

**OTOMOTİVDE UYGULANAN BOYA VE  
UYGULAMA PARAMETRELERİNİN ARAÇ  
YÜZEY KALİTESİ VE MALİYETE ETKİLERİ**

**2019  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Ali ŞEFLEK**

**OTOMOTİVDE UYGULANAN BOYA VE UYGULAMA  
PARAMETRELERİNİN ARAÇ YÜZEY KALİTESİ VE MALİYETE  
ETKİLERİ**

**Ali ŞEFLEK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2019**

Ali ŞEFLEK tarafından hazırlanan “OTOMOTİVDE UYGULANAN BOYA VE UYGULAMA PARAMETRELERİNİN ARAÇ YÜZEY KALİTESİ VE MALİYETE ETKİLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. *25.06.2019*

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

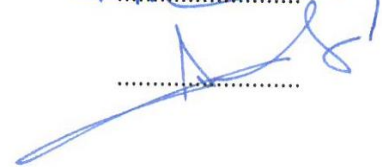
Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ŞEN (BAİBÜ)



Üye : Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

.....



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ali ŞEFLEK

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### OTOMOTİVDE UYGULANAN BOYA VE UYGULAMA PARAMETRELERİNİN ARAÇ YÜZEY KALİTESİ VE MALİYETE ETKİLERİ

Ali ŞEFLEK

Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Haziran 2019, 76 Sayfa

Bu çalışmada, otomotivde uygulanan boya ve uygulama parametrelerinin araç yüzey kalitesi ve maliyete etkileri üretim parametreleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Yeni uygulanan astar boyanın etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sonrasında; kaplama kalınlığı, kül miktarı, enerji ve su tüketimi, yüzey kalitesi ve paslanma miktarı gözlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler ile bunların sonuçlarının uygunluğu çeşitli kontrol yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Yeni kaplama uygulamasıyla birlikte; kaplama kalınlığı, kül miktarı, paslanma miktarı, enerji ve su tüketiminde azalma elde edilmiştir. Ayrıca, yeni kaplama malzemesinin yüzey kalitesini artırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Boya kaplama, yüzey kalitesi, otomotiv boyası.

**Bilim Kodu :** 914.1.038

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EFFECTS OF AUTOMOTIVE PAINT APPLICATIONS AND PARAMETERS ON BODY SURFACE QUALITY AND COST**

**Ali ŞEFLEK**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK**

**June 2019, 76 Pages**

In this study, the effects of paint and application parameters applied on automotive surface quality and cost were examined by comparing production parameters. The effects of the newly applied kataforez primer were analyzed. After the study; coating thickness, ash amount, energy and water consumption, surface quality and rusting amount were observed. Measured and calculated values and their results were evaluated by various control methods. With new coating application; coating thickness, ash amount, corrosion amount, energy and water consumption were reduced. In addition, it has been found that the new coating material improves the surface quality.

**Key Words** : Paint coating, surface quality, automotive paint.

**Science Code** : 914.1.038

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında büyük pay sahibi olan, kıymetli zamanımı bana ayırmaktan çekinmeyen, değerli hocam Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tezin ortaya çıkarılma sürecinde benimle birlikte olan ve desteklerini esirgemeyen çok değerli iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme; eşime ve çocuklarıma üzerimde emeği olan herkese tüm kalbimle sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	iv
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	ivii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xivv
BÖLÜM 1 .....	2
GİRİŞ .....	2
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
BÖLÜM 3 .....	5
KATAFOREZ BOYA HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	5
3.1. KATAFOREZ (ED) BOYA.....	5
3.2. ELEKTRO KAPLAMA MEKANİZMASI AVANTAJ ve TEORİSİ.....	5
3.3. KATAFOREZ BOYA İLE KAPLAMANIN AVANTAJLARI .....	7
3.3.1. Uygulamanın Avantajları.....	7
3.3.2. Performans Avantajı .....	7
3.3.3. Ekonomik Olarak Avantajları .....	8
3.3.4. Çevresel Açından Avantajları .....	9
3.4. KATAFOREZ BOYA FORMÜLASYONU.....	9
3.5. KATAFOREZ KAPLAMA NASIL GERÇEKLEŞİR? .....	11
3.6. KATODİK veya ANODİK ELEKTRO KAPLAMA .....	14



3.7. KATAFOREZ KAPLAMAYI ETKİLEYEN PARAMETRELER .....	15
3.7.1 Nüfuz etme (Penetrasyon).....	15
3.7.2. Kül, Katı, ve P/B Oranları.....	16
3.7.3. Katı Madde Miktarı Tayini .....	167
3.7.4. Kül Miktarı Tayini .....	167
3.7.5. P/B(Katı/Kül Reçine) Hesabı.....	168
3.7.6. Kataforez Boya PH Kontrolü.....	18
3.7.7. Kataforez Boya İletkenlik Kontrolü.....	18
3.8. KATAFOREZ BOYA KAPLAMA SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ.....	18
3.9. KİMYASAL YÜZEY HAZIRLAMA KAPLAMA ÖNCESİ .....	19
3.10. KİMYASAL YÜZEY HAZIRLAMA AŞAMALARI.....	20
3.10.1. Yağ Almalar .....	20
3.10.2. Durulamalar .....	21
3.10.3. Yüzey İyileştirme (Aktivasyon).....	22
3.10.4. Fosfat Kaplama .....	22
3.10.5. Fosfat Kaplama Çeşitleri.....	22
3.10.6. Çinko Fosfat Kaplama Süreçleri .....	22
3.10.7. Saf Su (DI - Deiyonize Saf Su).....	24
3.11. KATAFOREZ (ELEKTRO KAPLAMA).....	25
3.11.1. Kataforez (Elektro Kaplama) Tankı.....	25
3.11.2. Redresörler .....	26
3.11.3. Anolit Tank ve Sistemi .....	26
3.11.4. Kataforez Boya Tankı ve Sirkülasyonu .....	27
3.11.5. Ultra Filtrasyon Sistemi (UF) .....	29
3.11.6. Kataforez Banyo Sıcaklığı .....	29
3.12. KATAFOREZ KAPLAMA SONRASI DURLAMA .....	32
3.12.1. Kataforez Tank Çıkışı Durulama .....	32
3.12.2. UF (Ultra Filtre) Yıkama .....	33
3.12.3. Saf Su (DI) Durulama .....	33
3.13. KATAFOREZ BOYA FIRINLAMA.....	34
3.13.1. Fırınlama Giriş .....	34

3.13.2. ED Boya Kurutma Prosesi .....	34
3.13.3. Fırınlama Zamanı .....	35
3.13.4. Kurutma Fırın Unsurları.....	35
<b>BÖLÜM 4 .....</b>	<b>38</b>
<b>KATAFOREZ KAPLAMA YERİNE KULLANILABİLEN PROSESLER .....</b>	<b>38</b>
4.1. YAŞ BOYA UYGULAMALARI .....	38
4.1.1. Havalı Boya Uygulama Sistemi.....	38
4.1.2. Havasız Boya Uygulama Sistemleri .....	39
4.1.3. Hava Ceketli Boya Uygulama Sistemleri .....	41
4.1.4. Elektrostatik Boya Uygulama Sistemleri.....	42
4.1.5. Kullanılan Boya Uygulama Sistemleri .....	42
4.2. BOYA TESİSLERİNDE KULLANILAN ÜNİTELER .....	45
4.2.1. Gövde Taşıma Sistemleri .....	45
4.2.2. Yüzey Hazırlama Üniteleri .....	47
4.2.3. Boyama Üniteleri .....	51
<b>BÖLÜM 5 .....</b>	<b>56</b>
<b>MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>56</b>
5.1. MATERYAL.....	56
5.1.1. Deney Alanı .....	56
5.1.2. Deney Redresörü.....	57
5.1.3. Deneyde Kullanılan Boyalar.....	58
5.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	59
5.2.1. Kalınlık Ölçme Ünitesi .....	59
5.2.2. Test Fırını.....	59
5.2.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı .....	60
5.2.5. Kronometre .....	61
5.2.6. İletkenlik Ölçüm Cihazı ve pH Metre.....	62
5.2.7. Test Paneli.....	62
5.2.8. Test Kroze .....	63
5.3. TESTLERİN YAPILIŞI.....	63

BÖLÜM 6 .....	64
SİSTEMLERİN ANALİZİ VE EKONOMİSİ.....	64
6.1. KAPLAMA DIŞ YÜZEY KALINLIĞI.....	64
6.3. KAPLAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞİŞİMİ .....	66
6.4. REÇİNE AKMASI.....	67
6.5 KAPLAMA BOYASINDAKİ KATI ve KÜL DEĞİŞİMİ.....	68
6.6. TANK İÇİNDEKİ PH DEĞİŞİMİ.....	69
6.7. VOLTAJ DEĞİŞİMİNİN KALINLIĞA ETKİSİ .....	69
6.8. KAPLAMA BOYA TÜRÜNÜN PASLANMAYA ETKİSİ.....	70
6.9. KAPLAMA TÜRÜ'NÜN MALİYETE ETKİSİ .....	71
BÖLÜM 7 .....	72
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	72
KAYNAKLAR .....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	76

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Şematik elektro kaplama gösterimi.....	6
Şekil 3.2. Kataforez boya banyosundaki maddeler.....	9
Şekil 3.3. Boya filmi kalınlığı ile uygulanan voltajın ilişkisi. ....	12
Şekil 3.4. Kaplama süresi ile akım geçişi ilişkisi.....	13
Şekil 3.5. Elektriksel köprü kurulurken karşılaşılan dirençler. ....	13
Şekil 3.6. Kaplama tankında parça yüzeylerinin anot hücrelerine göre konumu.....	15
Şekil 3.7. Film kalınlıklarının zamana göre artışı. ....	16
Şekil 3.8. Tipik fosfatlama hattı sıralaması.....	24
Şekil 3.9. Kataforez kaplama süreci.....	25
Şekil 3.10. Kataforez tankında boyanın hareketi. ....	28
Şekil 3.11. Yüksek verimli püskürtme memesi (eductor nozzel) .....	29
Şekil 3.12. Boya filtrasyonu prensip resmi. ....	29
Şekil 3.13. Elektro kaplama uygulamasında ultrafiltrasyon sistemi.....	30
Şekil 3.14. Spiral tip membran görünüşü.....	31
Şekil 3.15. Otomotivde kaplama sonrası yıkama hattı.....	33
Şekil 3.16. Tünel tipi otomotivde kurutma fırını. ....	34
Şekil 3.17. Fırında pişirme penceresi. ....	35
Şekil 3.18. Pişirme fırını içeriden görünüşü.....	36
Şekil 4.1. Elektrostatik püskürtmenin etkisi. ....	43
Şekil 4.2. Elektrostatik çan tipi püskürtme uygulaması.....	44
Şekil 4.3. Elektrostatik disk tipi püskürtme uygulaması.....	45
Şekil 4.4. Webb ve kardan tip konveyör zinciri.....	47
Şekil 4.5. Su perdeli yaş boya kabini prensip resmi. ....	52
Şekil 4.6. Kuru filtreli yaş boya kabini prensip resmi.....	52
Şekil 4.7. Aşağıya doğru hava emişli tipi yaş boya kabini prensip resmi.....	53
Şekil 4.8. Toz boya kabini prensip resmi.....	55
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü. ....	57
Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümüne kalınlık değişimi.....	58

	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.3. Denede kullanılan redresör. ....	59
Şekil 5.4. Minitest kalınlık ölçme cihazı.....	60
Şekil 5.5. Test fırını.....	61
Şekil 5.6. Pürüzlülük ölçer cihaz. ....	62
Şekil 5.7. Elektronik terazi.....	62
Şekil 5.8. Kronometre. ....	63
Şekil 5.9. Dijital iletkenlik ölçer ve ph metre. ....	63
Şekil 5.10. Metal saç panel. ....	64
Şekil 5.11. Kroze test kabı. ....	64
Şekil 6.1. Kuru film kalınlığı değişimi. ....	65
Şekil 6.2. Araç üzerinde kuru film kalınlığı ve kesit görünümü.....	66
Şekil 6.3. Araç başı boya tüketim ve değişim oranı.....	67
Şekil 6.4. Araç başı boya tüketim değişimi.....	67
Şekil 6.5. Yüzey pürüzlülüğü değişimi. ....	68
Şekil 6.6. Reçine akması. ....	68
Şekil 6.7. Reçine akması performansı değişimi. ....	69
Şekil 6.8. Katı made ve kül değişim oranı. ....	70
Şekil 6. 9. Kataforez tank içinde ph değişim grafiği.....	70
Şekil 6. 10. Kataforez tank içinde voltaj değişim grafiği.....	71
Şekil 6. 11. Elektro kaplamada panel paslanma farkları.....	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Ultrafiltrasyonun diğer filtrasyon sistemleri ile mukayese tablosu. ....	31
Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan boya ların teknik özellikleri. ....	59
Çizelge 5.2. Test fırınının özellikleri. ....	61
Çizelge 6.1. Yeni boya kullanımında maliyet kıyaslaması. ....	72



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

A	: Yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
c	: Özgül ısı (kJ/kgK)
m	: Kütle (kg)
<i>m</i>	: Kütle debisi (kg/s)
P	: Basınç (kPa)
Q	: Isı geçişi (kJ)
<i>Q</i>	: Birim zamanda kurutucu ile çevresi arasındaki ısı alışverişi
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü

### KISALTMALAR

AED	: Anodik elektro kaplama
CED	: Katodik elektro kaplama
HVLP	: Yüksek hacimli düşük basınçlı
KM	: Katı madde
PVC	: Poli Vinil Klorür
UF	: Ultra filtre
VOC	: Uçucu organik bileşik
HAP	: Zehirli hava kirleticileri
KFK	: Kuru film kalınlığı
ED	: Elektro kaplama

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İnsanoğlu tarafından üretildiği bilinen en eski boya örneklerine ilişkin ilk bulgular buzul çağı mağara resimlerine dayanmaktadır. Zamanımızdan 60.000 yıl öncesine kadar eski mağara resimleri bilinmekle birlikte 25.000 yıl önce yapılan Cro-Magnon mağara resimleri ve 15.000 yıl önce yapıldıkları anlaşılan, İspanya' daki (Altarmira yakınları) bizon şekilli ve Fransa' daki (Laucaux yakınları) at şekilli mağara resimleri en çok bilinen örneklerdir. Bu resimler üzerinde yapılan kimyasal analizler, mağara insanların resim yapmada bitki özsuu, kan, böğürtlen ve farklı renklerde çamurlar kullandıklarını göstermektedir.

Günümüzden üç bin yıl önce, Güney Doğu Asya' da bulunan laccifer lacca adlı bir böceğin salgısından elde edilen gomalak reçinesi ve bu böceğin kabuklarından özütlenen lak kırmızısı, boya üretiminde, yakın zamanlara kadar yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Yaygın kullanımını halen süren bezir yağının günümüzden yaklaşık bin yıl önce vernik yapımında kullanılmaya başlanması da önemli bir kilometre taşı olmuştur [1].

Büyük boyutlu üretim ve boya sanayiinde kullanım 1923' ten sonra yaygınlaşmış olup halen önemli ölçüde sürmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan boya bağlayıcıları olan alkid reçineleri de ABD' li kimyacılar Kienle ve Fergusson tarafından 1928' de geliştirilmiş, büyük boyutlu üretimlerine de 1933' te başlanmıştır.

Biraz daha günümüze yaklaştığımızda, gelişen sanayileşmenin en yoğun olduğu Batı Avrupa ve Kuzey Amerika' da boyanın kuruma sürecinde çevreye salınan organik çözücülerin çevre ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin bilincine varılmaya başlandığını görmekteyiz. Bu bölgelerden başlanarak, organik çözgen yayımını azaltacak önlemleri içeren alternatif boya türlerine ve alternatif uygulama



yöntemlerine ilişkin arayışlar 1970'li yıllarda yoğunlaşmaya başlamıştır. Bu arayışlar, organik çözümlerde çözünen mevcut polimerlerin su içine alınabilmesinin nasıl sağlanabileceği çalışmalarının ve su ile inceltilebilecek yeni polimer geliştirme çalışmalarının önem kazanmasına yol açmıştır [1].

Günümüzde boya endüstrisinde kataforez kaplama etkili bir yere sahiptir. Kataforez kaplamanın başlangıcından günümüze kırk yılı aşkın süre geçmiş zamanla otomotiv, yedekparça sanayinde, genel sanayide ve beyaz eşya üretiminde kullanım alanı gün geçtikçe artmıştır, buna bağlı olarak ürünlerinin kalitesi ve korozyon dayanıklılığı önemli ölçüde artırmıştır. Kataforez astar bugün dünyada tüm otomobil üretim hatlarında ve beyaz eşya hatlarında kullanılmaktadır.

60'lı yıllarda başlanan anodik kataforez kaplama yöntemi, 1970'lerde geliştirilmiş katodik elektro kaplama olarak devam etmiştir. Katodik elektro kaplama; yüksek performansa sahip olması sebebi ile üretim hatlarında hızlı bir şekilde anodik kaplamanın yerini almıştır.

