin en çok %5'inde kırmızı pas olmalıdır. Bununla beraber boyalı yüzeye özel Cross-Cut bıçağıyla çizilen ‘X’ şeklindeki çizikte bulunan boya kopması istenen şartnameye göre değişmekte olup, maksimum 4 mm olmalıdır.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde 4.3'te anlatılan performans değerlendirme test çeşitleri ve değerlendirme kriterlerinden faydalanarak 4.1'de verilen tabloda her metal türü ve prosesleri için görünüm, yapışma, kalınlık, parlaklık ve tuz sisi performans testleri uygulanmış ve uygulanan testlerin sonucu anlatılmıştır.

5.1. Performans Değerlendirme Test Sonuçları

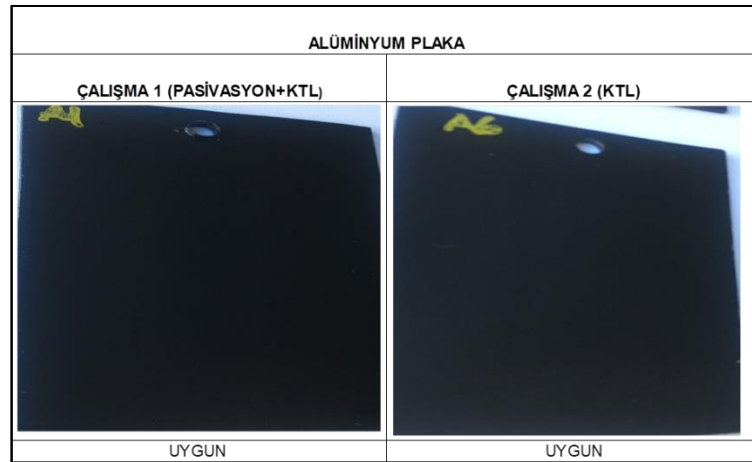
Bu bölümde her bir plaka için görünüm, kaplama kalınlık, parlaklık, kuru yapışma ve tuz sisi testleri uygulanmıştır ve test sonuçları anlatılmıştır.

5.1.1. Al Plaka

Bu başlık altında alüminyum plakalarda görünüm, kaplama kalınlık, parlaklık, kuru yapışma ve tuz sisi testleri uygulanmıştır ve test sonuçları anlatılmıştır.

Görünüm Testi Sonuçları;

Alüminyum plakaların iki farklı proseste yüzey görünümleri değerlendirilmiştir. İki farklı plaka için Şekil 5.1'de gösterildiği gibi yüzey görünümleri kusursuz ve homojendir.



Şekil 5.1: Alüminyum plakalarda yüzey görünümü.

Kaplama Kalınlığı Testi Sonuçları;

Kaplama kalınlık ölçümleri alüminyum plakalar için bölüm 4.3'te verilen kriterlere göre değerlendirildiğinde sonuçların uygun olduğu ortaya çıkmaktadır.

ALÜMİNYUM PLAKA	
ÇALIŞMA 1 (PASİVASYON+KTL)	ÇALIŞMA 2 (KTL)
	
UYGUN	UYGUN

Şekil 5.2: Alüminyum plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.

Parlaklık Testi Sonuçları;

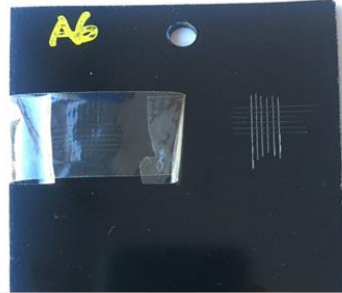
Bölüm 4.3.3'te belirtilen ideal parlaklık değeri aralığı genellikle 55-75'dir. Bu değerlerin uygunluğu üretici şartnamesine göre değiştiğinden, Şekil 5.3'te görüldüğü gibi yüzey işlem banyolarına daldırılmadan direkt kateforez kaplanan galvaniz plaka parlaklık değeri 79 olsa da uygun olarak değerlendirilmektedir.

ALÜMİNYUM PLAKA	
ÇALIŞMA 1 (PASİVASYON+KTL)	ÇALIŞMA 2 (KTL)
	
UYGUN	UYGUN

Şekil 5.3: Alüminyum plakalarda parlaklık ölçümü.

Kuru Yapışma (Cross-cut) Testi Sonuçları;

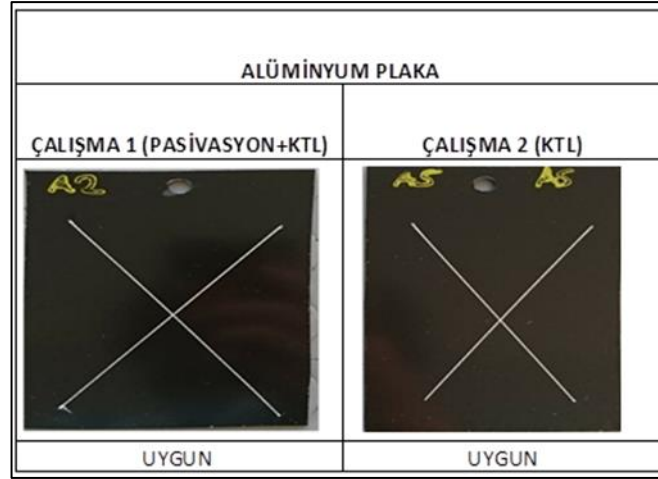
Yapışma testi sonuçlarının uygunluğu otomotiv sektöründe üretici şartnamesine göre değişiyor olsa da iki farklı prosesteki alüminyum plakalar için uygun olmuştur. Bölüm 4.3.4'te verilen değerlendirme kriterlerine göre alüminyum plakalarda ön işlem banyolarına tabii tutulan plakada yapışma test derecesi Tablo 4.10'da verildiği gibi Ad 1 olarak sonuçlanırken, ön işleme tabii olmayan yalnızca kataforez kaplanan plaka Ad 0 olarak yani boya kalkmasının hiç olmadığı gözlenmiştir.

ALÜMİNYUM PLAKA	
ÇALIŞMA 1 (PASİVASYON+KTL)	ÇALIŞMA 2 (KTL)
	
UYGUN	UYGUN

Şekil 5.4: Alüminyum plakalarda yapışma testi.

Tuz Sisi Testi Sonuçları;

Tuz sisi testi için öncelikle plakalar 504 saat cihazda kalmıştır. 504 saat sonucunda alüminyum plakalarda kırmızı pas, kabarcıklanma ve boya açılması gözlenmemiştir. 2.turda, yani plakalar 840 saat süre sonunda tekrardan değerlendirildiğinde, alüminyum plakalarda farklılık gözlenmemiştir.



Şekil 5.5: Alüminyum plakalarda tuz sisi testi (504 saat).

Otomotiv sanayinde metal parçaların kaplama performans sonuçları, korozyon dirençleri, üretici firmaların beklentileri ve kalite standartları neticesinde değerlendirilip, uygunluğu kontrol edilmektedir.