Kataforez kaplama farklı ve karmaşık yüzey ve geometrisi olan metal parçaların boyanarak korozyondan korunması için çok etkili bir yöntemdir ve son yıllarda kullanımını otomobilden başka diğer sektörlerde de yaygınlaşmaktadır. Otomobillerin kasa gövdelerinde tartışmasız olarak kullanılan Kataforez kaplama son yıllarda otomotive ve yedek parça yüzeylerinin kaplanmasında kullanılmaya başlamıştır [1].

Kullanıcılar tarafından otomobillerde aranan özellikler; metal yüzeyde dayanım (paslanma süresi), performans, maliyet, düşük yakıt tüketimi ve yüzey görünümü daha çok önem kazanmıştır. Bu nedenle otomobilin gövde boyasının rengi ve yüzey kalitesi müşteri araç alırken dikkat ettiği önemli unsurlar olmuştur.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe uygulanan yeni kataforez boya ve uygulama parametrelerinin araç yüzey kalitesi ve boya maliyetine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde otomobil ve diğer sektörlerde kullanılan boya işlemlerinin kalitesini artırmak amaçlı bazı çalışmalar yapılmıştır.

Masi et al. tarafından yapılan bir çalışmada akrilik beyaz boya kullanımının hava ve iklim şartlarına karşı davranışları incelenmiştir [2].

Endregaard, otomotiv sektöründe boyama işlemlerinde robot kullanımının etkisini araştırmıştır. Boya kalitesini artırmada, zamandan tasarruf sağlama ve bakım masraflarının azalması gibi olumlu etkilerinden dolayı boyama işlemlerinin robot yardımıyla gerçekleştirilmesi önerilmiştir [3].

Schulz tarafından yapılan bir çalışmada otomotiv endüstrisinde boyama işlemleri incelenmiştir. Boya işlemlerinin enerji tüketimine ve çevreye etkileri araştırılmıştır [4].

Ramamurthy et al. otomobil boyasına taşlardan kaynaklanan hasarların azaltılması konusunda çalışma yapmışlardır. Hasarlara etki eden parametreler incelenmiştir [5].

Ramamurthy et al. tarafından yapılan bir diğer çalışmada boyalı plastik parçalarda yeni bir yöntem geliştirilmiş ve boya kalitesine etkisi incelenmiştir [6].

Salihoğlu ve Salihoğlu yaptıkları çalışmada otomotiv sektöründe boya çamurları konusunda geniş çaplı literatür araştırması yapmışlardır. Boya çamurlaşmasına etki eden boyanın kimyasal yapısı ve boya kalınlığı vb. parametreler incelenmiştir [7].

Bysko et al. tarafından yapılan çalışmada Endüstri 4.0 kapsamında otomotiv boya endüstrisini incelemişlerdir. Verimliliğin artırılması için boya sanayisinde Endüstri 4.0 uygulamasına geçilmesi önerilmiştir [8].

Torkar ve Godec yaptıkları çalışmada taşıt boya kusurlarını araştırmışlardır. Boyada oluşan hatalar, sebepleri ve giderilme yolları incelenmiştir [9].

Stylidis et al. tarafından yapılan çalışmada otomotiv endüstrisinde taşıt dış görünümünün etkileri incelenmiştir. Tüketiciler tarafından dış görünüme önem verildiği, taşıt üreticilerinin kaliteyi daha da artırmaları gerektiği vurgulanmıştır [10].

Taşıtlarda korozyona karşı elektrokot teknolojisi geliştirilmiştir. Elektrokot teknolojisinin ilk temelleri Ford Motor Company'de 1957 yılında Dr. George Brewer tarafından atılmıştır. Bu teknoloji özellikle otomobil parçalarının korozyona karşı daha dayanıklı duruma getirmek için geliştirilmeye başlanmıştır.

Taşıtlarda yapılan gözlemler sonucunda, özellikle taşıtın gizli kapalı bölümlerinde diğer kısımlara oranla daha fazla paslandığını görülmüştür. Daldırma boya sisteminde kaplamanın derinlemesine daha iyi nüfuz ettiği buna karşın fırınlama işlemi sırasında ortaya çıkan solvent buharlarının kaplamayı yıprattığı bilinmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalar bu dezavantajın giderilmesi üzerine ilerletilmiş ve sonuç vermektedir. İlk Ford elektrokot tankı 4 Haziran 1961' de jantların kaplanması için kurdu. Otomobil gövde kaplaması için ilk tank 1963'de çalışmaya başladı. Her iki tankta Anodik Elektrokot olarak başlandı [1].

Bu ürünün sunulmasından sonra hızla büyüyen pazar 1975'de katodik ürünlerin de devreye girmesiyle adeta bir patlama yaşadı. 1965'de sadece 100 araçta katodik kaplama yapılmışken 1970'li yıllarda üretilen araçların %10'u, şimdilerde ise %90'ı elektrokot kaplaması yapılmaktadır.

## BÖLÜM 3

### KATAFOREZ BOYA HAKKINDA GENEL BİLGİLER

#### 3.1. KATAFOREZ (ED) BOYA

Geleneksel kaplama/boyama yöntemlerinin Kataforez ile karşılaştırıldığı zaman Kataforez kaplamaların üstünlükleri daha fazladır. Bu özellikler aşağıdaki belirtildiği gibi sıralanabilir.

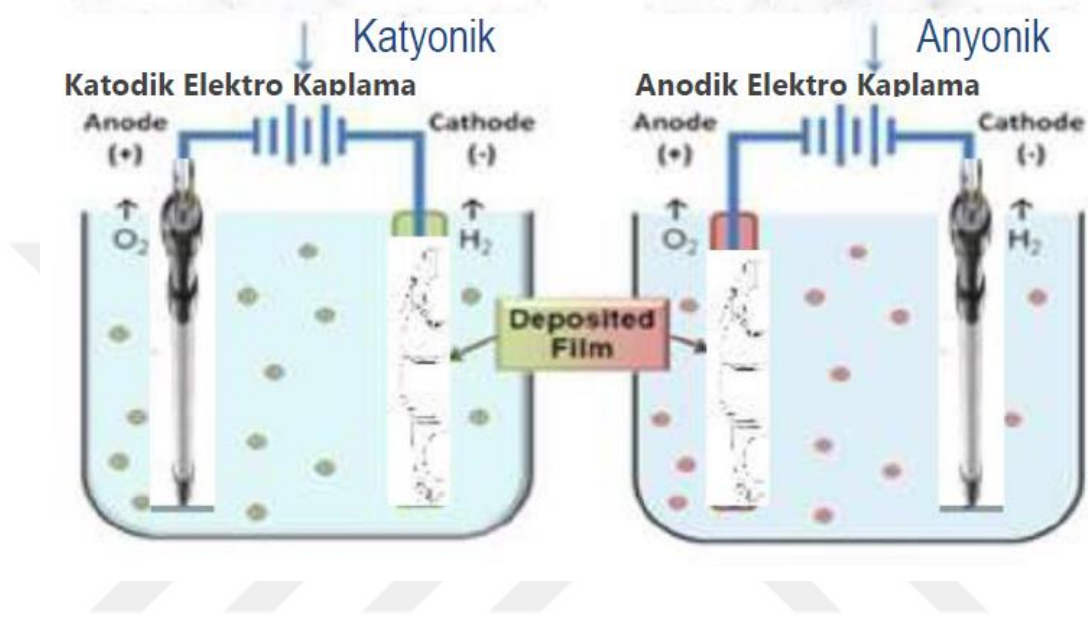
- Homojen boya film kalınlığı ve yüzey görüş,
- Kapalı hacimler (kutu içleri) ve kaynaklı bölgelerin daha iyi kaplanması,
- Boya kayıplarının çok az olması, yüksek üretim hat hızları,
- Su bazlı boya olduğu için yangın çok az ve sağlık riskleri daha az.
- Çevre kirliliği daha azdır [11].

#### 3.2. ELEKTRO KAPLAMA MEKANİZMASI AVANTAJ ve TEORİSİ

Kataforez aşağıdaki belirtilen koşullarda yapılan bir boya/kaplama uygulama yöntemidir.

- Boyanın kendisi koloidal bir elektrolit veya koloidal bir elektrolitle sabitleştirilmiş edilmiş bir dispersiyondur. Kaplama gerçekleşmesi gövdenin elektrotlardan birine boya tankı diğer elektrota olmalıdır.
- Kaplanan gövde tanktan geçerken sisteme doğru akım verilerek işlem yapılır. Bu zaman içinde tank içinde elektrokimyasal tepkimeler sonucu gövde kaplanır.
- Daldırma banyosundan çıkarılan gövdeler üzerinde mekanik olarak yerleşmiş çok ince gevşek boya filmi yıkanarak alınır.
- Belirli bir ön yıkama ve durlamalardan sonra gövde ve/veya parça fırından geçirilerek kurutulur.

Genel olarak kateforez uygulama iki farklı yöntem ile uygulaması yapılır; "anaforez" ve "kataforez". Anaforez; Boyanacak eşyanın devrede anot olarak bağlanması hali oluşan sürece "anoforetik/anodik elektro kaplama" (AED) adı verilir. Boyanacak Gövde veya parça eşya elektrik devresinin kato olur ise, buna "kataforez", elde edilen kaplamaya ise " kataforetik/katodik elektro kaplama" (CED) denilir, (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1. Şematik elektro kaplama gösterimi.

- Anodik Kaplama (AED): Anot'ta kaplanacak parça. Reçinede katyon olur.
- Katodik Kaplama (CED): Katot kaplanacak parça. Reçine anyon olur.

Kataforez kaplama süresince bir dizi elektrokimyasal reaksiyonlar olur. Bu reaksiyonların önemli aşamalar;

- Reçinenin çözünürlüğü ve iyonlaşma,
- Suyun elektrolizi,
- Reçine çözünmezliği,
- Akma olmaması ve düzgün film yüzeyinin oluşması,
- Hızlı kaplama olması
- Her yüzeyde düzgün ve yeterli kaplama [11].

### **3.3. KATAFOREZ BOYA İLE KAPLAMANIN AVANTAJLARI**

Elektro kaplamanın birçok avantajı vardır. Bunlar, kalite, maliyet, verimliliği, üretkenlik ve çevresel avantajlar olarak sıralanabilir.

#### **3.3.1. Uygulamanın Avantajları**

- Düzgün yüzey film oluşumu; akma olmaması
- Hızlı kaplama
- Tüm yüzeylerde yeterli ve düzgün kaplama
- Keskin köşelerde daha iyi kaplama

#### **3.3.2. Performans Avantajı**

Kataforez Elektro kaplamada hattın verimliliği, üretkenliğini farklı etkenler ve faktörler etkileyebilir, yüksek hat hızı, gövdelerin yoğun bir şekilde hattın geçmesi, uygunsuz parça yüklemesi, insan hataları veya hatasının az olması olarak sıralanabilir;

- Korozyon performansı, dayanımı
- Mekanik özellikleri
- Kimyasal direnç

Elektro kaplamanın avantajlarından bir diğeri de püskürtme sistemlere nazaran yüksek çalışma hızlarında hattın yürütülebilmesidir. Birim zamanda daha çok parça veya gövde kaplanabilmesi, birim maliyetleri azaltır. Bir başka avantajı ise, elektro kaplama süreci gövdelerin seri olarak ve toplu olarak kaplanmasına izin verir. Çünkü süreç otomatiktir.

Gövde ve parçalar araları daha dar ve sık olabilir, çünkü püskürtme uygulaması için araç ve parça düzenlemek yerine hat tanklara daldırmakta ve bu sayede boya kaplanmaktadır. Bu avantajları yağ ve toz boya uygulamalarında elde etmek mümkün değildir. Elektro kaplama süreçleri otomatikleştirildiğinden insan hatası faktörü

adamakıllı azaltılmıřtır. Yine diđer teknolojilerle ulařılamayacak dūřuklūkte ıskarta oranları ile benzer kaplama sūreçlerine gōre daha dūřuk bakım maliyetine sahiptir [13].

### 3.3.3. Ekonomik Olarak Avantajları

Kaplama maliyet verimliliđi; oldukça yūksək boya transfer verimi, dūřuk iř gūcū ihtiyaçı, yūksək hassasiyette boya filmi kalınlık kontrolūdur. Kataforez kaplama uygulamadaki en verimli boya teknolojisidir. Filtrasyon sistemleri, gōvde ile tařınan kaplanmamıř boyanın tekrardan kullanımını sađlamaktadır. Kapalı çevrim sistemler boyayı tanka toplayıp geri dōnūřumū sađlar. Bu sayede filtrasyonun gerçekteřtirilmesi ile kataforez kaplamanın transfer verimliliđi yūksək olur. Yaklařık olarak %95–99 arasındadır. Bu üretici firmalar için fazlasıyla dūřuk iřletme maliyeti anlamına gelmektedir. Üretim maliyetlerinin azalmasına sebep olur.

Elektro kaplama sistemi hassas boya filmi kalınlıđı takip ve kontrolūnū sađlamaktadır. Uygulanan voltaj kuru film kalınlıđı ile direkt olarak ilgilidir, uygulanan voltaj būyūk ise, kaplama kalınlıđı da o oranda fazla olur. Gōvde ve parçalar izole olduđunda elektro kaplama sona tamamlanır. Kataforez kaplama uygulamasındaki dūzgūnlūkte bir boya film kalınlıđı kontrolū sunan bařka bir boya uygulaması sistemi bulunmamaktadır. Tipik boya uygulamalarda kuru film kalınlıđı sadece 2–5 mikron mertebesinde deđiřiklik gōsterir. Diđer boya uygulamalar da film kalınlıđı, gōvde ve parça geometrisine de bađlı olarak 15–50 mikron arasında farklılık gōsterir. Kaplamanın kendini karakteristik uygulama metodu sayesinde, diđer pūskūrtme boya sistemlerinde olduđu gibi alıřılmıř, akmalar, damlamalar, az boya, vb. problemler yařanmaz. Buda malzeme kullanımı ve yeniden iřleme maliyetinde būyūk faydalar sađlar [14].

Kataforez kaplama teknolojisinin kullanım, pūskūrtme sistemlerine gōre daha az iř gūcū gerektirir. Elektro kaplama sisteminde bir iki kiřinin yaptıđı iřler, otomatik pūskūrtme sistemlerinde pūskūrtme boya uygulamalarında 4–5 kiři tarafından yapabilir. Yalnızca bir operatōr elektro kaplama sistemini iřletebilir.

- %95-98 oranında boya kaplama verimliliği

- Yüksek otomasyon ile çalışma
- Tam ve verimli kaplama
- Yüksek hat verimlilik

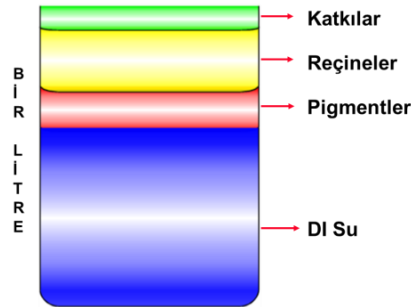
### 3.3.4. Çevresel Açından Avantajları

Çevresel olarak da Elektro kaplamanın avantajları mevcuttur. Oldukça az denecek miktarda uçucu organik bileşikler (VOC) ve tehlikeli hava kirleticisi (HAP), boyada ağır metal olmaması, düşük yangın tehlikesi, asgari atık tahliyesi ve çalışan operatörlerin tehlikeli maddelere çok daha az maruz kalması şeklinde sıralanabilir.

- Düşük VOC
- Havayı kirleten madde olmaması
- Çok düşük miktarda katı atık
- Su bazlı yapı sonucunda yanma ve parlama riski

### 3.4. KATAFOREZ BOYA FORMÜLASYONU

Kataforez tankında kullanılan malzemelerin genel yapısı, diğer boya formülasyonlarından farklı değildir. Diğer boya sistemlerinde olduğu gibi kataforez boyayı oluşturan kimyasal bileşenler üç grupta toplanır (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2. Kataforez boya banyosundaki maddeler.

- Reçine (%10–20);



- Düşük / Yüksek viskoziteli
- Sıvı haldedir
- Pigmentler (%0–5)
  - İnorganik / Organik pigmentler
  - Dolgular malzemeler
  - Geniş renk uygulama sıklası
- Katkı maddeleri ve tinnerler (Solvent) (%0–5)
  - Sıvı / Katı halde olmaları
  - Petro-kimya ürünleridir
  - Çok çeşitli yapıdadırlar

Reçine, kataforez boyada filminin asıl elemanı olup, boyadan beklenen korozyon dayanımı ve UV dayanıklılığı gibi ana özellikleri taşır. Bu kimyasal maddelerin hepsi, üründen beklenen özellikleri sağlamak adına (istenen kalite, performans, çevre, maliyet faktörleri) üretici firmalar tarafından çeşitli düzenlemeler ile yapılır. Bunlar genellikle akrilik, veya epoksi yada her ikisini birden içerebilir. Epoksi polimer, korozyon ve kimyasal olarak dayanımı çok daha yüksek, akrilik polimer’de UV dayanıklılığı vede renk kontrolü gibi özellikleri daha iyidir. Bunların kombinasyonu da belirtilen özelliklerin birleşimini sunar. Genel olarak diğer boya benzeri maddelerde çok farklı olmamakla beraber Elektro kaplamada kullanılan ürün reçinesi diğerlerinden farklıdır. Bu reçine tipi iyonlaşabilen reçinedir [15].

Pigmentler, özel tip reçineler, renk veren ve içeren pigmentler, dolgular ve su-tinner karışımı ile hazırlanırlar. Renk pigmentleri boyanın rengini verir, korozyon dayanımı ve parlaklık sağlarlar. Çeşitli dolgu malzemeleri boyanın doldurma gücünü güçlendirir. İçlerinde bulunan farklı bileşiklerin yardımı ile kaplama reaksiyonunu kontrol eder. Dolguların önemli bir diğer özelliği kataforez sistemi elemanlarına (sirkilasyon boruları, vanalar, nozzel, vb.) pasivasyon yaparak korozyona karşı sistem ekipmanlarına korurlar. İnorganik ve organik tip pigmentler kataforez boya sisteminde kullanılabilir. Kullanılan başlıca pigmentler; karbon siyahı ve  $TiO_2$  dir. Dolgular çeşitleride çeşitli inorganik malzemeler ve silikat bileşikleridir. Silikat bileşikler sayesinde kaplama yüzeyi düzgün bir görünüş alır.

Kataforez kaplama sisteminde solvent olarak, saf su (DI su), fenoksi propanol ve bütül glikol içerir. Tanka bütül glikol pigment pastadan ve direk olarak ilave ile, fenoksi ise reçine ile gelir. Bunun haaricinde buharlaşma ve tank içi reaksiyonlar neticesinde azalan solvent ve saf su tanka besleme yolu ile banyoya ilave edilir.

Kataforez banyoda oldukça az miktarlarda olan solventler banyo için önemli görevleri vardır. Boyanın iyi nüfuz etmesi ve film kalınlığını artırmak için Butil glikol kullanılır. Aynı zamanda reçine ile pigment pastanın sulu ortamda karışmasında yardımcı olur. Özel bir reçine olan Fenoksi ise, su ve butil glikol bulunduran özel bir solvent / katkı maddesidir. Fenoksinin su içinde çözünürlüğü bütül glikol kadar iyi değildir.

Çözünürlüğü suda az olduğu için banyoya fenoksi UF tankından veya reçine / emülsiyon pompası yardımı ile sisteme çok yavaş bir şekilde ilave edilir.

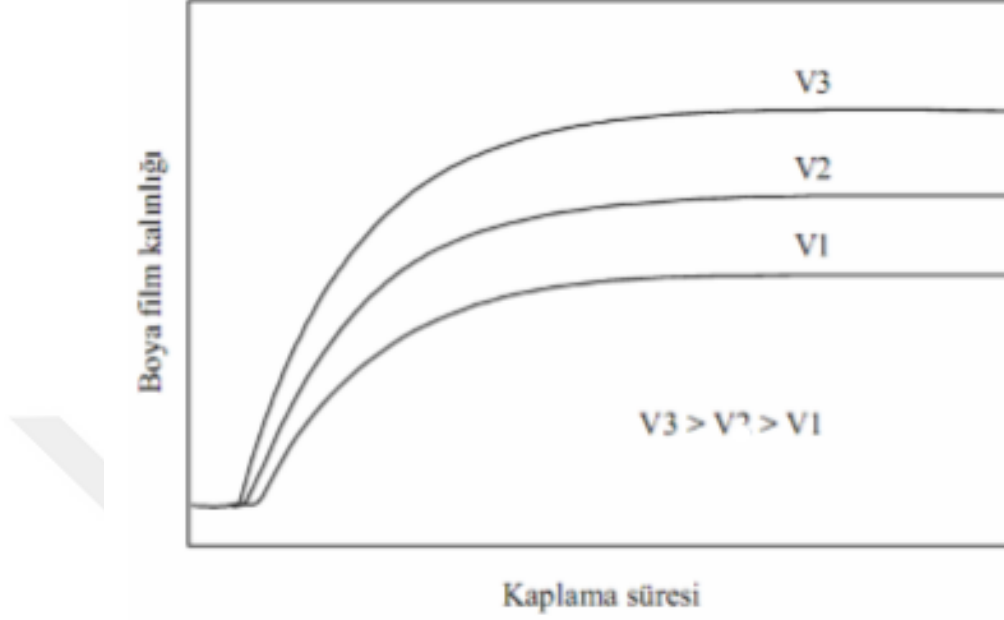
Saf su (Deiyonize-DI su) elektro kaplama tankında, banyonun en büyük bileşenidir, yaklaşık banyonun %80-90'ını ihtiva eder. Saf su, reçine, pigmentler ve solventler için bir nevi taşıyıcıdır. Saf su farklı sistemler ile üretilir (UF, Membran, Recine, vb.)

### **3.5. KATAFOREZ KAPLAMA NASIL GERÇEKLEŞİR?**

Elektro kaplamanın temeli zıt kutuplar birbirini çeker prensibidir. Boya, elektro kaplama banyosuna daldırma ve banyoya gövde ile elektrotlar arasında elektrik akımı verme şekli ile uygulanır. Bu uygulamada akım doğru akım olmalı. Gerilim uygulandığında, gövde ve çalışan elektrotlar biri pozitif anot, diğeri negatif katot olacak şekilde zıt kutuplara sahip olacaktır. Elektro kaplama, kendini sınırlayan bir uygulama olup, gerçekleşen kaplama gövdeyi elektrikselsel olarak izole ederek kaplama işlemi yavaşlar. İyonlaşan boya önce karşı elektroda yakın bölgelere hücum ederek kaplanır. Daha sonra bu bölgeler kaplanıp, elektrikselsel olarak izole olunca boya, daha girintili bölgelere doğru zorlanır ve açık metal bölgelerde tamamen kapsayacak şekilde kaplanır. Daha fazla kaplama uygulanamayacak şekilde tüm yüklenen bölgeler tamamen homojen bir şekilde kaplanır.

Gövde ve iş parçasına uygulana gerilim miktarı, parça üstünde oluşan boyanın filmi

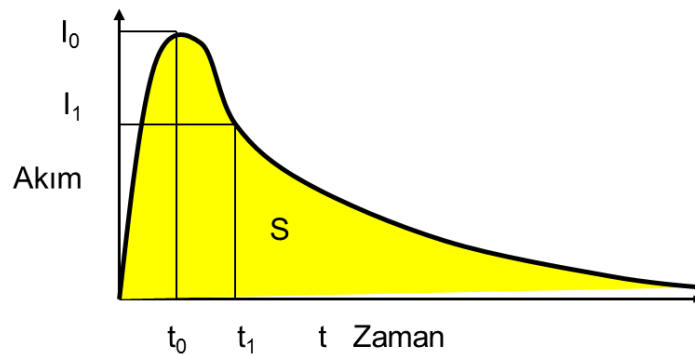
kalınlığı için birincil kontrol değeridir (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3. Boya filmi kalınlığı ile uygulanan voltajın ilişkisi.

Boya uygulandığında, kaplanan film tabakası yalıtkan veya direnç görevi görür. Ohm kanununa uygun olarak kaplanan bölgelerde elektrik direnci arttıkça, elektrik akımı azalacaktır. Elektro kaplamanın kendini sınırlayan bu özelliği, uygulamanın karmaşık şekilli iş parçalarını aynı kalınlıkta kaplayabilmesini sağlar.

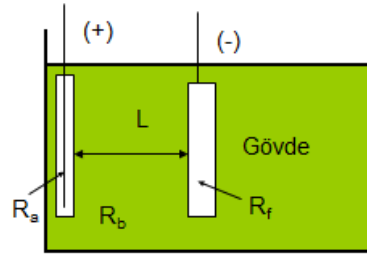
Kaplanan boyanın miktarı mg/coulomb olarak tanımlanır. Kaplama süresi, kaplamanın direncinin akım geçişini durduracak kalınlığa ulaşmasına kadar devam eder, (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4. Kaplama süresi ile akım geçişi ilişkisi.

Kaplama kalınlığını artırmak için doğru akımın sürekli yükseltilmesi doğru bir yol değildir, çünkü yüksek akım Hidrojen (H<sub>2</sub>) çıkışına ve aşırı ısınmaya neden olacağından kaplamada yırtılmalara ve hatalara neden olur. Bu kritik nokta yırtılma voltajı 'Rupture voltage' olarak adlandırılır. Kaplama süresi boyunca oluşan temel tepkimelerden başka yan tepkimelerde vardır. Bunlardan bir tanesi özellikle anodik Ed'lerde metalin elektrokimyasal olarak çözünmesidir. Bahsedilen yan tepkime sonucu oluşan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O tipik kırmızı renkli demir oksit (pas) olup sarı lekelenmelere neden olur. Bu da korozyon dayanımı performansını sınırlayan önemli bir sorun olup, bu lekelenmelerin katodik elektro kaplamada çok az olması yine katodik elektro kaplamaya hızlı geçişin nedenlerinden biridir.

Kataforez kaplamada kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi, güç ünitesi tarafından yaratılan elektriksel alan tarafından sağlandığını belirtmiştik. Anot ile katot arasında elektriksel köprü kurulurken üç direnç ile karşılaşılır. Bunlar anolit direnci (R<sub>a</sub>), boya direnci (R<sub>b</sub>) ve metal yüzeye kaplama yapıldığı anda meydana gelen film direnci (R<sub>f</sub>) olarak sıralanırlar (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5. Elektriksel köprü kurulurken karşılaşılan dirençler.

Anot ile Katot arasında potansiyel fark üç dirençle karşılaşırlar;

R<sub>a</sub> : anolit sıvısı

R<sub>b</sub> : kataforez banyo

R<sub>f</sub> : gövde üzerindeki boya filmi

Formülize edilirse;

V=I xR (Ohm kanunu)

Sistemin toplam direnci;

$$R = R_a + R_b + R_f$$

Ohm kanununa uygulanırsa;

$$V = I \cdot (R_a + R_b + R_f)$$

Burada V her daima sabittir.  $R_a / R_b$  dirençleri de sabit olarak kabul edilir.  $R_f$  değeri yüzeye kaplanan boya filmin direnci olduğundan film kalınlığı sıfır mikrondan istenilen kalınlığa gelene kadar artış gösterir ve sabitleşir.  $R_f$  direnç değeri sabitleşene kadar akım (I) değeri sabit kalmaz. Yüzey kaplama başladığı anda akım en yüksek konumuna ulaşır ve o anda  $R_f$  değeri sıfırdır. Daha sonra akım (I) değeri kaplama ile birlikte düşer ve  $R_f$  artar. Akımdaki bu değişim kataforez sistemlerinde sadece daldırma tip banyolarda izlenebilir. Diğer yürüyen sistemlerde gövdeler arka arkaya geldiği için akım değişimini daldırma sistemlerdeki gibi net görmek mümkün değildir. Şekil 3.4.'te gösterilen akım-zaman grafiğinde eğrinin altında kalan alan tüketilen boyayı (film kalınlığını) gösterir.

### **3.6. KATODİK VEYA ANODİK ELEKTRO KAPLAMA**

Elektro kaplama, kaplamanın nerede gerçekleştiğini belirtmek için, anodik veya katodik (anaforez veya kataforez) olarak adlandırılır. 1960'larda ilk uygulaması yapılan elektro kaplama anodik sistemlerdi. Katodik sistemler daha sonra geliştirilmiş ve endüstride kullanımı 1970'lerde başlamıştır.

Anodik elektro kaplama, negatif olarak yüklenen boya parçacıklarının, pozitif yüklü metal iş parçalarını kaplamada kullanılmasını kapsar. Anodik elektro kaplama yüksek renk ve parlaklık kontrolü ile birlikte ekonomik bir uygulamadır. Ancak yukarıda bahsedildiği gibi, kaplama esnasında metal iş parçasından metal iyonlarının çözünmesine ve bu iyonların kaplanan boya filmi içerisinde hapsolmesine neden olur. Bu da nem ile etkilenerek bu kaplamanın korozyon dayanımını sınırlandırır.

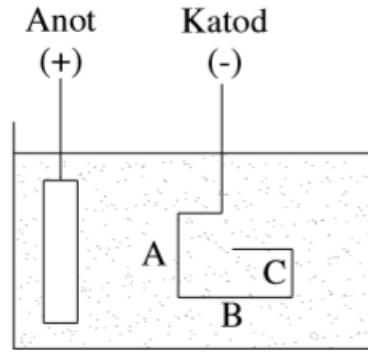
Katodik kaplamada, pozitif yüklü boya parçacıkları, negatif yüklenen iş parçasına çekilir ve kaplanan film tabakasında daha az demir içerir. Böylece anodik kaplamaya göre daha yüksek korozyon dayanımı sunar.

Genellikle yüksek korozyon dayanımı gerekli uygulamalarda, katodik elektro kaplama sistemleri özellikle istenir. Özellikle son 30 yılda otomotiv ve beyaz eşya endüstrisinde bu kaplamalar pazara hâkim duruma gelmesi bu kaplamalara ilginin kanıtıdır.

### 3.7. KATAFOREZ KAPLAMAYI ETKİLEYEN PARAMETRELER

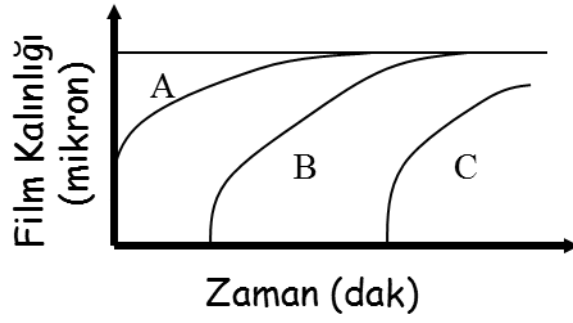
#### 3.7.1 Nüfuz etme (Penetrasyon)

Yüzeyde ilk kaplama anot (diyaliz) hücrelerine bakan dış kısımlarda meydana gelir. A yüzeyi hücreye en yakın konumda görülüyor. Kaplama için harekete geçen akım ilk önce A yüzeyini etkiler. Daha sonra B yüzeyi kaplanır. C yüzeyi iç tarafta kaldığı için en son ve daha az kaplanan bölgedir. Şekil 3.6'da görüldüğü üzere



Şekil 3. 6. Kaplama tankında parça yüzeylerinin anot hücrelerine göre konumu.

C bölgesinin kalınlığı kataforez kaplama zamanı artırılarak yükseltilebilir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken nokta, uzun kaplama süresindeki A bölgesindeki film kalınlığının fazla artmaması ve yüzey kalitesinin bozulmamasıdır. Aşağıdaki şekilde film kalınlıklarının zamana göre değişimi görülmektedir, (Şekil 3.7).



Şekil 3. 7. Film kalınlıklarının zamana göre artışı.

Kaplama nüfuz etme özelliği boyanın tipine göre değişir. Kaplanacak gövdelerin yüzeyleri, tank sıcaklığı ve boyanın iletkenliği de bu özellik üzerinde etkilidir.

### 3.7.2. Kül, Katı, ve P/B Oranları

Kaplamanın tanktan eksilttiği boya malzemeleri düzenli olarak banyoya ilave edilmelidir. Kataforez tankında reçine ve pigment karışımı için bir oranı var buna  $P/B=(Kül / Katı-Kül)$  denilmektedir. Yüzeydeki boyanın içindeki P/B oranı her zaman, banyodaki orandan daha yüksektir. Bunun sonucu tank içinde kullanılan pigment miktarı, reçineden fazla olur.

Banyodaki katıyla birlikte asitler ve solventlerde azalma meydana gelecektir. Günlük üretim kaplama kapasitesine göre tanktaki malzeme oranları değişiklik gösterir. Tanka yapılan malzeme ilaveleri yapılan analiz sonuçlarına göre olur. İlavelerde her zaman aynı oranlarda kullanılamaz, sebebi malzemelerdeki azalmaları her zaman aynı oranda olmayabilir. Tanka yapılacak ilavelerin miktarlarını hesaplarken farklı yöntemler kullanılabilir.

- Günlük kaplanan gövde ve parça sayısına göre ilaveler
- Günlük tank analizlerine göre ilaveler

Günlük yapılan katı, kül ve P/B analizi değerler göz önüne tutularak malzeme ilaveleri yapılır. Kullanım kaplama sonucu banyonun katı ve kül değerleri değişir azalır. Bu azalma her zaman aynı miktarda olmayabilir [14].

### 3.7.3. Katı Madde Miktarı Tayini

Katı madde tayini aşağıda olduğu gibi yapılır. Yapılan test ve analiz sonucunda % katı miktarı %21–23 aralığında olması istenir. Katı madde miktarı düşük ise pasta, ve reçine ilavesi yapılır. Katı miktarı kalınlığı etkiler.

- Standart tartı ekipmanı kullanılarak çapı 50 mm olan kenar mesafesi 5 mm olan alüminyum folyonun darası alınır. (A)
- 1,0 – 2,0 gr kataforez boya numunesi folyo içine konur.
- Tekrar tartım yapılarak dolu ağırlık alınır ve kaydedilir. (B)
- Bu numune 110 °C sıcaklıklarda fırında 60 dakika kalır.
- Aynı numune desikatör yardımı ile 20–25 °C 'ye kadar soğutulur.
- Desikatörden alınan numune tekrardan tartılır. (C)

### 3.7.4. Kül Miktar Tayini

Kül miktarı hesap ve tayini aşağıdaki gibi yapılır. Yapılan test sonucunda % 1,3–2,1 arasında olması istenir.