Tablo 5.1’de Alüminyum plakalar üzerinde yapılan her iki işlem için test sonuçları özetlenmiştir. Tabloda, tuz sisi test sonucunda boyada hiçbir açılma olmadığı gibi boyanın metale yapışma performansının da uygun olduğu gözlemlenmektedir. Alüminyum, korozyona karşı oldukça dayanıklı bir malzemedir. Deflorian ve arkadaşları alüminyum gövdeli otobüsün arızası sebebiyle yaptığı çalışma sonucunda kataforetik astarın, yüksek nem ve koroziif ortamlara maruz kalan alanlarda kullanım için daha iyi bir seçim olduğunu göstermişlerdir. Bu bakımdan yaptıkları çalışma sonucunda kataforetik astar, alüminyum yüzeye daha iyi yapışır ve korozyonu daha iyi önler önerisinde bulunmuşlardır [49].

Tablo 5.1: Al plaka performans değerlendirme tablosu.

Yapılan Testler	Pasivasyon + KTL	KTL
Görünüm	Homojen ve kusursuz	Homojen ve kusursuz
Kaplama kalınlık	25.2 μm	21.7 μm
Parlaklık	73.7	79.3
Kuru yapışma	Ad 1	Ad 0
Tuz sisi	Boya açılması gözlenmedi	Boya açılması gözlenmedi

5.1.2. Galvaniz Plaka

Bu bölümde galvaniz plakalarda görünüm, kaplama kalınlık, parlaklık, kuru yapışma ve tuz sisi testleri uygulanmıştır ve test sonuçları anlatılmıştır.

Görünüm Testi Sonuçları;

Galvaniz plakalarda Şekil 5.6’da görüldüğü gibi, yüzey işlem banyolarına daldırılmayan plakada kaplamanın homojen olduğu, yüzey işlem banyolarına daldırılan prosesdeki kataforez kaplamalı galvaniz plakalarda ise yüzeyde puslanma olduğu görülmektedir. Puslanma sebebinin kataforez boya öncesinde yapılan ön işlemin yetersiz kalması veya 3.1.4. fosfat kaplama bölümünde değinildiği gibi çinko fosfat banyosu için ürün seçiminin önemi anlaşılmaktadır.

GALVANİZ PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (AKTİVASYON+FOSFAT KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN DEĞİL	UYGUN DEĞİL	UYGUN

Şekil 5.6: Galvaniz plakalarda yüzey görünümü.

Kaplama Kalınlığı Testi Sonuçları;

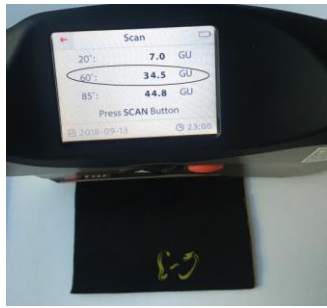
Galvaniz plakalarda yalnızca yüzey işlemsiz, sadece kataforez kaplanan galvaniz plaka kaplama kalınlığı, yüzey işlemli galvaniz plakalara göre bir miktar yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi aşağıdaki şekil 5.7’de de görüldüğü üzere, kaplanmamış, çıplak galvaniz plakalarda alt tabaka da bir galvaniz kaplama olduğu için (10 µm) kaplama kalınlıkları daha yüksek çıkmaktadır. (26-34 µm). Kaplama kalınlıkları şartnameye göre değişmekte olsa da uygun olarak kabul edilmektedir.

GALVANİZ PLAKA			
KAPLAMASIZ GALVANİZ	ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (AKTİVASYON+FOSFAT KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
			
	UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.7: Galvaniz plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.

Parlaklık Testi Sonuçları;

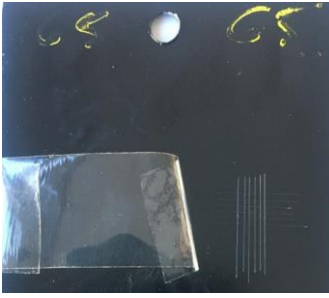
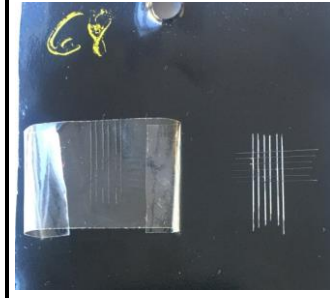
Burada yalnızca yüzey işlemleri galvaniz plakaların kaplaması kusurlu olduğu için Şekil 5.8 yüzeydeki pürüzlülüğün kaplama parlaklığını da düşürdüğünü göstermektedir. Yüzey işlem banyolarına daldırılmadan kataforez kaplama olan plakada parlaklık değeri ideal seviyede olduğundan uygundur yorumu yapılmıştır.

GALVANİZ PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (AKTİVASYON+FOSFAT KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN DEĞİL	UYGUN DEĞİL	UYGUN

Şekil 5.8: Galvaniz plakalarda parlaklık ölçümü.

Kuru Yapışma (Cross-cut) Testi Sonuçları;

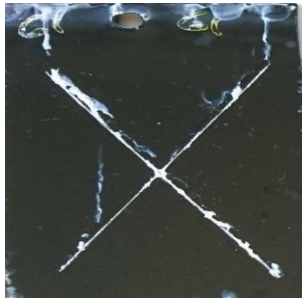
Bölüm 4.3.4'te verilen değerlendirme kriterlerine göre, galvaniz plakalarda ön işleme tabii tutulan plakalarda (G3 ve G5) test sonucu Ad0 yani boya kalkmasının hiç olmadığı gözlemlenmiştir. Yalnızca kataforez kaplamalı olan galvaniz plaka da (G8) sınıflandırma Ad2 (Tablo 4.10) olarak değerlendirilmiştir. Yapışma testi sonuçlarının uygunluğu otomotiv sektöründe üretici şartnamesine göre değişiyor olsa da üç farklı prosesteki plakalar için uygundur yorumu yapılmıştır.

GALVANİZ PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (AKTİVASYON+FOSFAT KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.9: Galvaniz Plakalarda yapışma testi.

Tuz Sisi Testi Sonuçları;

Diğer plakalarda olduğu gibi tuz sisi testi için galvaniz plakalar da öncelikle 504 saat cihazda kalmıştır. Şekil 5.10'da 504 saat sonunda boya açılmalarının 6-9 mm aralığında olduğu görülmektedir. Plakalar 840 saat süre sonunda tekrardan değerlendirildiğinde açılmalar sırasıyla 8 mm, 12 mm ve 12 mm ölçülmüştür.

GALVANİZ PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (AKTİVASYON+FOSFAT KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
6 MM	8 MM	9 MM

Şekil 5.10: Galvaniz Plakalarda tuz sisi testi (504 saat).

Tablo 5.2: Galvaniz plaka performans değerlendirme tablosu.