- Öncelikle porselen krozenin darası tartılarak alınır. (A)
- Bu krozenin üzerine 1,5–2,0 gr kataforez boya numunesi konur.
- Tekrardan krozenin tartımı yapılır ve ağırlık kaydedilir. (B)
- Hazırlanan numune 110 °C'de 60 dakika fırında kalır ve numune kurumuş olur.
- Ardından aşağıdaki gibi sırasıyla,
  - 250 °C'de 30 dakika
  - 450 °C'de 30 dakika
  - 750 °C'de 20 dakika kül fırınına konur ve numunenin yanması sağlanır.
- Desikatörde yardımı ile 20–25 °C'ye kadar numune soğutulur.
- Desikatörden alınan kroze tekrardan tartılır. (C)

### 3.7.5. P/B (Katı / Kül Reçine) Hesabı



- Numunenin katı ve kül oranları bulunur.
- Aşağıdaki formül ile P/B oranı hesaplanır.  $P/B = \text{Kül} / \text{Katı} - \text{Kül}$
- Yapılan analiz sonucunda P/B oranının 0,016 – 0,019 aralığında olması istenir.

### **3.7.6. Kataforez Boya PH Kontrolü**

PH bir boyada asit ve baz grupları arasındaki dengedir. Boyanın stabilizesini gösterir. Kataforez boyada PH 5.7 – 6.0 aralığındadır. PH değeri yükseldiği zaman reçine çözünürlüğü azalır ve emülsiyonun stabilizesi bozularak boyanın tank içinde, filtrelerde ve membranlarda topaklanmasına neden olur.

PH değeri düştüğü zaman ise borularda meydana gelen korozyon ortama demir iyonları çıkarır. Membranlarda tıkanmalara neden olur. Kataforez sisteminin pH'a bu kadar bağlı olma nedeni, reaksiyon sırasında katot yüzeyi üzerinde hidroksil grupları (OH<sup>-</sup>) oluşur ve pH yükselir böylece topaklanan boya yüzeye çökerek yapışır. Analizler günde 1 defa yapılarak kayıt altına alınır.

### **3.7.7. Kataforez Boya İletkenlik Kontrolü**

Boya iletkenliği, boyadaki akımı geçirme özeliğini gücünü gösterir. Kaplama kalınlığına etkier. Çalışan bir tankta iletkenlik, açığa çıkan çözünür tuzların, polarize olan solventler ve asitlerden kaynaklı her yükselme eğiliminde olur.

İletkenlik, sistemdeki asit iyonlarının ortamdan uzaklaştırılması veya UF tankından atılmaları ile dengede tutulur. Tankdaki iletkenliği değiştirmek için ilave edilen solvent miktarı artırılır yahut katyonik gruplar (NH<sup>+</sup>) artırımı veya tank sıcaklığı artırılır.

Kalibre edilmiş iletkenlik ölçer cihazlar yardımı ile gerekli ölçümler yapılır. İletkenliğin 1000 – 2000  $\mu\text{S}$  aralığında tutulması istenir. Yapılan testler tüm vardiyalarda 2 defa yapıp kayıt altına alınmalıdır.

## **3.8. KATAFOREZ BOYA KAPLAMA SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ**

Üretilen gövdeler, tüketici veya sanayide kullanılan metal eşyalar boyanmaktadır. Bu boya katmanı dekoratif amaçla olabilir veya, çoğu zamanlar malların iş parçalarının hizmet/servis süresini de geliştirebilir. Boya veya kaplama yapılmadan önce, metal gövde yüzeyleri yüzey hazırlama işlemlerinden geçer. Yüzey hazırlama safhalarının amacı;

- Metal gövde ve / veya iş parçalarını temizlemek,
- Gövde üzerine kaplama boyanın tutunmasını artırmak,
- Gövde / İş parçaları ile boya reaksiyonunu azaltmak (özellikle galvaniz kaplı yüzeylerde)
- Gövdelerin korozyon performansını, dayanımını artırmak.

Kataforez boya kaplama öncesi yüzey hazırlama proses akışı aşağıdaki gibidir.

- Yağ alma (bir veya daha fazla adımda olabilir)
- Durulama
- Aktivasyon
- Fosfat kaplama
- Durulama
- DI saf su durulama

### **3.9. KİMYASAL YÜZEY HAZIRLAMA KAPLAMA ÖNCESİ**

Metal malzemeler, özellikle çelik otomotiv ve beyaz eşya sektöründe ve imalat sanayinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Çünkü metal-çelik, bu araçlar ve makineler için üretimde ve kullanım zamanlarında bir çok özelliği optimum kombinasyonu üzerinde taşır. Çelik ve metaller ayrıca form vermede, birleştirmede ve montaj safhalarında güvenilir ve gelişmiş süreç teknolojilerine sahiptirler, darbe, basma-çekme gerilme, sürtünme ve sıcaklığa karşı yüksek dayanımı ve alternatif malzemelere mukayes edildiğinde avantajları, maliyet/fayda oranına sahiptirler. Genel olarak form vermek ve imalat süreçleri, kimyasal yüzey hazırlıkları önemli rol oynar. Belirli işletme safhalarını kolaylaştırmak veya bütünüyle mümkün yapmakta ve bitmiş ürün yüzeylerinde özel işlevleri gerçekleştirmede görev alır.

Boya öncesi yüzey hazırlama süreçleri, iletken yüzeyler için seri boyama prosesinin başlangıcından bu yana kullanılmaktadır. Boyama ve kaplama işlemi yapılmış ürünlerde yüksek kalite üretmek ve dayanıklılığını ve hizmet süresini arttırmak için kaplama sistemleri sürekli bir gelişim görmüştür. 1960'larda elektro kaplama sistemi geliştirilmiş ve sanayide kullanılmaya alınmıştır. Başlangıç olarak anodik elektro kaplama sistemi ile başlamış, aynı dönemlerde dönüşüm elektro kaplama prosesleri aynı yönde gelişim göstermiştir. Normal çinko fosfat kaplama teknolojisi 1970'lerde son teknoloji ürünler olarak görülmeye başlamıştır. Sonrasında, katodik elektro kaplama süreçleri ihtiyaçları karşılamak için düşük oranda çinko fosfat teknolojileri gelişti. 1990'larda, gövde ve iş parçalarında alüminyum alaşım ve çinko kaplı çeliklerin pazara girmesi ile fosfat teknolojilerinde de değişti. Farklı tiplerde metal iyonları asidik ortamlarda dengede tutularak, işlem görecektir gövde ve metal iş parçalarının üzerine çökmesi ile sağlanması olarak açıklanan değişim kaplamaları temelleri, sabit kaldı. (Fosfat banyo PH değişikliğiyle)

### **3.10. KİMYASAL YÜZEY HAZIRLAMA AŞAMALARI**

#### **3.10.1. Yağ Almalar**

Yağ alma üniteleri yüzey hazırlama proseslerinde ilk adımlardır. Yüzey temizlikleri sonraki bütün adımların hepsinin kalitesini etkiler, yağ alma banyolarında boya öncesi hazırlıkların önemli adımlarıdır. Yağ almalar daha önceleri farklı yöntem ve malzemelerle yapılmış olsa dahi günümüzde çevresel etkilerin önplan çıkması ile sulu çözeltiler yaygın olarak kullanılmakta. Yeterli metal yüzey temizliğini belirlemenin en kolay ve gelenekselleşmiş yöntemi, gövde ve iş parça yüzeyinde su tanecikleri yüzeyde birbirinden ayrılarak bombe yapması ve gövde ve parçanın kurummasının görülmesidir. Bu gözlemin sonrası, fosfat kaplama öncesi son durulama çıkışında yapılması uygundur, aktivasyon ve çinko fosfat kaplama işlemleri yüzeyin tamamen ıslatılmış olduğundan emin olmak gerekir. Bu şekilde olması kataforez kaplama önce olası kusur ve leke olmaksızın yüzeyleri hazırlamaya olanak sağlar.

Metal gövde yüzeylere uygulanacak temizlik ürünleri üzerindeki kirler ile de büyük oranda ilgilidir. Genelde, gövde ve parça üretim sürecinde kolayca temizlenecek

yağları kullanmak sistem için uygun olacaktır. Yüzey işlemleri proses öncesi kısa duruşlarda korozyonu önleyebilmelidir ve operasyonda fifo ilk giren ilk çıkar sistemi ile çalışmalıdır.

Genel uygulama yağ alma işlemi çoklu uygulama olabileceği gibi tek bir adımda gerçekleştirilebilir. En basiti yağ alma banyosundan sonra bir durulama banyosu, sonrasında ön işlem (fosfat kaplama), ikinci bir durulama ardından dinginleşme (pasivasyon) şeklinde olur. Tipik banyodaki sıcaklığı 55–65°C arasındadır.

Özellikle otomotivde gövde kaplamasında, başlangıç olarak spray (püskürtme) yağ almadan sonra takiben tank daldırma yağ alma uygulanması ile olur. Bu uygulamalar ile ağır pislikler ilk banyodan püskürtme uygulaması ile uzaklaştırılacak ve sonki daldırma banyosuda oldukça temiz kalacaktır, görünmeyen ve iç yüzeyler temizlenmiş olur. Bu uygulamalar sonrasında kataforez tankının metal parçacıklarından ve diğer kirlere korunmuş olmasına yardımcı olduğunu görürüz.

### **3.10.2. Durulamalar**

Durulama prosesi önemlidir ancak genellikle dikkat edilmez veya bakılmaz. Buradaki temel amaç, yağ alma kimyasalının takip eden banyolara taşınmasının mümkün olduğunca minimize edilmesidir. Yağ alma malzemesi alkali olduğundan ve kir içerdiğinden içeriğinin diğer banyolara fazla taşınması kırı tekrar malzeme üzerine taşıyabilir, sonraki banyoların performansını bozabilir, hatta kimyasallarını etkisizleştirebilir. Durulama, yağ alma malzemesinin yüzeyden yeteri derecede elimine edilmesini sağlamalıdır.

Fosfatlama öncesi yapılan durulamalarda genellikle şehir suyu ya da kuyu suyu kullanılabilir. Kullanılacak su, 10-20 F sertliğinde, klorür konsantrasyonunun 50 mg/l'tnin altında ve sülfat (SO<sup>4</sup>) konsantrasyonunun 40 mg/l'tnin altında olmalıdır. Durulama banyolarında bir kimyasal kullanılmamaktadır.

Fosfatlama sonrası işlemler fosfatlama öncesi işlemler kadar yüzey hazırlamanın önemli bir parçasıdır. Fosfatlama sonrası, yüzeydeki kaplama su ile iyice

durulanmalıdır. Bu bölümde uygulanan durulama banyolarında kullanılacak su kalitesi de iyonize su olmalıdır.

### **3.10.3. Yüzey İyileştirme (Aktivasyon)**

Çinko fosfat kaplama prosesi yüzeye daha iyi boya tutunmasını sağlamak amacıyla ile fosfat öncesi küçük ve sıkı kristaller oluşumu sağlamak için etkili bir iyileştirme banyo veya püskürtme sistemine ihtiyaç duyar. Aktivasyon kimyasalları genellikle titanyum tuzunun jelâtinimsi süspansiyonları olup, kullanıma bağlı olmaksızın zamanla malzeme özelliğini yitirir. Dolayısıyla, tanka devamlı malzeme beslemesinin olması banyo performansının korunmasını sağlar.

Aktivasyon banyosu, deiyonize su ile hazırlanmalı veya 50 mg/lit'nin altında klorüre daha sahip olmalıdır. Banyonun sıcaklığı, 10–30 °C arasında olması sağlanmalıdır. Banyonun pH.'ı, 8-9'un arasındadır. Banyodaki spreynin basıncı, 0,7–2,5 bar'dır.

### **3.10.4. Fosfat Kaplama**

Fosfat kaplama uygulaması, fosfat bileşimi itivaeden bir kaplama oluşturmak için, metallerin fosfat içeren asidik çözeltiler ile işlem görmesini kapsar. Kimyasal olarak, fosfat kaplama prosesi iki tipe ayrılır. Birincisi, metal iyonları gövde ve iş parçası malzemesinden gelir. Bu tipe kristalsiz fosfat kaplama veya genel adıyla demir fosfat olarak bilinir. İkinci sistemde ise farklı olarak fosfat kaplama için metal iyonları fosfat banyodan sağlanır. Bunlar da isim olarak çinko fosfat prosesi denir, sadece çinko ve ya çinko ile birlikte nikel, mangan, kobaltta olabilir.

Demir fosfat prosesi toplam maliyet değerlendirmelerinin, maksimum performans beklentilerinin önüne geçtiği uygulamalarda tercih edilmektedir. Çinko fosfat prosesi ise başlıca otomotiv endüstrisinde kullanılmakla beraber, uygulamaları ve değişiklikleri ile farklı endüstrilerde de performans standardı olmuştur.

Fosfat kaplama daldırma veya spreynin olarak uygulanabilir. Uygulama ilk geliştirildiğinde formülasyonu sadece daldırma uygulaması için uygundu. Ancak bu

durum kapasite artışı için sürecin diğer adımlarına yeterli cevap veremiyordu. Ancak 1940 'lı yıllarda solüsyonların iş parçası üzerine sprey olarak uygulanabilmesi uygun hızlandırıcılar geliştirilmesi ile mümkün oldu.

### 3.10.5. Fosfat Kaplama Çeşitleri

Bir yüzey dönüşüm kaplaması rutin olarak, otomotiv ve beyaz eşya sanayisinde korozyon koruması ve kaliteli boya görünüşünü başarmak için uygulanır. Ticari kullanımda fosfatlama süreçlerinin üç genel tipi vardır:

- Demir Fosfat kaplama
- Çinko fosfat kaplama
- Mangan fosfat kaplama

Demir fosfat kaplama, en basit fosfatlama sürecidir. Böyle kaplamalar, kristal yapısının görünüşünde biçimsiz ve yanardöner renktedir. Kaplama ağırlıkları, sprey ile uygulamada 2–4 mg/dm<sup>2</sup> olup daldırma ile uygulamada 11 mg/dm<sup>2</sup> kadar olabilir. Uygun yüzey-aktif maddeler (sümfaktan), çoğunlukla, temizleme ve fosfatlama işlemlerinin bir adımda gerçekleştirilmesi için, demir fosfatlama çözeltilerine eklenir.

Çinko fosfatkaplama çok karmaşık bir süreç olup, ayrı bir temizleme ve optimum kaplama biçimini garanti etmek için bir hazırlık adımı gerektirir. Doğada kristal olan bu kaplama, gri renkte ve genellikle yüzey alanının 11 ve 430 mg/dm<sup>2</sup> kaplama ağırlığına sahiptir. Kristal boyutu, doğada kaba ölçülerden mikro kristal ölçülere kadar değişiklik gösterir. Bu da temizleme metoduna, çinko fosfatlama çözümüünün kimyasal düzenlemesine ve işletme şartlarına bağlıdır.

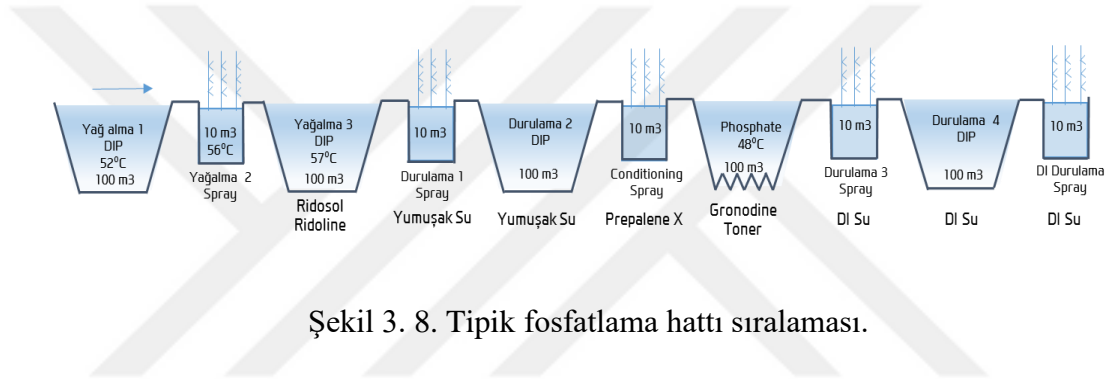
Mangan fosfat kaplama görünüşte parlak siyah olup, çok büyük kristalin sıkı bir yığınınından dayanır. Kaplama ağırlığı, yüzey alanında 108 ve 430 mg/dm<sup>2</sup> arasında değişiklik gösterir.

Demir ve çinko fosfatlama püskürtme ya da daldırma yöntemleriyle olur. Mangan fosfat kaplama ise sadece daldırma tekniği kullanılarak yapılabilir. [12].