Yapılan Testler	Ön işlem + KTL	Aktivasyon + Fosfat+ KTL	KTL
Görünüm	Uygun değil	Uygun değil	Uygun
Kaplama kalınlık	26.7 μm	26.7 μm	33.9 μm
Parlaklık	34.5	38.7	61.8
Kuru yapışma	Ad 0	Ad 0	Ad 2
Tuz sisi	6 mm açılma gözlendi	8 mm açılma gözlendi	9 mm açılma gözlendi

Çalışmalarda galvaniz plakalar üzerinde yapılmış testlerin özet hali Tablo 5.2’de verilmiştir. Tablo 5.2’de görünüm ve tuz sisi test sonucuna bakıldığında galvanizli çelik için daha uygun bir alt tabaka ön işlem seçimi gerekli olabilir. Bu şartların sağlanması durumunda otomotiv üretiminde kullanılabilir. Fedrizzi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada bahçe mobilyası üretmek için çelik ve galvanizli çeliğin farklı endüstriyel boyama metotlarını kullanmışlardır. Galvaniz malzemenin kaplama kalınlıklarının daha yüksek çıkması ile kaplamanın daha iyi koruma sağladığını ancak çinko/boya arayüzü, saha çalışma koşullarında daha kolay kaplama ayrılmalara ve anodik zayıflamaya maruz kalabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu nedenle, kataforez ve galvanizli çeliğin birlikte kullanılmasının, kaplamanın uzun süreli dayanıklılığını sağlamak için dikkatle değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Tablo 5.2’de tuz sisi test sonucu boya açılmalarının gözlenmesiyle de bu sonuç desteklenmektedir.

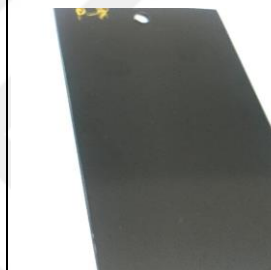
Elektrokimyasal empedans ölçümleri, bir malzemenin korozyon direncinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntem, malzemenin yüzeyinde oluşan korozyon ürünlerinin elektriksel özelliklerini analiz ederek korozyon sürecini modellemeye çalışır. Elektrokimyasal empedans ölçümleri, özellikle karmaşık korozyon sistemlerinde ve uzun süreli korozyon testlerinde çok faydalı bir araçtır. Tuz sisi test sonuçlarından yola çıkarak, kullanılacak galvaniz parça açık havaya maruz kalacaksa korozyona karşı oldukça hassas olacaklarından otomotiv parça üretiminde yeni ve daha etkili korozyon koruma yöntemlerinin geliştirilmesi önemlidir. Elektrokimyasal empedans ölçümleri, bu yöntemlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilir [50].

5.1.3. Paslanmaz Çelik Plaka

Bu bölümde diğer plakalarda olduğu gibi paslanmaz çelik plakalar için de görünüm, kaplama kalınlık, parlaklık, kuru yapışma ve tuz sisi testleri uygulanmıştır ve test sonuçları anlatılmıştır.

Görünüm Testi Sonuçları;

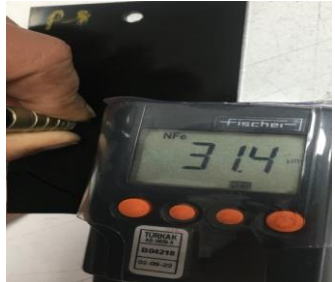
Paslanmaz çelik plakaların yüzey görünümleri değerlendirildiğinde, yüzey görünümlerinin kusursuz ve homojen olduğu Şekil 5.11’de görülmektedir.

PASLANMAZ ÇELİK PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (ÖN İŞLEM+ASİT+KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.11: Paslanmaz çelik plakalarda yüzey görünümü.

Kaplama Kalınlığı Testi Sonuçları;

Kaplama kalınlıkları 18-25 μm olması beklenen paslanmaz çelik plakalarda kaplama kalınlıkları bir miktar yüksek çıkmıştır (27-31 μm). Kaplama kalınlıkları şartnameye göre değişmekte olsa da uygun olarak kabul edilmektedir.

PASLANMAZ ÇELİK PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (ÖN İŞLEM+ASİT+KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.12: Paslanmaz çelik plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.

Parlaklık Testi Sonuçları;

Bölüm 4.2.3'te anlatılan ön işlem prosesinde geçen paslanmaz çelik plakanın parlaklık değeri bir miktar düşük olsa da ideal değer aralığındadır. En yüksek parlaklık değeri ön işlem banyolarına daldırılmadan direk kataforez banyoya daldırılan plakada olsa da uygundur yorumu yapılabilmektedir (Şekil 5.13).

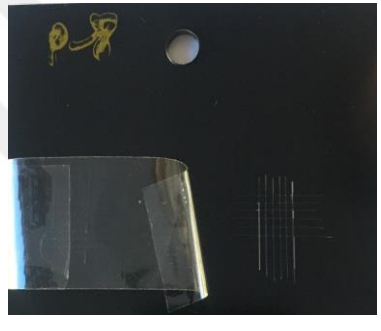
PASLANMAZ ÇELİK PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (ÖN İŞLEM+ASİT+KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.13: Paslanmaz çelik plakalarda parlaklık ölçümü.

Kuru Yapışma (Cross-cut) Testi Sonuçları;

Paslanmaz çelik plakalarda boya kalkması kendi aralarında gruplandırıldığında; ön işlemlili paslanmaz çelik plakalarda (P2 ve P5) Tablo

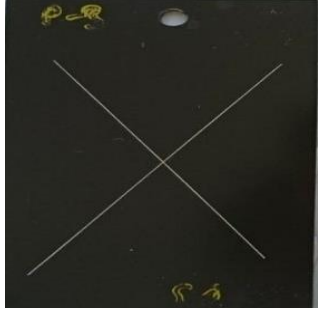
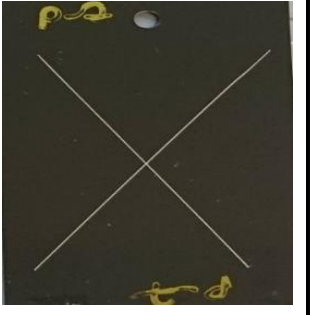
4.10'daki sınıflandırmaya göre Ad2 (%5 den fazla, %15'ten az kalkma var) iken, ön işlem banyolarına daldırılmadan kataforez kaplanan plaka P8 (paslanmaz çelik) için Ad1 (yüzeyden %5 kalkma var) olarak gruplandırılmıştır. Yapışma testi daha zayıf olan metaller için bölüm 3.3'teki kürlenme prosesinde değinilen “iyice kürlenmeyen kaplamadaki yapışma performansı, korozyon direnci zayıf olmaktadır” açıklamasından yola çıkarak kürlenme prosesinde yetersizlik olabileceğini düşündürmektedir. Bunun yanı sıra, boya kalkma derecesi en fazla olan metal, yüzey işlemlili paslanmaz çelik plakalar olmuştur. Bazı literatür araştırmalarında paslanmaz çeliklere çinko fosfat kaplama yapılamayacağına dair çalışmalara değinilmiştir. Çinko fosfat kaplama boyanın yapışma performansını doğrudan etkilediği için bu tezin doğruluğunu ortaya çıkardığı söylenebilir (Şekil 5.14).

PASLANMAZ ÇELİK PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (ÖN İŞLEM+ASİT+KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.14: Paslanmaz çelik plakalarda yapışma testi.