### 3.10.6. Çinko Fosfat Kaplama Süreçleri

Konuya esas kataforez uygulamalarında çinko fosfat prosesi kullanıldığından fosfat kaplama olarak çinko fosfat prosesi incelenmiştir.

Çinko fosfatlama, özellikle kataforez boya sistemlerinin kullanımıyla, metal bitirme sanayisinde tercih edilen boya öncesi yüzey işlem oldu. Sebebi, daha talepkar şartlar altında, demir fosfatlamaya göre, daha iyi korozyon direnci ve boya yapışmayı sağladığı içindir. Aşağıdaki şema tipik bir çinko fosfatlama sürecinin sıralamasını göstermektedir, (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8. Tipik fosfatlama hattı sıralaması.

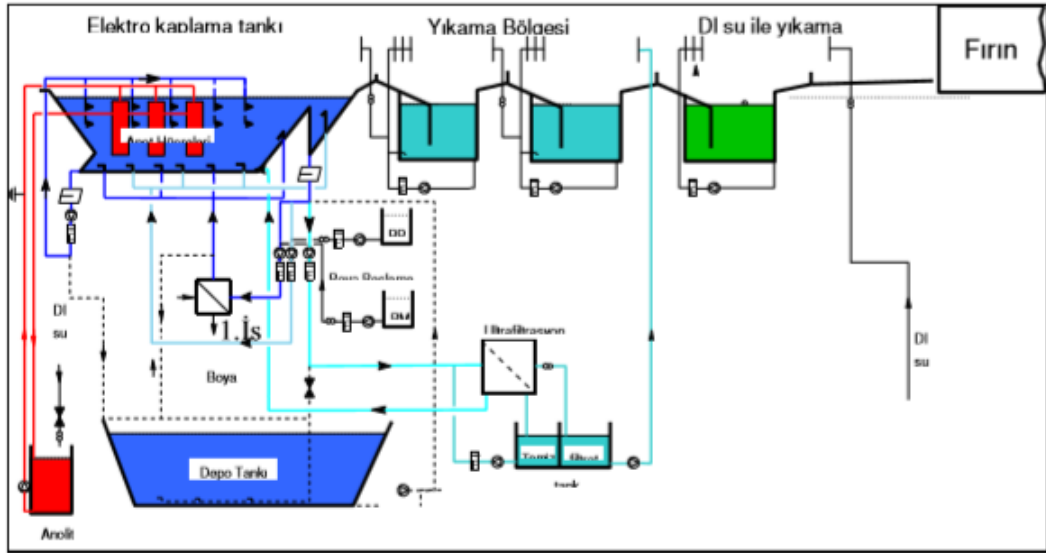
Uygulamalarda, kaliteyi artırmak ve maliyetleri azaltmak için ilave banyolar kullanılarak süreç genişletilebilir.

### 3.10.7. Saf Su (DI - Deiyonize Saf Su)

Yüzey hazırlama hatlarındaki son adım (DI) deiyonizesaf su ile durulama işlemidir. Yapılan bu prosesin amacı, gövde veya iş parçası yüzeyindeki sert / kireçli su tuzlarının yüzeyden uzaklaştırma ve boya kaplama işlemi için yüzeyi hazır hale getirmektir. Kataforez boya kaplama işleminde, boya filmi içinde ve dışında dolaşan su, tuzlarla birleşik yaparak kabarma etkisi yaratmak için saklanır ve sistemde bulunan sert su tuzlar ilerki zamanlarda korozyon oluşturabilir. Uygulama sırasında, DI saf su ile durulamada 1–10 µS/cm, öncesinde yer alan ve devri daim ile çalışan DI saf su banyosun ise 10–50 µS/cm iletkenlik olarak çalıştırılır.

### 3.11. KATAFOREZ (ELEKTRO KAPLAMA)

Elektro kaplama süreci, gövdeleri ve parçaları kaplama için hazırlıklar, önce yüzey temizliği yapılarak bir dönüşüm kaplama işlemi başlar. Ardından gövde ve iş parçaları karşı elektrot arasında doğru akımın uygulandığı bir boya tankına daldırılır. Boya, elektrik alan ile parçaya doğru çekilir ve parça üzerine kaplanır. Daha sonra boyana gövde ve parça banyodan konveyör yardımı ile alınır, üzerinde kalan kaplanmamış boyayı geri almak için durulanır ve ardından boyanın pişirilmesi için fırınlanır. Basit olarak ifade ettiğimiz bu süreci gerçekleştirmede birçok farklı ekipman gereklidir, (Şekil 3.9).



Şekil 3. 9. Kataforez kaplama süreci.

#### 3.11.1. Kataforez (Elektro Kaplama) Tankı

Kataforez boya tankı katı maddelerinin DI saf su içinde yayıldığı bir havuz görevi görür. Tankta boya elektrik yükü ile gövdeye iletilmiş olup, Gövde zıt yüklü kutba bağlanmıştır. Mıknatıslar olduğu gibi zıt yükler birbirini çeker mantığı ile, gövdeye doğru çekilen boya malzemesi bir film katmanı oluşturur. Bu durumda oluşan izolasyon katmanı ile kataforez boya kaplaması oluşur. Kaplama voltajı değiştirmek



suretiyle kaplama kalınlığı kontrol edilir. Bununla birlikte parçaları ve gövdelerin tankın içinde yer alan anot'a olan yakınlığı da kaplama süresini ve performansını etkileyen bir diğer faktördür. Kataforez banyosu genellikle maliyeti, dayanıklılığı ve uzun ömürlü olması nedeni ile siyah çelik saçdan imaltı yapılır. Ardından alektro kaplama prosesi gereği elektriksel bir uygulama olduğu için tankın içi kimyasala dayanıklı izoleli bir malzeme ile kaplanmalıdır. Bunun için genellikle cam elyaf ile takviyeli epoxy polyester kullanılmıştır. Boya PH değerleri 4,5-6 arasında oluşu için kataforez boya oldukça aşındırıcı bir üründür. Bu yüzden tüm tesisat paslanmaz ve PVC malzemelerden yapılmalıdır.

### **3.11.2. Redresörler**

Kataforez redresörü, temelde alternatif akımı doğru akıma çevirir. Alternatif akım, genliği ve yönü periyodik olarak değişen elektriksel akımdır. Doğru akımda ise elektrik yüklerinin akışı aynı yöndedir. Geleneksel olarak kullanılan kademeli veya değişken sistemlerin aksine günümüzde daha hassas ve doğru değerlerde çalışma imkânı sunan tristör kontrolü olan redresörler tercih edilmektedir. Tristörlü, kontrollü yarı iletken olan anahtarlama elemanı. Kısaca anot ve katot arasındaki iletimi, tetiklemeyi sağlayan elektronik bir devre elemanıdır.

Redresör'de genellikle iki adet ölçü aleti olur. Voltmetre, kataforez boyanın gövde ve parçaya uygulanan potansiyel voltajı göstermekte. 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. Redresörler için diğer önemli bir ayrıntıda, dalgalılık faktörü. Derrseörde dalgalılık faktörü ne kadar düşük olursa sistem o kadar iyi ve ideal bir akım olmuş olur. Dalgalılık faktörü yüksek olması halinde kaplama verimliliğini ve kalitesi düşer. Bu gerilimi azaltmak ve %3 değeri geçmemesi gerekir. Bunun için redresör imalatçıları kondansatör kullanır.

### **3.11.3. Anolit Tank ve Sistemi**

Elektrolit sıvısı, deiyonize saf su ve çözücülerden oluşmakta ve anolit tankından anot membran hücresine bir pompa ile basılır. Kataforez boya formülünde, boya katı maddeleri ile suyun karışımı için çözücü maddeler kullanılır. Kaplama sürecinde bu çözücüler boyadan ayrılır ve kaplamanın bir parçası olmaz. Fazla miktarda çözücünün banyoda birikmesi karşı bir reaksiyon oluşturmaya çalışır. Yani kaplama sürecinde iken fazla miktarda çözücü boyayı iş parçası üzerinden mekanik olarak sökmeye çalışabilir. Bunu önlemek için, fazla miktarda çözücü banyodaki boya ve çözücü miktarının dengede kalmasını sağlayacak şekilde anolit sistemi tarafından banyodan uzaklaştırılır. Anolit hücredeki iyon seçici membran çözücünün banyodan anolit sıvısına geçmesine izin verir. Anolit sıvısı, anolit hücrelerden dolaşır, anolit tankına geri döner.

Anolit membranlar içerisinde minimum 3 mm et kalınlığında AISI316L kalite paslanmaz boru malzemedan anot hücre metalleri yer alır. Üretim kapasitelerine bağlı olarak bu metallerin kalınlığı azalır, yüzeyinde korozyon ve çözünme meydana geldiğinde derhal yenilenir. Anolit tankı ve sistemi;

- Kataforez banyosundan asit anyonlarının uzaklaştırılmasını düzenler.
- Banyoda karşı elektrot görevi vardır.
- Elektrot yıkanma ve soğutma görevi yapar.

#### **3.11.4. Kataforez Boya Tankı ve Sirkülasyonu**

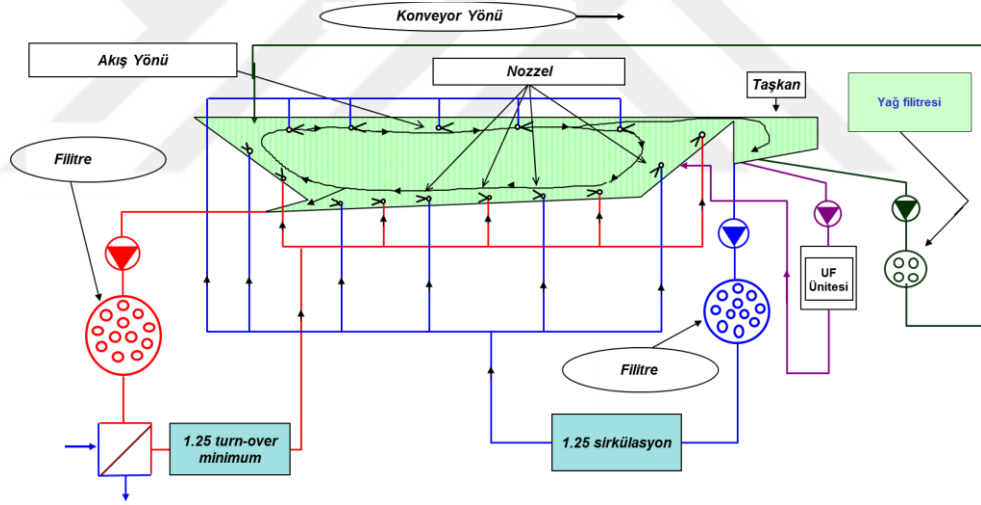
Kataforez banyosunda bulunan boya sürekli olarak devirdaim ettirilir. Burdaki ana amacı;

- Boyanın katı maddesinin tankta asılı olarak kalmasını sağlamaktır,
- Tankın sürekli filtre edilmesinide sağlayarak, yabancı kirlere arındırmak,
- Pompa ve kataforez kaplama prosesinde oluşan ısının homojen olmasını sağlar.

Boya tankında en uygun karıştırma şeklinin, yuvarlanma şeklinde gerçekleştiği prensibinden hareketle, akış, banyo üst yüzeyinde malzeme hareket yönü ile aynı, banyonun alt yüzeyinde ise tersi şekilde gerçekleştirilir. Bu hareket tank yüzeyine ve

zeminine yerleştirilen boya sirkülasyon tesisatı üzerindeki püskürtme memeleri ile sağlanır. Yüzeydeki akış hızının malzeme hareket hızından yüksek olması ise tank yüzeyinde köpüksüzlüğün sağlanması için önemlidir. Aksi takdirde banyo yüzeyinde bulunan köpük boyunca tanka giren parçalar fırınlandığında köpük içinde hapsolan hava kabarcıkları yüzeyde kusur yaratır. Köpük kontrolü, pompa emişinde hava girişinin önlenmesi ve yüzeyde tank girişinden itibaren yüzey hareketi ile sağlanır.

Aşağıda gösterildiği üzere, boya katı maddelerinin banyoda asılı kalması tanktaki boyanın saatte bir kere devir etmesi ile sağlanabilmesine rağmen, tank devridaim oranının saatte en az 1,25 kere olması sağlanmalıdır. Bu devir, yüklü boya zerreciklerinin iş parçası ile temasında çok iyi bir nüfuz etme gücü ile düzenli bir boya filmi sağlanmasındaki çekme kuvvetini ve kaplama esnasında ısınan iş parçasının soğumasını sağlar, (Şekil 3.10).



Şekil 3. 10. Kataforez tankında boyanın hareketi.

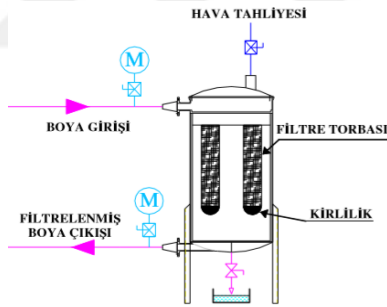
Bu amaçla, tank içinde kullanılmak üzere tasarlanan nozul, sıvı içerisindeki partiküllerin zamanla dibe çökmesini önleyecek şekilde sirkülasyon sağlamaktadır. Bu, filtre sisteminin performansının artmasına ve yüksek miktarlardaki akışkanların sirkülasyonu için daha küçük pompa kullanılmasına imkân vermektedir. Sabit tank karıştırıcı nozullar kaplama yanında benzer diğer uygulamalar için de (anotlama, karıştırma, fosfatlama ve çalkalama) için idealdir. Yüksek verimli Püskürtme memesi (Eductor) aşağıda gösterilmiştir, (Şekil 3.11).



Şekil 3. 11. Yüksek verimli püskürtme memesi (educto nozzel).

Ayrıca devridaim sistemi üzerinde bir filtreleme de bulunmaktadır. Banyo içerisinde bulunabilecek (yüzey işlem bölümünden taşınabilecek maddeler, eldiven, kâğıt, vb.) yabancı maddelerin tutulmasını sağlar.

Filtreler UF modüllerini de korumak için modül öncesi aynı tip filtreler kullanılır. Bunun için gözenek çapı 25–50 mikron arasındaki, polipropilen yapıdaki torba filtreler kullanılır. Bu filtreler sıklıkla değiştirilmelidir, aksi takdirde 0,35 bar ve üzerindeki basınç kayıpları banyo devridaimini olumsuz şekilde etkiler, (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12. Boya filtrasyonu orensip resmi.

### 3.11.5. Ultra Filtrasyon Sistemi (UF)

Ultra filtre elektro kaplama prosesinin mecburi ve tamamlayıcı bir parçası UF'dir, genel olarak görünümü aşağıdaki gibidir, (Şekil 3.13).

- Boya banyosunda, yüzey işlemden taşınan çözülebilir kirleticilerin kontrolü,
- Boya tankından taşınan boynın geri kazanılması, gövde ve iş parçası üzerinde kaplanan boya harici.



Şekil 3. 13. Elektro kaplama uygulamasında ultrafiltrasyon sistemi.

### UF (Ultra Filtrasyon) Prensipli

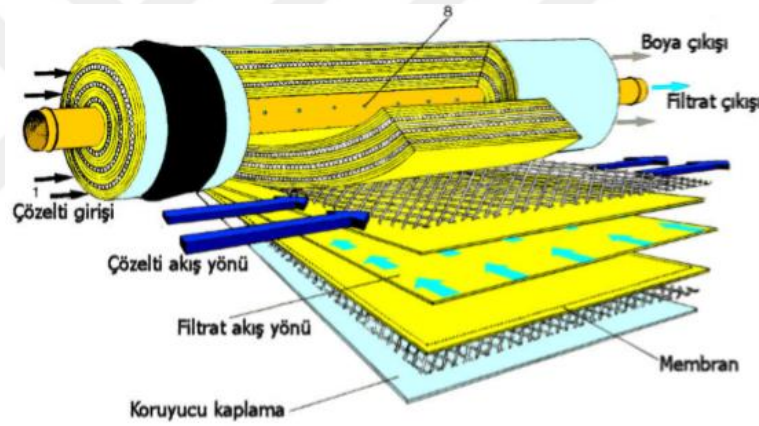
Ultra filtrasyon belirli bir büyüklüğü geçirmeyen, basınç ile yürüyen çok ufak gözeneklerle, yarı geçirgen membranlar ile uygulanan bir ayırıştırma işlemidir. Bu işlem endüstride pompalama basıncı düşük (3,5-6 bar) sıvıda su ve çözünmemiş tuzları ayırmakta kullanılır. Çözünmemiş büyük moleküller ve partikülleri tutar, sular, tuz, çözücüler ve diğer ufak moleküllerinde geçmesine izin verebilen, ince, yarı geçirgen malzemeler, membran sürecin oluşumunu sağlar. Çözeltiyi (permeate), konsantre (concentrate) olarak ayıran bir prosestir, (Çizelge 3.1).

Çizelge 3. 1. Ultra filtrasyonun diğer filtrasyon sistemleri ile mukayese tablosu.