Tuz Sisi Testi Sonuçları;

Aşağıdaki verilere göre paslanmaz çelik plakalarda 504 saat sonrasında boya kopması olmasa da ön işlemlili paslanmaz çelik plakada kabarcıklanma (blisterlenme) görülmüştür. 2.turda yani 840 saat sonrasında tekrardan değerlendirildiğinde de hiç açılma olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.15).

PASLANMAZ ÇELİK PLAKA		
ÇALIŞMA 1 (ÖN İŞLEM+KTL)	ÇALIŞMA 2 (ÖN İŞLEM+ASİT+KTL)	ÇALIŞMA 3 (KTL)
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.15: Paslanmaz çelik plakalarda tuz sisi testi (504 saat).

Tablo 5.3'te Paslanmaz çelik plakalar üzerinde yapılan her üç işlem için test sonuçları özetlenmiştir. Bölüm 3.1.4.1'de çinko fosfat banyosunun metale boya tutma yeteneği kazandırması işlevine değinilmişti. Zimmermann ve arkadaşları yaptığı çalışmada paslanmaz çeliklerde karbon, fosfor, kükürt, mangan ve silisyum miktarı çelikte fazla olduğu zaman fosfatlanabilirliği olumsuz yönde etkilediğine ve kaplanacak çelik malzemedeki karbon içeriğinin artmasıyla birlikte fosfatlamanın yavaşlamakta olduğuna değinmişlerdir [51]. Bu çalışmada ön işlemlili paslanmaz çelik plakalarda boya kalkması görülmesinin nedenini malzeme içeriğinin etkisiyle fosfatlamanın yeterli olmamasıyla ilişkilendirilebilir. (Tablo 5.3)

Tablo 5.3: Paslanmaz çelik plaka performans değerlendirme tablosu.

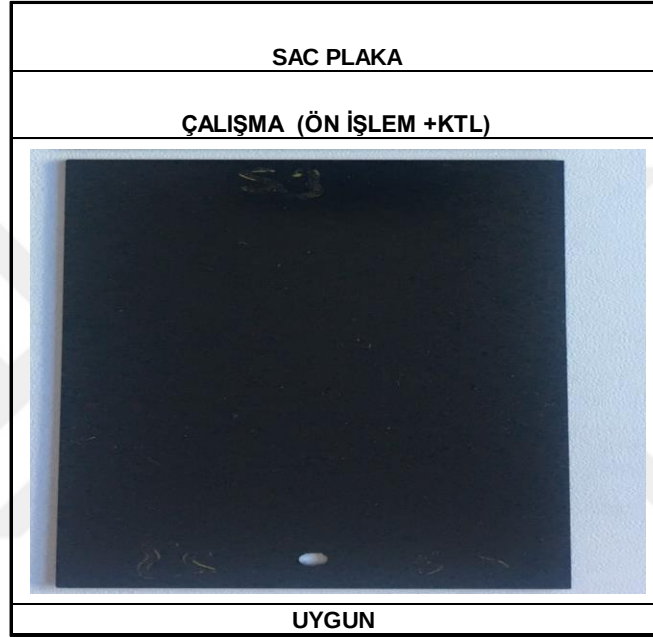
Yapılan Testler	Ön işlem + KTL	Ön işlem + Asit + KTL	KTL
Görünüm	Homojen ve kusursuz	Homojen ve kusursuz	Homojen ve kusursuz
Kaplama kalınlık	27.7 μm	27.4 μm	31.4 μm
Parlaklık	65.8	72.4	77.3
Kuru yapışma	Ad 2	Ad 2	Ad 1
Tuz sisi	Boya açılması gözlenmedi	Boya açılması gözlenmedi	Boya açılması gözlenmedi

5.1.4. Sac Plaka

Bu bölümde sac plakalarda görünüm, kaplama kalınlık, parlaklık, kuru yapışma ve tuz sisi testleri uygulanmıştır ve test sonuçları anlatılmıştır.

Görünüm Testi Sonuçları;

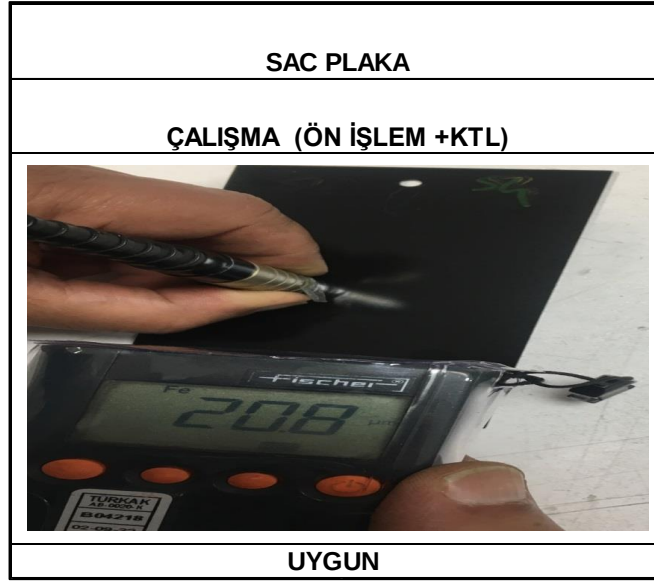
Sac plakanın yüzey görünümü Şekilde 5.16’da görüldüğü gibi homojen ve kusursuz olduğundan uygunluk verilmiştir.



Şekil 5.16: Sac plakalarda yüzey görünümü.

Kaplama Kalınlığı Testi Sonuçları;

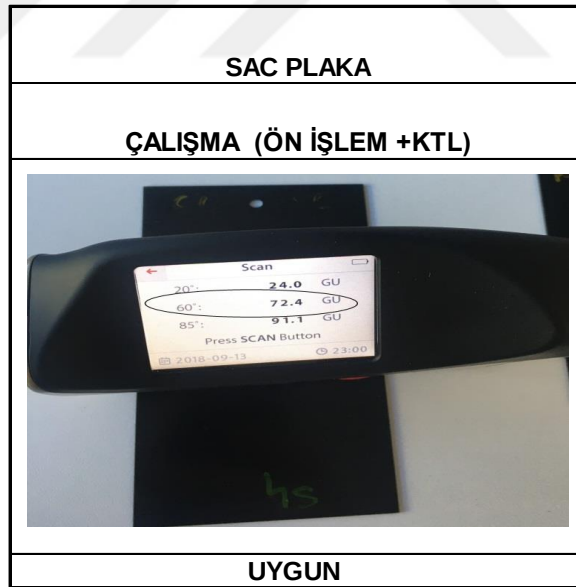
Aşağıdaki gibi kaplama kalınlığı 20.8 μm ölçülen (Şekil 5.17) sac plakanın test sonucu uygundur şeklinde sonuçlanmıştır.



Şekil 5.17: Sac plakalarda kaplama kalınlık ölçümü.

Parlaklık Testi Sonuçları;

Bu çalışmadaki parlaklık testinde sac plakanın kaplama parlaklığının ideal seviyede olduğu Şekil 5.18’de görülmektedir.