FP	Filtrasyon	1 – 1000 µm arası	
MF	Mikrofiltrasyon	0,1 – 1 µm arası	
UF	Ultrafiltrasyon	0,01 – 0,1 µm arası	Büyük moleküler
NF	Nanofiltrasyon	0,001 – 0,01 µm arası	Moleküler
RO	Ters geçişim(osmoz)	< 0,001µm	İyonik

Elektro kaplama boya sistemlerinde, ultrafiltrasyonla gerçekleştirilen süzüntü, su, boya çözücüleri içerir. Bu boya hattı üzerinde yer alan kaplama sonrası durulama bölümünde kullanılır. Bu geri çevirim yöntemi kapalı devre durulama sistemi oluşturarak banyodan ayrılan boyanın geri kazanımını sağlar. Boya konsantresi ise boya tankına geri gönderilir [16].

Sarmal (spiral) membranlardan önce konvansiyonel filtrasyon uygulamalarında akış filtre ortamına dik gerçekleşiyordu. Eğer boyayı bu şekilde ultrafiltre edersek, konsantre boya süratle membran yüzeyinde birikerek süzüntü miktarını süratle düşürecektir. Bunun yerine ultrafiltrasyon, çapraz akış prensibinden yararlanarak, süzüntü debisinin dengeli bir şekilde eldesini sağlar. Bu durumda boya akışı membran yüzeyine paralel olup, güçlü bir süpürme etkisi de yaratır, (Şekil 3.14).



Şekil 3. 14. Spiral tip membran görünüşü.

**Ultra Filtre Temizleme;** Ultra filtre sisteminde membranlar, membranlar temiz halinde iken alınan debinin %70'ine kadar düştüğünde kimyasal olarak sistemin temizlenmesi gerekir. Kirlilik bu oranlara geldiğinde temizleme işlemleri yapılmazsa, yani %70'in dahada altına inerse daha sonrasında yapılacak temizliklerin, membranın temiz olduğu hale eski değerine gelmeyecektir. Katodik boya kaplamalarda temizleyiciler asidik, anodik boya kaplamalarda temizleyici bazik esastır. Temizleme işlemi aşağıdaki gibidir.

- Ultra filtre sistemine yapılan boya beslemesi kesilir.

- Ultra filtre sisteminden boya ana boya banyosuna aktarılır.
- Ultra filtre sistemindeki DI deiyonize saf su ile durulanır.
- Temizleme çözeltisi hazırlandıktan sonra, (gerekli olduğunda) ısıtılır.

### **3.11.6. Kataforez Banyo Sıcaklığı**

Elektro kaplama banyosunda iki adet ısı kaynağı vardır. Biri sirkülasyondaki pompalar, bir diğeri de elektro kaplama prosesinin kendisidir. Banyo sıcaklığında olusan sapmalarda film kalınlığını ve yüzey kalite ve görüntüsünü etkiler. Bilhasa banyo sıcaklığı yükseldiği zaman film kalınlığını birde boya tüketimi artar. Düşük sıcaklıklarda ise kaplanan boya filminin oluşumu zayıf olur. Elektro kaplama prosesi zamanında tank sıcaklığı 28-34 °C arasında olması sağlanmalıdır. Bunun için soğutma sistemi, grubu veya soğutma kulesi kullanılarak soğuk su elde edilir ve boyayı soğutmak için kullanılır. Yapılan soğutma için Isı transferini, plakalı tip ısı değiştiriciler kullanılarak sağlanır. Değişmeyen banyo ve sıcaklığının sağlanması, boya filmi oluşumu, banyo kararlılığı ve ultra filtre performansı kontrolü açısından hassas önemdedir. 1 °C sıcaklık artışı yaklaşık boya kalınlığını 1 mikron değiştirir.

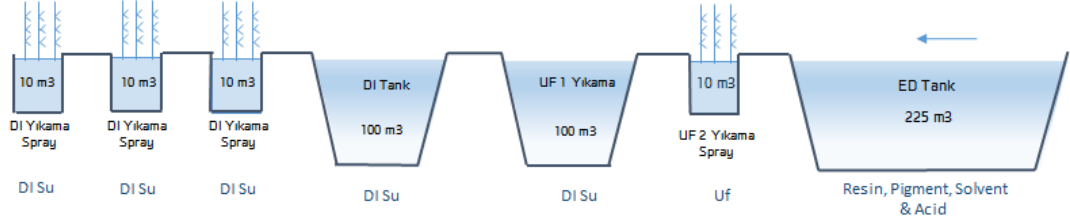
### **3.12. KATAFOREZ KAPLAMA SONRASI DURLAMA**

Kataforez kaplama sonrası gövde ve iş parçası üzerinde voltaj uygulaması sonrasında tutunmayan boyaların uzaklaştırılması bu proste sağlanır. Sürüklenen bu boya, banyoya oranla daha yoğun bir kıvamda olur. Kapalı devre olan durulama sistemi boya katı maddesini gövde ve iş parçası üzerinden uzaklaştırır ve sonrasında boya banyoya geri gönder. Uygulama ile birlikte kataforez kaplamada boya kullanımı son derece verimli olur, tipik olarak %99'lara varan boya transfer verimliliği sistem çalışır. Kaplama sonrasındaki durulama bölümü bir kaç safhada olabilir.

#### **3.12.1. Kataforez Tank Çıkışı Durulama**

İş parçası (askı grubu) kaplama tankından ilk çıktığında, tankın üzerinde yer alan tekli bir püskürtücü meme (nozül) grubu ile yıkanır. Devridaimi yıkamanın yükünü azaltmak için hemen taşkanın üzerinde uygulanır. Bu nozul grubu, yıkama

bölgesindeki birinci yıkama tankı pompasından alınan üzerinde bir akış metre ve vana bir kol ile beslenir. Akış metrede ayarlanması gereken debi, ultra filtrede üretilen süzüntü debisinin %80 gibi ayarlanmalıdır, (Şekil 3.15).



Şekil 3. 15. Otomotivde kaplama sonrası yıkama hattı.

### 3.12.2. UF (Ultra Filtre) Yıkama

Ultrafiltrede üretilen süzüntü (filtrat) ile doldurulan tanktan bir pompa yardımıyla alınan su parça yapısına uygun dizilmiş bir nozullar demetine basılarak, iş parçası üzerinde kalan fazla boya yıkanır ve yeniden kullanım için kataforez boya tankına geri kazandırılır. Bu işlem yaklaşık 30–45 sn. gerçekleştirilir. Parçasının kaplama sonrası estetik görünümünün sağlanması için de iş parçası fırına gönderilmeden önce yıkanmak zorundadır. Uf yıkama tankına dökülerek fazlası taşkandan kataforez tankına geri döner. Bu sistem de uf yıkama tankı kademelendirilerek daha temiz bir yıkama sağlanabilir. Bu uygulama kapalı devre durulama sistemlerdir [17].

### 3.12.3. Saf Su (DI) Durulama

Uygulama sonrası görünümün kritik önemde olduğu iş parçalarında, nihai olarak deiyonize su ile durulama gerçekleştirilir. Deiyonize su ile dolu tanktan bir pompa yardımı ile alınan su parça üzerine püskürtülür. Bu durulama, iş parçası üzerinde kalarak fırınlama sonrası yüzeyde kusur oluşturabilecek filtrat birikintilerini seyrelterek uzaklaşmasını sağlar. Bölüm çıkışında taze deiyonize su ile beslenen bir nozul demeti de tavsiye edilir. Beslenen su öncelikle deiyonize tankına döner ve tankı taşırarak drenaja verilir.

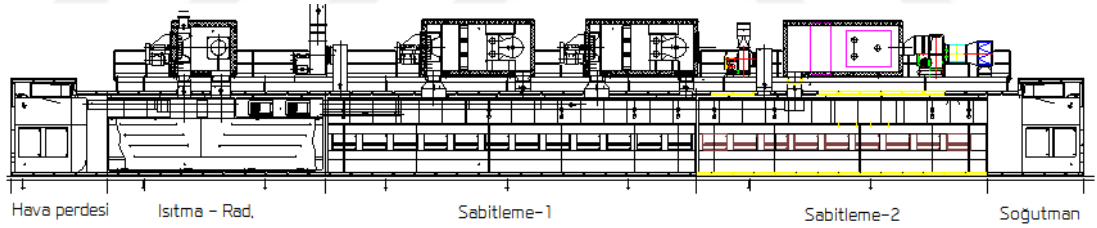


Köpük kontrolü; Tüm durulama adımlarında köpük oluşumu beklenir. Ancak en az seviyede tutabilmek için, püskürtme basıncı ve atomizasyonu düşürülür, köpüğü hapsedici mekanik tedbirler alınır. Nihai durulama sonrası damlamaları azaltmak için hava kullanılır.

### 3.13. KATAFOREZ BOYA FIRINLAMA

#### 3.13.1. Fırınlama Giriş

Boyama sürecinin son adımı kaplamanın pişirilmesidir. Pişirme fırını, iş parçasının kütlesini ve kaplanmış iş parçasını belirlenmiş bir sıcaklığa çıkarmak ve öngörülen bir süre boyunca bu sıcaklıkta tutma görevi görür. Buradaki sıcaklık ve zaman birleşimi kaplanmış iş parçasının pişirilmesini sağlar. Pişirme fırını, iş parçasına ve sürece azami enerji verimliliği ile ısı transferini sağlayacak şekilde projelendirilmelidir. Fırın ısıtma seçenekleri, yüksek hızlı konveksiyon veya kızılötesi ısıtma şeklinde olabilir, (Şekil 3.16).



Şekil 3. 16. Tünel tipi otomotivde kurutma fırını.

#### 3.13.2. ED Boya Kurutma Prosesi

Otomotivde çok farklı boyalar kullanılmaktadır ve boya uygulaması sonrası tüm uygulamalar kurutmalıdır. Boya kurutma işlemi amacı, filmin dayanıklı ve koruyucu bir film halini almasını sağlamak, aynı zamanda sonraki proseslere daha hızlı geçişi yapmak ve uçucu çözücü filmde çıkışını kontrol altında tutmak için uygulanır.

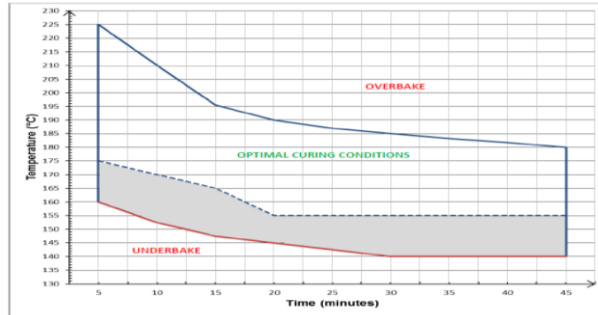
Modern otomotiv kaplamaları elektro kaplama astar, baz kat ve son kat boya içermektedir. Özellikle baz kat kaplamanın mekanik ve optik özellikleri üzerinde kuvvetli bir etkiye sahip olması ve kuruma esnasında oluşan farklı etkilerden

sorumludur. Boya filminin kuruması boya içeriğindeki bağlayıcının yapısı nedeniyle farklı mekanizmalar ile olur. Kuruma olayı, boya tabakasından çözücünün buharlaşmasını ve kurutulan tabakadan çözücü buharının ayrılmasını içerir.

### 3.13.3. Fırınlama Zamanı

Gerçek pişme süresi ve sıcaklığı kullanılan kaplamaya bağlı olarak değişiklik gösterse de tipik olarak, 25–35 dakika arası bir fırınlama zamanı, istenen sıcaklıkta en az 20 dakika pişme sıcaklığını sağlamak için gereklidir. Fırından egzoz edilen hava, pişme esnasında salınan uçucu maddeleri ortamdan uzaklaştırabilecek kapasitede olmalıdır, aksi takdirde pişmesinde ve nihai görüntüsünde olumsuzluklar yaratabilir. Egzoz edilecek uçucu miktarı kullanılan kaplama ürününe bağlı değişir.

Pişme süresi, boya tedarikçisi tarafından, belirlene uygun sıcaklık ve bu sıcaklıkta kalma süresi olarak belirtilir ve buna göre takip edilir, (Şekil.3.17).

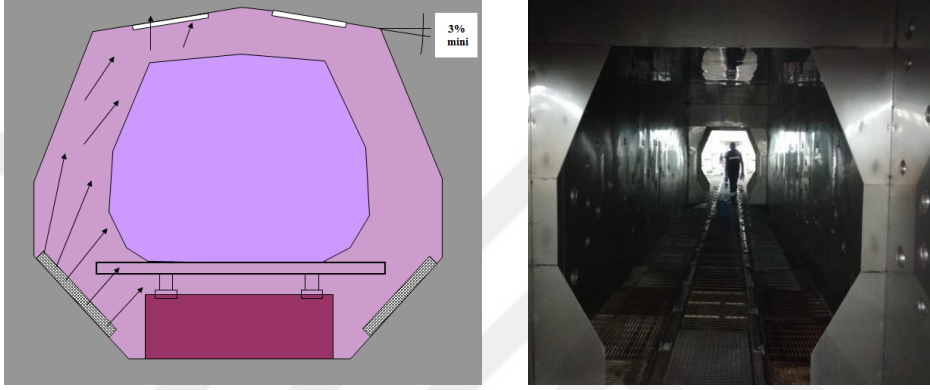


Şekil 3. 17. Fırında pişirme penceresi.

### 3.13.4. Kurutma Fırın Unsurları

Konveksiyonlu tip fırınlar, konveksiyon ile ısı transferi kullanmakla birlikte, enerji kaynağı genel olarak; gaz, elektrik ya da buhar kullanımını olabilir. Termal enerjinin endirekt transfer şekli olup, ısıtılan hava taşıyıcısının (taşıyıcı genellikle hava olur) sirkülasyonu yardımı ile yapılır. Konveksiyon sistemi ile pişirme fırınları en yaygın olan kullanılan tip olup, genelde uygulama yapılan tesislerde kullanılmaktadır. Hava hızları ve fırın içi türbülans ne kadar çoksa, yapılan ısı transferileride o kadar yüksektir. Fırınlarda ısıtılan hava sıcaklığı, boya firmalarınca belirtilen gövde ve iş

parçası pişme sıcaklığına göre biraz daha yüksektir. Fırın duvarları pişirme sürecinin gerçekleştiği ortamı sağlamakta olup, taşıyıcı karkas, izolasyon panelleri ve iş parçası giriş-çıkış açıklıkları / hava perdesinden oluşur. Taşıyıcı karkas hem fırın gövdesini hem de iş parçası taşıyıcı sistemini taşıyabilecek şekilde tasarlanmış olmalı, ısıl genleşmelerinde boya fırının çalışabilmesine olanak sağlamak için bağlantıların üzerinde yarıklı delikler olmalıdır. Şekil 3. 1’de boya pişirme fırını içeriden görünüşü verilmiştir.



Şekil 3. 18. Pişirme fırını içeriden görünüşü.

Isıyı muhafaza etmek için, uygun izolasyon malzemesi ile oluşturulmuş paneller kullanılarak sistem çevrelenmelidir. Hava perdelerinde bağımsız fan grubu kullanılabilir gibi, fırın sirkülasyon havasından da istifade edilerek, fırın açıklıklarına basılmalıdır. Ayrıca sı kaybını minimize etmek için fırın havasından egzoz edilen hava ile fırın ortamı negatif basınçlı hale getirilmelidir.

Isıtıcı ünite olarak, direk veya endirekt ısıtım sistemleri kullanılabilir. Kullanılan boya ve kaplama malzemesi özelliğine bağlı olarak tercih edilirler. Direk ısıtım daha verimli olsa da yanmış gazlar iş parçası ile temas eder. Bunun istenmediği durumlarda, endirekt ısıtıcılar kullanılır. Isıtıcı fırını ısıtmak ve ısıtılmış havayı dağıtmak için gerekli enerjiyi sağlar.

Fırın havasının egzoz edilmesi öncelikle güvenli bir ortam yaratmak içindir. Fırınlarda çalışma esnasında daimi bir miktar hava egzoz edilmelidir. Bunun sebebi hem hava perdelerinin sağlıklı çalışabilmesi için negatif basınçlı bir ortam yaratmak, hem de pişme ile açığa çıkan uçucu organik bileşikler ve diğer ürünlerin fırından

uzaklaştırmaktır. Bu uygulama sadece kataforez kaplamada değil, yaş ve toz boyalarda da aynı şekilde geçerlidir.



## BÖLÜM 4

### KATAFOREZ KAPLAMA YERİNE KULLANILABİLEN PROSESLER

#### 4.1. YAŞ BOYA UYGULAMALARI

Ürünlerin korunması ve dekorasyonu (görünümü) için yapılan püskürtme uygulamalı kaplama, 19. yüzyıl sonlarına doğru kullanılmaya başlanmış ve başlangıcından itibaren günümüze kadar hatırı sayılır derecede değişikliğe uğramıştır. Sıvı boyalar düz ve elektrostatik olarak püskürtülebilir. Püskürtme uygulamalarında 4 ana süreç mevcuttur.

- Havalı boya uygulam sistemi (Air atomization)
- Havasız boya uygulama sistemleri (Airless)
- Hava Ceketli Boya Uygulama Sistemleri (Air-coat)
- Elektrostatik Boya Uygulama Sistemleri

##### 4.1.1. Havalı Boya Uygulama Sistemi

Bu sistem en eski yöntem olup, 1920'lerde otomobil ve mobilya endüstrisinin büyümesiyle önem kazanmıştır. Endüstride bugün en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Konvansiyonel sistem, iki temel avantajıyla diğer sistemlerin üzerinde talep görmektedir. Avantajları kontrol ve çok yönlülüktür.

**Kontrol;** Bu sistem, mevcut sistemler içinde en kontrol edilebilir süreçtir. Uygun bir biçimde yetiştirilmiş operatör; püskürtmeyi, küçük bir noktadan, geniş yüzeylerin boyanmasına kolayca kontrol edebilir. Dolayısıyla küçük ve büyük alanların boyanmasında, tabanca veya nozul değiştirmeye gerek duyulmaz. Ayrıca atomizasyon işleminin her derecesi kontrol edilebilir. Bu sistem, manüel

uygulamalarda en iyi atomizasyon derecesini sağlar. Yüksek kalitede bir bitirme sağlanır.

**Çok yönlülük;** Operatöre geniş bir aralıkta malzeme kaplama püskürtmesi yapma olanağı sağlar. Aynı zamanda işletmesi ve bakımı en kolay sistemdir. Diğer bir avantajı ise, bu kadar uzun zamandır kullanılan bir sistemin ihtiyacı ve sonucu olarak, geliştirilmiş donanım ve buna ek olarak, göz önünde olan bir uygulama tekniği olarak güçlü bir bilgi birikimi oluşmuş olmasıdır.

**Dezavantajları;** Diğer yandan, konvansiyonel hava sistemleri düşük seviyede transfer verimine sahiptir. Sık olarak, parçada, gerçekte ortaya konan miktarın üzerinde malzeme kaybı oluşur. Bu durum genellikle aşırı basınç ve operatör hatalarından kaynaklanır. Ayrıca bu sistem, yüksek miktarlarda basınçlı hava tüketir. (12–60 m<sup>3</sup>/h, 7 bar basınçta). Yine bu sistemlerde, çok miktarda boya kaybı olmakta, boyahane çok sis içinde kaldığından pis ve sağlığa uygun olmayan çalışma ortamları oluşabilmekte, havadaki nem oranına bağlı olarak yüzeyde bozukluklar oluşmaktadır.

**Sistemin Çalışması;** Püskürtülecek boya, tabancaya monte edilmiş bir boya kabıyla veya basınç tankı ya da pompayla sağlanır. Tabanca tetiklendiğinde, malzeme tabancanın nozuluna doğru, sıvı akış formunda gönderilir. Tabanca çıkışı üzerinde; genellikle yüksek basınç altında, bu akış hemen basınçlı hava ile çevrilir ve hava nozulun merkezinden gönderilir. Havanın bu hareketiyle, sıvı akışı küçük damlacıklara dönüşür ve ileriye doğru hız kazanır.

Tabancadaki, hava püskürtme kuvvetlerinin kontrol edilebilme yeteneğinin artması, mükemmel püskürtme uygulaması sağlanması ve mükemmel yüzey eldesi ile doğru orantılıdır.

#### **4.1.2. Havasız Boya Uygulama Sistemleri**

1960'lı yıllarda ilgi atomizasyonun farklı bir süreci olan havasız sistemlere döndü. Havasız püskürtme, boyanın püskürtülmesinde basınçlı havayı direkt olarak kullanmayan bir püskürtme sistemidir. Boyayı püskürtme işlemi için sıvı, hidrolik

basınç kullanılarak, havasız boya tabancasının ucundaki nozula yerleştirilmiş, küçük orifis içinden bu yüksek basınçta sıvı, damlacıklara ayrılır ve iyi bir atomizasyon sağlanmış olur. Akışkan, tabancadan o kadar yüksek bir hızla gönderilir ki, tabancadan uzaklaşmasından sonra, parçacıkların yüzeye taşınmasına yetecek moment, hız kalır. Bu ihtiyaçlarımız için pratik bir çözümdür.

**Avantajları;** Havasız sistemlerin temel avantajı uygulama hızıdır. Ayrıca boya havasız püskürtüldüğünden ortamda sis oluşmamaktadır. Havalı sistemlere nazaran daha kalın kaplamalar yapılabilmekte, düşük tiner içeren, hızlı kuruma sağlanabilen bir kaplama gerçekleştirilebilmektedir. Havasız sistemler, geniş yüzeylerin kalın kaplamasında ve uzun çalışma sürelerinde avantajlıdır. Bu sistem genellikle inşaat, ahşap, mobilya, çelik yapı, pik döküm yüzeyler, yol ve havaalanı çizimleri, gemi tank vs. gibi ağır makine boyama işlemlerinde kullanılır. Manüel ya da otomatik olarak uygulanabilir. Sıcak püskürtme için son derece uygundur. Bu yöntem yüksek kapasiteli çalışmalar için uygundur, yüksek viskozitelerde iyi bir atomizasyon sağlanır. Kaplama kalitesi yüksek olup, basit havalandırma yeterlidir.

**Dezavantajları;** Havasız sistemlerde uygulama esnasında çeşitli sınırlamalar ortaya çıkar. Bunlardan bir tanesi kaba atomizasyondur, burada atomizasyon istenen değerlere ulaşamaz. Bazı kullanıcılar için, mesela, bakım-onarım boyacıları, gemi inşaatçıları, yol-havaalanı çizgi boyama işlemleri için havasız atomizasyon uygun bulunmaktadır. Ama bu diğer sektörler için geçerli değildir. Örneğin, otomotiv endüstrisi havasız sistemleri tercih etmemektedir. Diğer sınırlamaların başında da püskürtmenin kontrol edilebilirliğinin havalı sistemlere göre düşük olmasıdır. Ayrıca tabanca hareketinin bir anlık gecikmesiyle, yüzeyde taşmalar oluşmakta, dolayısıyla akmalara sebep olmaktadır. Ayrıca boya temin ettiğimiz kaptan ya da tankta yabancı bir madde bulunursa ve bu da orifis çapından büyükse sistemin tıkanması ve kilitlenmesi söz konusu olur. Pompalarda bakım çok önemlidir. Yüksek basınçlarda çalışıldığından donanım ve bakım masrafları yüksektir. Nozul uçları zamanla aşınır, yıpranır. Bunların değiştirilmesi de pahalıya mal olmaktadır. Bir de yüksek hızdaki sıvı akışı ve püskürtme bulutunun şekli, tabancadan çıktığı anda potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Operatörün veya ortamda buluna diğer kişilerin vücutları büyük ölçüde yüksek basınca maruz kaldığından ciddi yaralanmalar meydana gelebilir.

### 4.1.3. Hava Ceketli Boya Uygulama Sistemleri

1970'li yıllarda çeşitli birleşimlerde püskürtme sistemleri ortaya çıktı. Hava ceketli sistemler artan malzeme maliyetleri ve yeni çıkarılan çevre koruma yönetmeliğinden dolayı oluşan ihtiyacı gidermek için geliştirildi. Hava ceketli sistemlerde, hava; ilk olarak havasız sistemlere benzer olarak, özel nozul yardımıyla kısmen tozlaştırılır. Daha sonra atomizasyon, düşük miktarda basınçlı havanın nozul hava başlıklarından verilmesiyle tamamlanır. Sonuç olarak, havalı sistemlerde oluşan atomizasyona yakın bir atomizasyon elde edilir. Bu sistemlerde tabancanın ucundan yalnız boya çıkmaktadır ve çıkarken boyanın dış kısmından hava sarması olmaktadır. Saran bu hava ve tabancadan çıkan boya miktarları istenilen şekilde ayarlanabilir. Böylece hem boyanın kuvvetlice sıkışması hem de dıştan hava sarması ile yüzeyde istenilen kalite elde edilebilmektedir.

**Avantajları;** Hava ceketli sistemlerin başlıca avantajı, sert olmayan, hafif püskürtme atomizasyonudur. Atomizasyon hava basıncı genellikle düşük olduğundan bu sistemin pek çok kaplamada sağladığı bitirme havalı sistemlerdeki sonuca yakındır. Transfer veriminde de havalı sistemlere nazaran yaklaşık %30 daha verimlidir. Ayrıca bu sistem, iç kısımları, köşe ve dipleri boyarken akış hızını arttırmamıza izin vermektedir. Bunu yaparken de çok miktarda boya geri kaçmamaktadır. Bu da az kabin bakımı ve temizlik masrafı demektir. Basınçlı hava sağlama donanımları, havalı sistemlerdeki gibi olmadığından, buradan da bir azaltma bekleyebiliriz. Akışkan basıncı da genellikle (14–55 bar) aralığında olduğundan pompa ve nozul aşınması azalır ve daha düşük bir maliyet ortaya çıkar. Sis oluşumu çok aza indirildiğinden, temiz ve sağlıklı çalışma ortamı oluşmaktadır. İstenilen yüzey kalitesi çok çeşitli memeler ve cihaz üzerinden hava ve boya değerleriyle ayarlanabilmektedir. İstenilen, gerekli olan kaplama kalınlığı, atılan boya miktarının geniş bir aralıkta kontrol edilebilmesiyle büyük oranda sağlanır ve tek kaplamayla elde edilebilir.

**Dezavantajları;** Uç takma, hava ceketli sistemler için, problem teşkil edebilmektedir. Operatörler ise, hava ceketli sistemlerin, havasız sistemlere nazaran çok yavaş kaldığını, bitirme kalitesinin de havalı sistemler kadar yüksek olmadığını belirtirler.



Operatörlerin büyük bir kısmı, bu süreçte haddinden fazla boya ve hava basınçları kullanmaya eğilimlidirler. Bu sistemde, doğru kullanım için, öğrenilmesi gereken kontrol miktarı da fazladır.

**Sistemin çalışma prensibi;** Hava ceketli sistemlerde, püskürtülen malzeme, tabancaya, yaklaşık olarak 50–250 bar arası bir basınçta çalışan havalı pompa ile beslenir. Boya tabancası tetiklendiğinde boya vanası açılır, nozulun dar kesitinden geçmeye zorlanır ve bu esnada son derece küçük zerreciklere dağılır. Aynı anda, püskürtme hava vanası açılır ve nozulun etrafında halka biçiminde özel tasarlanmış yarık, delik tarafından bir hava ceketini oluşturulur. Bu hava ceketini, malzeme memesinin etrafını sarar ve memenin ağzının tamamen tozlaştırılmasını sağlamaya yardımcı eder.

Bu sistem, düşük kinetik enerji ve hava ceketini ile etrafı sarılmış bir şekilde; iş parçasına, iyi derecede tozlaştırılmış boyayı yönlendirmeyi sağlar. İkinci olarak aşırı dağılmayı önler ve zerreciklerin geri sıçramasını engeller. Aksi takdirde, zerrecikler, iş parçasının yüzeyinden kaçarlar. Nozul boyutları çok küçük olduğundan, tıkanmayı önlemek için, yüksek basınç filtrelerinin kullanılması şarttır.

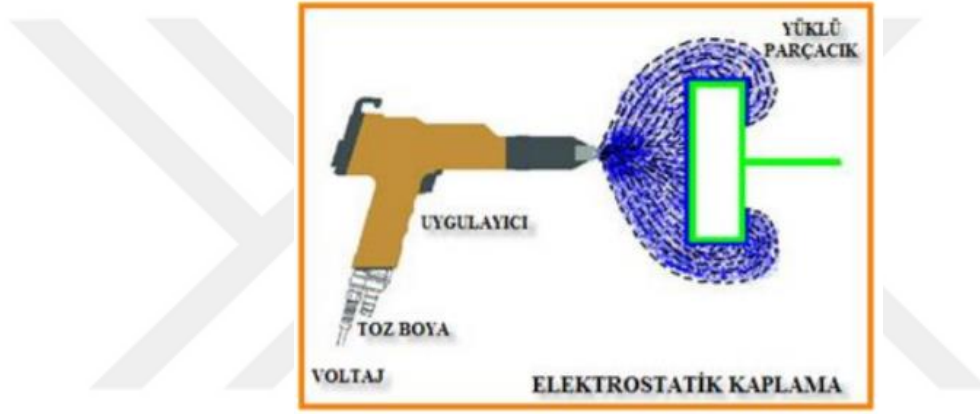
**Kullanım alanları;** Düşükten yüksek viskoziteye kadar boyama yapmaya uygun sistemlerdir. Bu sistemler genellikle, parlak, düzgün ve akma görülmesi ihtimali fazla olan yüzeylerin boyanmasında kullanılır. Örneğin büro mobilyaları, buzdolabı, çamaşır makinesi, mutfak eşyaları, oto ve yan sanayileri, ziraat aletleri, aydınlatma armatürlerinin imalatında kullanılabilir. Havasız atomizasyon püskürtme yöntemleri aşağıdaki şekillerde uygulanmaktadır.

- Havasız hidrolik atomizasyon
- Isıtılmış havasız atomizasyon
- Hava sarmalı atomizasyon
- Isıtılmış hava sarmalı atomizasyon

#### **4.1.4 Elektrostatik Boya Uygulama Sistemleri**

2.Dünya savaşı sırasında, boyalar ve solventlerin, stokları az bulunduğu için çok pahalı idi. Bu yüzden, mevcut ihtiyacı gidermek ve bu malzemelerin kullanımını en

yüksek dereceye çıkarmak amacıyla elektrostatik atomizasyon geliştirildi. Günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama ilk olarak, havalı, havasız veya hava ceketli sistemler kullanılarak tozlaştırılır. Bu sistemler, elektrostatik kullanım için tasarlanmış donanımlara ihtiyaç duymakla birlikte, atomizasyon yöntemi elektrostatik olmayan uygulamalarla aynıdır. Zerrecikler, bağımsız, yüzen elektron bulutundan geçirilir. Bu da bir yüksek voltaj kaynağıyla bağımsız güç kutusu, kablo ve tabancada bir elektrot vasıtasıyla ya da tabanca içine yerleştirilmiş türbinle çalışan jeneratör yardımıyla sağlanır. Elektrostatikğin temel prensibi, aynı yüklerin birbirini itmesi, farklı yüklerin birbirini çekmesine dayanır, (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1. Elektrostatik püskürtmenin etkisi.

**Avantajları;** Elektrostatik püskürtmenin temel avantajı malzeme kaybının az olmasıdır. Gerekli koşullar sağlandığı ve uygun olduğu takdirde %65'ten %95'e kadar transfer verimi sağlanır. Ayrıca elektrostatik püskürtme yapılan boya kabini hava hızı 1,5m/s den, 0,3m/s'ye kadar azaltılabilir. Bu da hava hazırlama maliyetlerinde, dolayısıyla emisyon miktarında %40 azalma demektir.

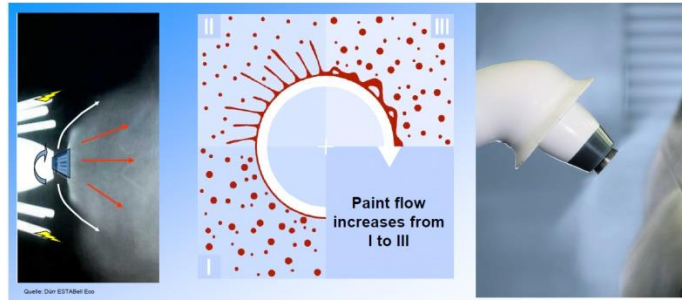
#### 4.1.5 Kullanılan Boya Uygulama Sistemleri

**Elektrostatik Tabancalar;** Elektrostatik boya tabancaları, elektrostatik boyamanın avantajlarıyla hava/yüksek basınç atomizasyonunun avantajlarını birleştirir. Elektrostatik püskürtme uygulamalarında, boyanın püskürtüldüğü noktanın

civarındaki hava 50–125 kV elektrik gerilimi uygulanarak iyonlaştırılır. Havanın iyonlaşması sonucunda serbest kalan elektronlar, bu bölgeden geçen boya zerreciklerinin yüzeylerine tutunarak onları eksi (-) yükle yüklerler. Öte yandan, boyanacak nesne topraklanarak artı (+) uç konumuna getirilir. Yüzeyin boya zerreciklerine uyguladığı elektriksel çekim hem serpintiye bağlı hem de geri sıçrama etkisine bağlı püskürtme kayıplarını büyük ölçüde azaltır. Bu yöntemle, özellikle çok püskürtme kaybına yol açan boru, profil ve bazı nesnelere, arka yüzleri de dahil olmak üzere kayıpsız boyanabilirler. Bu otomatik tabancalar genellikle iç ve dip tarafların boyanmasında tercih edilirler. Hava atomizasyonlu ve havasız atomizasyonlu gibi çeşitli sistemler mevcuttur, (Şekil 4.1).

**Dönel Atomizörler;** Dönel atomizörlerin uygulaması farklı donanımlarla uygulanmaktadır. Genel olarak 2 tip sistem mevcuttur.