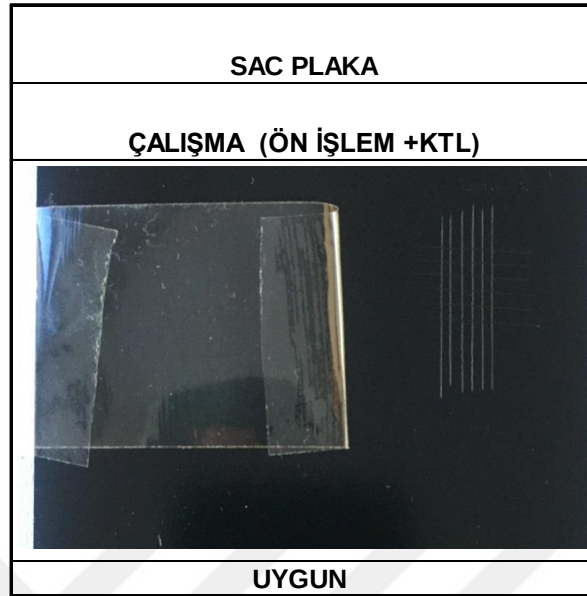


Şekil 5.18: Sac plakalarda parlaklık ölçümü.

Kuru Yapışma (Cross-cut) Testi Sonuçları;

Testin sonucu Tablo 4.10’da yapışma testi değerlendirme tablosu, diğer metallerde olduğu gibi sac plaka için de baz alınmıştır. Şekil 5.19’da boyanın

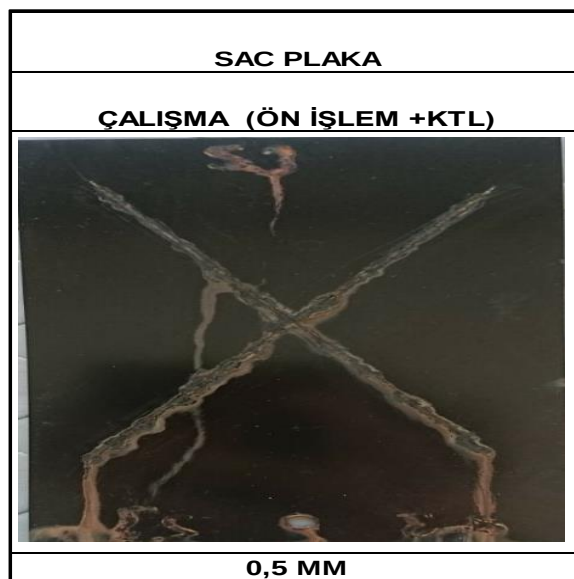
kalkmasının gözlemlenmemesi yapışma testinde sac plakanın uygun olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5.19: Sac plakalarda yapışma testi.

Tuz Sisi Testi Sonuçları;

Tuz sisi testi için diğer plakalarda olduğu gibi sac plaka da öncelikle 504 saat cihazda kalmıştır. Şekil 5.20’de görüldüğü üzere boya kopması 0,5 mm gözlenmiş olsa da ideal değer olarak kabul edildiğinden uygundur şeklinde sonuçlanmıştır. 840 saat süre sonunda tekrardan değerlendirildiğinde, sonuç değişmemiştir, boya kopması yine 0,5 mm olarak şekildeki gibi gözlenmiştir.



Şekil 5.20: Sac plakalarda tuz sisi testi (504 saat).

Tablo 5.4: Sac plaka performans değerlendirme tablosu.

Yapılan Testler	Ön işlem + KTL
Görünüm	Homojen ve kusursuz
Kaplama kalınlık	20.8 μ m
Parlaklık	72.4
Kuru yapışma	Ad 0
Tuz sisi	0.5 mm açılma gözlendi

Yukarıdaki Tablo 5.4'te sac plakalar üzerinde yapılan işlem için test sonuçları özetlenmiştir. Ucan ve arkadaşları kataforez kaplamanın kontrol kollarının yorulma ömrü üzerindeki etkisini korozyon ortamında değerlendirmişlerdir. Hem kataforez kaplamalı hem de kaplamasız salıncak gövdelerine 30 gün boyunca tuz püskürtme testi uygulamışlardır. Kataforez kaplı salıncaklarda montaj deliğinde çatlak oluşumu gözlemiş ancak kaplamasız salıncak kolları için değişken olmuş ve korozyon hasarına göre her yerde çatlak başlangıcı gözlemişlerdir. Kataforez kaplama uygulamasının salıncakların korozyon direncini mükemmel bir şekilde sağladığı ve yorulma ömrünü arttırdığı sonucuna varmışlardır [52]. Yukarıdaki Tablo 5.4'te kataforez kaplı sacda tuz sisi (504 saat) test sonucunda boyada 0,5 mm kopma gözlemlenmiştir. Test sonucu üretici şartnamesine bağlı olup 4 mm'ye kadar kabul edildiğinden bütün değerlerin ideal değerde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar neticesinde sac malzemelerin otomotiv sektöründe rahatlıkla kullanılabileceği yorumunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca sacların, Bölüm 4.1.4'te yüksek yüzey düzgünlüğü, çapaksız kenarları, dekoratif parlak görünümü, yüksek mukavemet değerleri ile de otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanıldığından bahsedilmiştir.

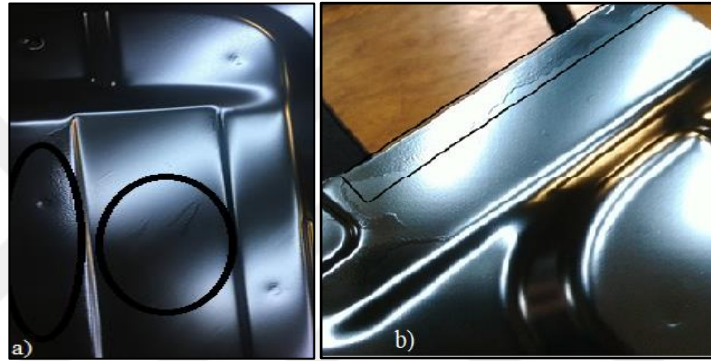
5.2. Sac Plaka Özelinde Hata Türleri ve Çözömlmelerinin İncelenmesi

Deneyisel çalışma sonuçları gözlemlendiğinde, performans sonuçlarını olumsuz etkileyen bazı parametreler olduğu bilinmektedir. Kaplamada yapılan hatalar, eksiklikler ekstra maliyetler doğurmaktadır. Kataforez kaplama sıklıkla otomotiv sektöründe kullanıldığı için, kaplama kalitesi oldukça önemlidir. Bu bölümde deneyisel sonuçlardan yola çıkarak en iyi performansı sac plaka yakaladığından sac

malzemeler için kataforez kaplama hattında sıklıkla karşılaştığımız problemler ve bu problemleri önlemek için alınması gereken aksiyonlar incelenmiştir.

5.2.1. Dalgalanma

5.21’de gösterilen hata modülü iki farklı şekilde yorumlanmaktadır. Birinci faktör, boya tankına boya beslemesi esnasında kataforez kaplama banyosunda geçen malzemede izlenmiştir. Problemi önlemek için boya ilave esnasında sac malzeme kaplama prosesine ara verildiğinde aynı problemin ortadan kalktığı görülmüştür.



Şekil 5.21: Sac plakada gözlenen hata türleri: a) Dalgalanma. b) Portakal kabuğu.

İkinci şekilde portakal kabuğu görünümü, bölüm 2.4’de de belirtildiği gibi boya tankında yetersiz solvent olması sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Boya tankına düzenli aralıklarla solvent ilave edilmesi sorunu çözmektedir.

5.2.2. Boya Kabarması

Şekil 5.22’de görülen boya kabarması, malzemenin kataforez banyosunda ideal bekleme süresinin üzerinde olmasından kaynaklandığını göstermektedir.



Şekil 5.22: Sac plakada gözlenen hata türleri: boya kabarması.

Hata türünün çözülmesi için KTL hattı sıkıştırılmamalı, sepetler bekleme süresi dışında banyolarda beklememelidir.

5.2.3. Pas

Pas olarak tanımlanan hata modülünün genel nedenleri çinko fosfat banyosunda hızlandırıcı eksikliği ve malzemelerin hat yoğunluğu gibi etmenlerden ötürü durulama banyolarında fazla beklemesi durumunda gözlemlenmiştir. Hatayı önlemek için; fosfat banyosu analizleri sık sık yapılmalı, hızlandırıcı değeri limit değer aralığına getirilmelidir. Diğer bir çözüm ise, KTL hattına art arda malzeme alınmamalı, proses hattı sıkıştırılmamalıdır.



Şekil 5.23: Sac plakada gözlenen hata türleri: pas görünümü.

5.2.4. apaklanma

apaklanma olarak tanımlanan hata modl (ekil 5.24) genelde sirkülasyonu yeterli olmayan alkalitesi yüksek durulama banyolarında yaşanmaktadır. Bu durum silika yaşışmasından kaynaklanır. zm metodu olarak durulama banyosu bir miktar blöf (kazan içerisindeki suyun dışarı atılarak besi suyu ile yer değiştirilmesi) edilmeli ve/veya banyoda sirkülasyonun yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir.



Şekil 5.24: Sac plakada gözlenen hata türleri: apaklanma.

5.2.5. Manyetiklenme

Manyetiklenme problemi kaplama hattında karşılaşılan bir problemdir, bu problem türü kaplama görünümünü negatif yönde etkilemektedir. Olası problemi önlemek için malzemeye kaplama hattına almadan önce manyetik kontrolü yapılmalıdır.



Şekil 5.25: Sac plakada gözlenen hata türleri: manyetiklenme.

5.2.6. Sepet Akıntısı

Sepet ya da raf olarak tanımlanan, malzemelerin askılandığı yer olan bu bölümde, malzemelerin kaynaklama işlemi yapılmadan ve bakımsız olan sepetlere askılanarak kaplama hattına alınması durumunda, Şekil 5.26'daki gibi hatalı bir yüzey gözlenmektedir. Malzeme asılan sepetler düzenli periyotlarla temizlenmelidir.



Şekil 5.26: Sac plakada gözlenen hata türleri: sepet akıntısı.

5.2.7. UF Lekesi

Şekil 5.27 a) UF lekesi 1 ve Şekil 5.26 b) UF lekesi 2'de gözlemlenen problem UF banyolarında malzemenin ideal bekleme süresinin dışına çıkmasıyla oluşmaktadır. Burada bekleme süresi düşürülmeli, kaplama hattında yaşanan aksaklık robot arızası vb. durumun oluşmasını önlemek için robot bakımı düzenli olarak yapılmalıdır. UF lekesi 3 için UF banyolarında kirlilik durumu olası bir nedendir (Şekil 5.27 c)). UF banyoları dökülüp banyolar yıkanmalıdır.



Şekil 5.27: Sac plakada gözlenen hata türleri: a) UF lekesi 1. b) UF lekesi 2. c) UF lekesi 3

5.2.8. Yanma

Fırın sıcaklığının limit değerin üzerinde olması Şekil 5.28’de görülen hatanın bir örneğidir. Döküm malzemeleri gibi yüksek sıcaklıkta kürlenene malzemelerde fırın sıcaklığı arttırıldığından, sac malzeme döküm malzemesinin hemen ardından prosese dahil edilmemelidir.



Şekil 5.28: Sac plakada gözlenen hata türleri: Yanma.

Diğer bir faktör ise, doğru fırın dengesi ve dehidrasyon bölgesi sıcaklıklarını sağlamak için fırın sıcaklığı kayıt cihazları altı ayda bir çalıştırılmalıdır. Bölüm 2.4’te de belirtilmiştir.

5.2.9. Asit Lekesi

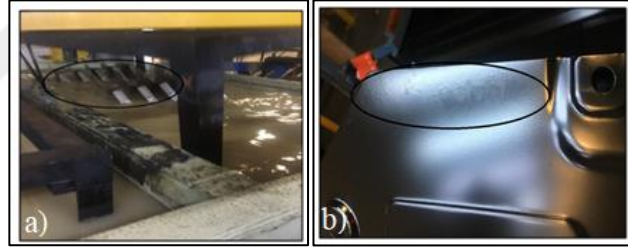
Bazı metaller henüz kaplama prosesine alınmadan önce yüzeyde pas gözlemlenmesi durumunda kataforez kaplama hattında bulunan asit banyosuna daldırılmaktadır. Burada önemli husus malzeme yüzeyindeki pas alınırken asit banyosunda bekleme süresini aşmamasıdır. Aksi taktirde Şekil 5.29’da gözlenen hatalı yüzey görünümü olabilmektedir. Bu durumda malzeme asit banyosunda limit değerin üzerinde bekletilmemelidir. Aşağıdaki hatalı görünüm aynı zamanda malzemenin yetersiz durulanması durumunda da gözlemlenebilmektedir. Durulama banyosu pH’ı 9’un altında olmalı ve banyo bir miktar blöf edilmelidir.



Şekil 5.29: Sac plakada gözlenen hata türleri: Asit lekesi.

5.2.10. Yetersiz Ön İşlem

Şekil 5.30 a)'da askılama yöntemi değiştirilmelidir, bütün malzemelerin banyoda işlem gördüğünden emin olunmalıdır. Şekil 5.30 b)'de ön işlemi tamamlanmayan bölgede kaplama kusuru gözlemlenmiştir. Burada malzemelerin kataforez öncesi iyi temizlendiğinden ve iyi fosfat kaplandığından emin olunmalı.



Şekil 5.30: Sac plakada gözlenen hata türleri: a) yetersiz ön işlem öncesi görünüm. b) yetersiz ön işlem sonrası görünüm.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada otomotiv endüstrisi veya yan sanayi basta olmak üzere en çok tercih edilen metal çeşitlerinin (alüminyum, paslanmaz çelik, galvaniz ve sac) kataforez kaplama prosesleri incelenmiştir. Kaplama proseslerinin tamamlanmasının ardından tüm metal çeşitlerine görünüm, kaplama kalınlık testi, parlaklık testi ve tuz sisi testi gibi çok tercih edilen performans testleri uygulanmıştır. Test sonuçlarına bağlı olarak farklı metallerin kaplama prosesleri kıyaslanmıştır.

Bütün performans testleri değerlendirildiğinde sac plaka ve alüminyum plakaların bütün proses adımları ve performans testlerinde başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Galvaniz plakaların ön işlem banyolarına daldırılmadan, direkt elektro kaplama prosesi olan kataforez kaplama banyolarından başlayarak işlem gören plakaların yapışma testinde başarısız olması ve ön işlem banyolarına daldırılarak ve sonrasında kataforez kaplanan proseslerinde işlem gören plakaların görünüm ve parlaklık testlerinde başarısız olması, ön işlem prosesinin önemini göstermektedir. Yeterli ve etkili sonuç için yağ alma ve fosfat banyolarında bekleme süreleri değiştirilebilir. Bölüm 3.1.4.1’de bahsedildiği gibi galvaniz malzemeler için çinko fosfat banyosunda flor miktarı ayarlanabilen ürün kullanıldığından emin olunmalı ve tavsiye edilen aralıkta banyo değeri sağlanmalıdır. Burada dikkat çekilecek diğer konu, ön işlemlili galvaniz plakalar yapışma testinden geçerken, yani boya kalkması hiç görülmezken ön işlemsiz galvaniz plakalarda boya kalkması gözlemlenmesinin nedeni olarak kürlenme prosesinin olabileceği nedenini ortaya koymaktadır. Malzemelerin fırında bekleme süresi veya fırın sıcaklığı bir miktar arttırılarak istenen yapışma verimliliği elde edilmiş olacaktır.

Galvaniz plakaların kaplama kalınlık sonuçları uygun olsa da malzemelerin kataforez banyoda bekleme sürelerini veya voltajı düşürmek, daha ideal aralığa getirmiş olup, kaplama sektöründe önemli faktör olan maliyet açısından da tasarruf sağlanmış olacaktır.

Paslanmaz çelik plakalar yalnızca yapışma testinde başarılı olamamıştır. Burada ön işlem prosesi olan çinko fosfat kaplamanın boya yapışmasında önemi ortaya çıkmaktadır. Paslanmaz çelik plakalar için çinko fosfat kaplanmaya uygun

yapılarının olmadığı kesin bir veri olmamasına rağmen bu çalışmada da kanıtlanmıştır.

Bu çalışmaya ek olarak kaplama proseslerinin incelenmesi ve kıyaslanması sonucunda başarılı olan sac mazlemelerin, seri üretim prosesinde karşılaşılan kaplama hataları gözlemlenip, bu hata türlerinin olası nedenleri ve çözümleri incelenmiştir. Kataforez kaplama endüstrisinde kaplamada hata olması durumunda söküm işlemi ve ardından metalin yeniden kaplanması hem kaplama kalitesini olumsuz etkilediğini hem de maliyetli bir işlem olduğu bilinmektedir. Bu maliyeti düşürmek ve daha sağlıklı bir kaplamanın gerçekleşmesi için önleyici aksiyonlar alınmalıdır. Burada aksiyonları almak için sistem çok dikkatli izlenmelidir. Öncelikle hata tipini belirlemek, bu hataya neden olan ana sebebi ve kaynağını ortaya çıkarmak için yapılacak olan ilk işlem olmalıdır. Düzeltici faaliyetler belirlenip uygulanır ise daha az maliyetle kusursuz kaplamalar gerçekleştirilebileceği öngörebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Skotnicki W., Jędrzejczyk D., (2021), "The comparative analysis of the coatings deposited on the automotive parts by the cataphoresis method", *Materials*, 14 ,1-13.
- [2] Asemani H.R., Ahmadi P., Sarabi A.A., Eivaz Mohammadloo H., (2016), "Effect of zirconium conversion coating: Adhesion and anti-corrosion properties of epoxy organic coating containing zinc aluminum polyphosphate (ZAPP) pigment on carbon mild steel", *Progress in Organic Coatings*, 94 18–27.
- [3] Almeida E., Alves I., Brites C., Fedrizzi L., (2003), "Cataphoretic and autophoretic automotive primers: A comparative study", *Progress in Organic Coatings*, 46 (1), 8–20.
- [4] Klimecka-Tatar D., (2014), "Importance of Development Factors in Company Dealing With Cataphoresis Coating Method", *Production Engineering Archives*, 2/1 20–22.
- [5] Fedel M., Druart M.E., Olivier M., Poelman M., Deflorian F., ve Rossi S., (2010), "Compatibility between cataphoretic electro-coating and silane surface layer for the corrosion protection of galvanized steel", *Progress in Organic Coatings*, 69 (2), 118–125.
- [6] Bensalah W., Loukil N., Wery M.D.P., Ayedi H.F., (2014), "Assessment of automotive coatings used on different metallic substrates", *International Journal of Corrosion*, 2014, 1-12.
- [7] Graham A.K., Sternfels M.M., (1956), "Electroplating Engineering Handbook", *Journal of The Electrochemical Society*, 103 (12), 790.
- [8] Web 1, (2022), [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-\(PRODCOM\)-Istatistikleri-2022-49370](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-(PRODCOM)-Istatistikleri-2022-49370), (Erişim Tarihi: 12/02/2023)
- [9] Kılınç M., (2019), "Kataforez Kaplama Üzerine Solvent Bazlı Ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Uygulamaları İle Oluşacak Dupleks Kaplamanın Korozyon Ve Ömür Testine Etkisinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Üniversitesi*.
- [10] Silva Lopes T., Lopes T., Martins D., Carneiro C., Machado J., Mendes A., (2020), "Accelerated aging of anticorrosive coatings: Two-stage approach to the AC/DC/AC electrochemical method", *Progress in Organic Coatings*, 138, 1-10.
- [11] Czaban M., (2018), "Aircraft corrosion - Review of corrosion processes and its effects in selected cases", *Fatigue of Aircraft Structures*, 2018 (10), 5–20.

- [12] Revie R.W., Uhlig H.H., (2008), "Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering", Fourth Edition, Wiley Interscience.
- [13] Lebozec N., Blandin N., Thierry D., (2008), "Accelerated corrosion tests in the automotive industry: A comparison of the performance towards cosmetic corrosion", *Materials and Corrosion*, 59 (11), 889–894.
- [14] García S.J., Rodríguez M.T., Izquierdo R., Suay J., (2007), "Evaluation of cure temperature effects in cataphoretic automotive primers by electrochemical techniques", *Progress in Organic Coatings*, 60 (4), 303–311.
- [15] Perez N., (2004), "Electrochemistry and Corrosion Science", 2nd Edition, Kluwer Academic, Boston.
- [16] Chaturvedi T.P., (2009), "An overview of the corrosion aspect of dental implants (titanium and its alloys)", *Indian Journal of Dental Research*, 20 (1), 91–98.
- [17] Dobránsky J., Gombár M., Fejko P., Balint Bali R., (2023), "A Determination of the Influence of Technological Parameters on the Quality of the Created Layer in the Process of Cataphoretic Coating", *Metals*, 13 (6), 1-18.
- [18] Dvořák M., Schwarzer E., (2012), "New Methods Testing of Adhesion of the Coating to Sheet Metal by Bending", *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 02 (02), 61–64.
- [19] Tekkalmaz N., (2010), "Kataforez Kaplamada Yatay Yüzeylerde Oluşan Görüntü Bozukluğu Nedenlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir osmangazi üniversitesi.
- [20] Poelman M., Olivier M.G., Gayarre N., Petitjean J.P., (2005), "Electrochemical study of different ageing tests for the evaluation of a cataphoretic epoxy primer on aluminium", *Progress in Organic Coatings*, 54 (1), 55–62.
- [21] Hylák K., Matuška Z., Drašnar P., Kudláček J., Horník J., (2019), "Development of equipment for mass cataphoresis painting", *Materials Science Forum*, 952, 92–98.
- [22] Calovi M., Russo F., Rossi S., (2021), "Esthetic performance of thermochromic pigments in cataphoretic and sprayed coatings for outdoor applications", *Journal of Applied Polymer Science*, 138 (26),.
- [23] Calovi M., Rossi S., (2022), "Durability of Acrylic Cataphoretic Coatings Additivated with Colloidal Silver", *Coatings*, 12, 1-21.
- [24] Darowicki K., Ślepski P., Szociński M., (2020), "Novel application of dynamic electrochemical impedance monitoring to a cataphoretic coating process", *Progress in Organic Coatings*, 149, 1-6.

- [25] Bajat J.B., Mišković-Stanković V.B., Dražić D.M., (2007), "Adhesion Of Epoxy Cathaphoretic Coatings On Zn Alloys", Journal of the Serbian Chemical Society, 72 (12), 1383–1392.
- [26] PPG Industries Inc., (2016), "Automotive Electrocoat Book of Knowledge Handbook" , Atsel Coordinator, 3 rd Edition, PPG Industries Inc.
- [27] Rudawska A., Wahab M.A., (2019), "The effect of cathaphoretic and powder coatings on the strength and failure modes of EN AW-5754 aluminium alloy adhesive joints", International Journal of Adhesion and Adhesives, 89 (November 2018), 40–50.
- [28] Streitberger, Hans- Joachim.D.K.F., (2008), "Automotive Paints and Coatings", Second Edition, Co Wiley-VCH.
- [29] Rivera J.L., Reyes-Carrillo T., (2016), "A life cycle assessment framework for the evaluation of automobile paint shops", Journal of Cleaner Production, 115, 75–87.
- [30] Prolongo S.G., Ureña A., (2009), "Effect Of Surface Pre-Treatment On The Adhesive Strength Of Epoxy–Aluminium Joints", International Journal of Adhesion and Adhesives, 29 (1), 23–31.
- [31] Çay Ş., (2013), Bir Metal Son İşlemleri Endüstrisi Atıksularında En Uygun Arıtma Teknolojilerinin Ve Atıksu Geri Kazanmanın Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık kemal üniversitesi.
- [32] Narayanan T.S.N.S., (2005), "Surface Pretreatment By Phosphate Conversion Coatings - A Review", Reviews on Advanced Materials Science, 9 (2), 130–177.
- [33] Vetter J., Barbezat G., Crummenauer J., Avissar J., (2005), "Surface treatment selections for automotive applications", Surface&Coatings Technology, 200(2005), 1962-1968.
- [34] Tütün K., (2017), "Endüstride Kullanılan Metal Kaplama Tesislerindeki Atıksuyun Geri Kazanımı, Prosesin Hammadde Su Ve Enerji Açısından İncelenerek Verimliliğinin Artırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi.
- [35] Paksoy A.K., (2008), "Çelik Yapıların, Atmosferik Korozyona Karşı Korunmasında Epoksi Bazlı Boya Ve Kaplamaların Kullanımı Ve Performansı", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [36] Karacal P.N., Elginöz N., Babuna F.G., (2019), "Environmental burdens of cataphoresis process", Desalination and Water Treatment, 172, 301–308.
- [37] Berk V., (2004), "Yüzey İşlemler Teknolojileri", 1, 6-7.

- [38] Web 2, (2022), <https://akafor.com/filtrasyon/sektorler/otomotiv/>, (Erişim Tarihi: 02/11/2022)
- [39] Ök İ., (2021), "Alüminyum Alaşımları Üzerine Uygulanacak Fosfatlama İşlemi Ve Organik Kaplamaları İle Cass Testi Ve Çevrimsel Korozyon Direncini Arttıran Proses Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi.
- [40] Lawrance, J. D., (1963) "Electroplating Engineering Handbook", 4th ed., New York.
- [41] Şeflek A., (2019), "Otomotivde Uygulanan Boya Ve Uygulama Parametrelerinin Araç Yüzey Kalitesi Ve Maliyete Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [42] Başer T.A., (2012), "Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı", Mühendis ve Makina, 53 (635), 51–58.
- [43] Mousavifard M., (2015), "Electrochemical characterization of zirconium and titanium based conversion coatings and adhesion properties of treated surfaces on galvanized steel", 2014, 4–6.
- [44] Juraj K., Janette B., (2016), "Evaluation of electrochemical properties of steel sheets for automotive applications", Materials Science Forum, 862, 72–77.
- [45] Singh M.K., (2016), "Application of steel in automotive industry", International Journal of Emerging Technology, 7, 246-253.
- [46] Inoue Y., Kikuchi M., (2003), "Present and future trends of stainless steel for automotive exhaust system", Nippon Steel Technical Report, (88), 62–69.
- [47] Doğdu M., (2021), "Saclarda Değişken Faktörlerin Doğal Frekansa Etkisinin Karşılaştırılmalı Olarak Sonlu Elemanlar Metoduyla İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi.
- [48] Kılınç, Muhammed, Akyalçın L., (2022), "Kataforez Kaplamalı Çelik Yüzeylere Uygulanan Dupleks Kaplamanın Korozyon Dayanım Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi", 30 (1), 68–78.
- [49] Deflorian F., Rossi S., Prosseda S., (2006), "Improvement of corrosion protection system for aluminium body bus used in public transportation", Materials and Design, 27 (9), 758–769.
- [50] Fedrizzi L., Rodriguez F.J., Rossi S., Deflorian F., (2003), "Corrosion study of industrial painting cycles for garden furniture", Progress in Organic Coatings, 46 (1), 62–73.
- [51] Zimmermann D., Muñoz A.G., Schultze J.W., (2003), "Microscopic local elements in the phosphating process", Electrochimica Acta, 48 (20–22), 3267–3277.

- [52] Ucan C., (2019), "The Effect of Cathaphoresis Coating on Fatigue Behaviour of Control Arms under Corrosion Environment", 7, 212–219.



ÖZGEÇMİŞ

Neşe Karasungur, 2007-2011 yılında Kaşif Kalkavan Lisesini birincilikle bitirdikten sonra 2011-2016 tarihleri arasında Kocaeli Üniversitesi Kimya mühendisliği bölümünde lisans eğitimi aldı. Daha sonrasında 2020 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2020 yılından itibaren Ayt Endüstriyel Kimya’da operasyon sorumlusu olarak çalışmaya devam etmektedir.