Çan tipi püskürtme (High Speed Bells) Yüksek hız çanları (bells), elektrikli veya türbin sürücülerıyla dönen metalik fincanlardır. Çalışma esnasında, devirleri 40.000 d/d 'ya kadar çıkar. Boya, çan ağzında çok küçük parçacıklara tozlaştırılır ve elektriksel olarak yüklenir. Boyanacak parçalar düz bir hat üzerinde bir konveyör aracılığıyla boya kabine taşınır. Geniş yüzey alanına sahip parçalar, paneller, buzdolapları, fırın ve çamaşır makineleri vb. için kullanılırlar, (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2. Elektrostatik çan tipi püskürtme uygulaması.

Diskle Püskürtme; Dönel püskürtme diskleri boyayı, diskin hemen ağzında mekanik olarak atomize ederler. Disk kafası yukarı ve aşağıya doğru bir hidrolik silindir vasıtasıyla hareket ettirilir. Bu mesafe boyanacak parça yüksekliğiyle orantılıdır. Boyanacak parçalar, omega şeklinde dairesel bir konveyör, boya kabinin merkezinde yer alacak şekilde taşınırlar. Bu sistem genellikle kübik ve dairesel parçaların

boyanmasında; örneğin, buzdolapları, dönel simetriye sahip parçalarda (tüp vb.) düz parçalarda; kapama panellerinde ve boru biçimli parçalarda, bisiklet vb. gibi kullanılır, (Şekil 4.3) [15].



Şekil 4. 3. Elektrostatik disk tipi püskürtme uygulaması.

## 4.2. BOYA TESİSLERİNDE KULLANILAN ÜNİTELER

Bir boyama tesisinde gerçekleştirilmek istenen fonksiyonlar ve bu fonksiyonları yönlendirecek ana veriler bilindikten sonra tesisin tasarımına geçilebilir. Ancak, ilk önce bir tesiste bulunabilecek ünite ve alt üniteleri tanımak gerekecektir. Bu bölümde amaç bu elemanları tanımak ve ön projelendirmeye geçişi sağlamaktır.

Yüzey hazırlama ve boyama işlemleri bir tesisin fonksiyonel yapısını oluşturmaktadır. Bunlara, işleme tabi olacak gövdenin taşınması fonksiyonu ilave edildiğinde tesis tasarımı için gerekli tüm ana biçimlenme tamamlanmış olur. Dolayısıyla bir tesisteki ünite ve sistemleri;

- Taşıma sistemi
- Yüzey hazırlama sistemi
- Boyama sistemleri grupları adı altında incelenebilir.

### 4.2.1. Gövde Taşıma Sistemleri

Kısaca, bir parçanın veya gövdenin tesisindeki yükleme noktasından başlayarak bitiş noktasına kadar komple bir çevrim zamanında taşınması olarak tanımlanabilir.

Uygulama da yaygın olan taşıma yöntemleri;

- Havai konveyörle taşıma
- Ceraskalla taşıma
- Robot konveyörü ile taşıma
- Manüel taşıma
- Zemin konveyörü ile taşıma genel olarak sınıflandırılabilir.

Havai konveyörler; Bitirme işlemlerinde kullanılan malzeme nakliye donanımlarının ister yaş ister toz boya uygulaması olsun, planlama safhalarında, çok temel ve basit gereksinimleri vardır. Burada amaç ürünü sisteme verimli bir şekilde transfer ederek, ürün kalitesini geliştirmek ve bitirme işleminin verimliliğini yükseltmektir. Proses ne kadar karmaşık olursa olsun, konveyör çalışmaları yapanlar sistem için en iyi yaklaşımın tahrikli zincir konveyör olduğunu mutlaka hesaba katmalıdırlar. Sonuca etkiyen genel yaklaşımlar ise, ilk yatırım maliyeti ve bakım harcamalarıdır. Konveyörleri iki tip olarak inceleyebiliriz.

Monoray Tip; Boya tesisinde süreç boyunca konveyör hattı aynı kalacaksa bu tip konveyörler düşünülür. Parçalar, zincire düzgün aralıklarla yerleştirilmiş troleylere asılırlar. Herhangi bir zincirde trolley merkezi parça merkezini belirler. Konveyör hattı boyunca uygun bir yerde elektriksel işletme düzeni oluşturularak konveyör tahrik edilir. Aşağıdaki şekilde monoray konveyör zincir tipi görülmekte (Şekil 4.4)



Şekil 4. 4. Webb ve kardan tip konveyör zinciri.

Güç ve Serbest Tip; Bu sistemlerde bir yerine iki ray bulunur. Raylardan biri, sürekli hareket eden zinciri birbirlerine bağlı değildirler. Zincir iticiler trolleylerden ayrılabilirler dolayısıyla ürünü taşıyan trolley durmak için serbesttir. Zincir tahriki, parçaları taşıyan trolleylerden bağımsızdır ve askının pek çok farklı alana taşınması için birçok zincir tahriki kullanılabilir. Mesela, düşük hızdaki zincir parçayı yüzey hazırlama ve boya kabininden, yüksek hızlı olan ise yüklemeye süreçlere nakliyeye, süreç arası boşluklarda kullanılabilir.

Ceraskal ile taşıma; Daldırma sistemlerinde uygulama sahası bulunan bir manüel taşıma sistemidir.

Robot konveyör; Daldırma sistemlerinde kullanılan bir çeşit otomatik ceraskaldır. Programlama yapılarak duraklama istasyonları ve süreleri işlenerek parçanın komple çevriminin tamamlanması sağlanır. Özellikle yapılan uygulama daldırma yönteminde mevcut ise, uyguladığımız bu sistemin temel avantajı saha olarak minimum yer kaplaması ve tank ebatlarının minimum tutulması, dezavantajı ise yüksek maliyetli olmasıdır.

Manuel sistemler; Parçaların ağır, büyük olduğu ve havai konveyör uygulaması teknik ve ekonomik açıdan mümkün olmadığı veya kapasitenin çok düşük olduğu hallerde uygulama sahası bulunmaktadır. Parça, zemine döşenen raylar üzerinde veya doğrudan doğruya zeminde hareket edecek olan arabalara yüklenerek işlem göreceği yerlere taşınır.

Yer konveyörü ile taşıma; Parça veya parçanın yüklendiği araba, yere döşenmiş, tahrikli bir zincir tarafından çekilir.

#### **4.2.2. Yüzey Hazırlama Üniteleri**

Yüzey hazırlama işlemi, uygulamanın daldırma veya püskürtme oluşuna göre farklı ünitelerde gerçekleştirilir. Bunlar;

- Fosfat tüneli (Püskürtme yüzey hazırlama)

- Yüzey hazırlama kabini (Püskürtme uygulaması)
- Yüzey hazırlama banyoları (Daldırma uygulaması)
- Boya kurutma fırını

**Fosfat tüneli (püskürtme ile yüzey hazırlama);** Bu ünite, havai konveyöre asılı parçaları bir tünel içinden geçirilmesi esnasında üzerlerine özel olarak hazırlanmış kimyasal solüsyon püskürtmek suretiyle yüzey hazırlama işlemi yerine getirilir. Bu solüsyon, tanktan pompalanarak tünel içerisindeki rampalar üzerinde monte edilmiş nozullar vasıtasıyla geçiş yapmakta olan parça üzerine püskürtülür. Vestibül denilen püskürtme bölümleri arasında, tünel tabanı tanklara doğru meyillendirilerek, parça üzerinde kalabilecek ve püskürtme sırasında parçaya çarparak dağılacak sıvı solüsyon fazlasının tanka döndürülmesi sağlanır. Buharlaştan solüsyon ise tünel içerisindeki toplayıcı kanallardan vantilatörler vasıtasıyla emilerek çalışma ortamı dışına egzoz edilir.

Yüzey hazırlama işleminde, genellikle solüsyonlar sıcak olarak (50–80°C arasında) uygulanır. Isıtma işlemi, tank içine yerleştirilen bir ısı jeneratörü ile veya kaynar su veya buhar ile beslenen özel plakalı tip eşanjörle gerçekleştirilebildiği gibi, tank dışında bulunan kaynar su veya buhar beslemeli bir eşanjör ile de yapılabilir.

Fosfat tünellerinde bulunan diğer bir fonksiyonel eleman grubu da vestibüllere yerleştirilen fog-jetlerdir. Bir püskürtme bölümünden diğerine hareket ederken soğuma dolayısıyla parça üzerindeki solüsyon yer yer kristalleşerek işlemin sağlıklı devam etmesini etkileyebileceğinden, bu elemanlarla vestibül ortamı nemlendirilir ve böylelikle kristal teşekkülü önlenmeye çalışılır.

**Yüzey hazırlama kabini (püskürtme uygulaması);** Püskürtme tatbikatın bir diğer şeklinin uygulandığı ünite. Çalışma şekli, buhar jeneratörüne irtibatlandırılmış bir veya iki tabanca vasıtasıyla atomize edilen solüsyonun parça üzerine püskürtülmesini sağlayan ve konveyör veya manüel sistemlerde kullanılabilen bir ünite.

Solüsyon buharı kabin boyunca yerleştirilen karşılıklı iki V – kesitli kanaldan kabin üzerindeki tek emişli bir merkezkaç vasıtasıyla emilerek çalışma ortamı dışına egzoz

edilir. Kanallarda buharın yoğurmasıyla ortaya çıkan kondense, bir boru hattı vasıtasıyla drenaja gönderilir; aynı şekilde, kabin içerisinde oluşabilecek kondens de kabin zemininin eğimli olmasından istifade edilerek uzaklaştırılır.

Kabinin yan alt tarafındaki yarıklardan dış hava emilerek egzoz vantilatörü tarafından buhar ile dışarı atılan hava telafi edilmeye çalışılır.

**Yüzey hazırlama banyoları (daldırma uygulaması);** Prensip olarak, belli aralıklarla tespit edilen işlem sırasına göre yerleştirilmiş sıcak veya soğuk solüsyonları içeren tanklara parçaları daldırarak yüzey hazırlama işleminin gerçekleştirildiği bir ünedir. Daldırma bir ceraskal veya bir robot konveyör ile yapılır. Şartlar gerektirmedikçe, tank boyutları ve solüsyon hacmi gereksiz yere büyüdüğü ve dolayısıyla maliyeti arttırdığı için havai konveyör tercih edilmez.

Isıtma, tankın kullanılabilir hacminden bir saç panelle ayrılmış hazneye yerleştirilen eşanjör/jeneratör vasıtasıyla sağlanır. Uygulama da en çok kullanılan ısıtma sistemi gerek ısı ihtiyacının mertebesi ve gerekse ekonomik olması yönünden kaynar su veya buhar beslemeli özel plakalı tip eşanjör sistemidir. Isı jeneratörü veya elektrikli ısıtıcılarla ısıtmayı sağlamak da mümkündür.

Banyo yüzeyinde oluşan solüsyon buharı, tank üst kenarlarına çepeçevre yerleştirilmiş bulunan kanallardan bir merkezkaç vantilatör vasıtasıyla emilerek çalışma ortamı dışına egzoz edilir. Tank genişliğinin fazla olduğu hallerde, buharın egzoz edilmesi için ikili havalandırma sistemi uygulanır. Bu sistemde, banyo yüzeyine hava üflenerek buhar, egzoz vantilatörü toplama kanalına doğru yönlendirilir.

**Kurutma fırınları;** Boyanacak yüzeylerin kuru olması gerektiğinden yüzey hazırlama işleminin son bölümünü kurutma fırınları oluşturur. Prensip olarak, ısıtılan havanın parçalar üzerine üflenmesi esasına dayanır.

Fırınlar ısıtılırken ısı jeneratörü, buhar, kaynar su ile beslenen batarya veya ısı ihtiyacının düşük ise elektrik ısıtıcı rezistanslar kullanılır. Hava, fırın faydalı hacminden ayrılmış farklı bir bölmede bulunan ısıtıcı ünedede ısıtılır ve merkezkaç



vantilatörler yardımı ile fırın içine hava kanalları ile basılır. Kanallar üzerindeki ayarlanabilir damper ile de gövde ve parçalar üzerine üflenir mekanik vede termik olarak kurutma prosesi tamamlanır.

Fırınlr genellikle 100 mm. kalınlığında camyünü içeren sandviç tipi olarak adlandırılan panellerden oluşturulur. Taşıma sistemine göre;

- Sürekli fırın
- Kutu (box) tipi fırın
- Sundurma (canopy) tipi fırın olarak gruplandırılırlar.

**Sürekli fırınlr;** Havai konveyör sistemlerinde kullanılırlar. Parçaların fırın içerisinden geçişi devamlılığı gerektirdiğinden parça giriş ve çıkışlarında kapı konulamaz. Bu sebeple bu tip fırınlarda ısı kaybını önlemek için bir nevi kapı görevi gören hava perdesi sistemi geliştirilmiştir. Hava perdesi sisteminde fırın çıkış ve girişine konulan erkezkâç vantilatörler ile hava dolaşımı yapılarak fırındaki sıcak havanın dışarıya gitmesi engellenir ve bu sayede bu bölgeden ısı kaybı minimuma inmiş olur. Ancak geçiş yapmakta olan parçanın genişliği az olduğu takdirde, ısı kaybının ihmal edilecek derecede düşük mertebede kaldığı ve dolayısıyla hava perdesine gerek duyulmadığı bilinen bir uygulamadır.

Sürekli fırınlrın bir diğeri tipi de drying – blowing fırınıdır. Bu tipler parça yüzeylerinin düz ve basit olduğu hallerde kullanılırlar. Diğeri fırınlardan farkı üfleme hızının yüksek oluşu ve giriş ve çıkışta hava perdesi olmamasıdır. Ayrıca bu fırınlarda hava üfleme şekline dolaylı fırının bir geçişli olması gerekmektedir. Drying – blowing fırınlr, konveyör hızının yüksek olduğu hallerde fırın boyunu kısaltmaları sebebiyle tercih edilirler.

**Kutu (box) tipi fırınlr;** Sürekli fırınlrın kullanılmadığı, değişik ebatlarda veya düşük kapasteli imalatlarda tercih edilir. Arabalı yada raylı sistemler birlikte kullanılırlar. Hava üfleme sistemlerine göre değişik tipleri vardır.

**Sundurma (kanopi) tipi fırınlar;** Hava perdesi kullanılmadığı zaman, kurutma fırını platform üzerine monte edilir. Konveyör sistemi fırın girişinden sonra hemen yükselmeye başlar ve fırın öncesinde oluşturulan kapalı alanda fırın yüksekliğine ulaşır. Bu safhada ısı geçişini engelleyen plakalar mevcut olur. Busayede sistemdeki fırın havası dışarıya kaçışı yüksek verimlilik ile engellenmiş olur. Ayrıca üfleme nozzelleri fırının girişine yakın olmamasına dikkat edili.

### 4.2.3. Boyama Üniteleri

Uygulamaların püskürtme veya daldırma oluşuna göre,

- Su Perdeli Boya Kabini
- Kuru Filtreli Boya Kabini
- Aşağıya doğru hava emişli Tipi Boya Kabini
- Otomatik (Disk) Boya Kabini
- Daldırma Boya Tankı
- Toz Boyama Kabini

**Su perdeli boya kabinleri;** Püskürtmeli uygulamalarda en çok kullanılan sistemlerdir. Püskürtülmüş boyanın fazlası, kabinin arka kısmında devamlı dolaştırılan su perdesi tarafından taşınması esnasında, püskürtme sonrası boya partikülleri ile yüklenen ortam havası bir vantilatör aracılığı ile emilir ve dışarı atılır. Vantilatör emişi önce, bir toplayıcı üzerine monte edilmiş bulunan nozullardan geçiş yapan hava üzerine saf veya yumuşak su püskürtülerek bir ön yıkama olur. Kullanılan su, boya partikülleri ile kirlendiği için, filtre edilmiş olsada belirli zamanlarda değişmelidir.

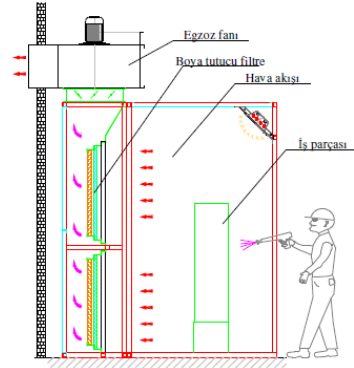
Hava emişinin sadece su perdesinin dolaştırıldığı saç bölme altından veya hem altından hem de bu bölme üzerindeki yarıklardan yapılmasına göre tiplere ayrılırlar. Bu yapıya karar verme ölçüsü ise boyanacak parçanın ebatlarıdır. Hava emişinin saç bölme altından yapıldığı tipler, yapı basitliği açısından daha çok tercih edilmektedir. Su havuz yapısına göre de sistem elemanları farklı tiplerde imal olur. Su havuzu öne doğru uzantılı inşa edildiği tip ve su havuzunun saç kasa içerisinde zeminde açılan beton havuza yerleştirildiği tip ve su havuzu olarak sadece zeminde açılan beton havuz

kullanılan tip olarak üçe ayırabiliriz. Su havuzu öne doğru uzantılı tipte zeminde boya toplanması önlenmiş olur. Diğerinde ise su havuzu saç kasa içerisinde zeminde açılan bir beton havuz içinde ve uzantıda ızgara bulunur, (Şekil 4.5).



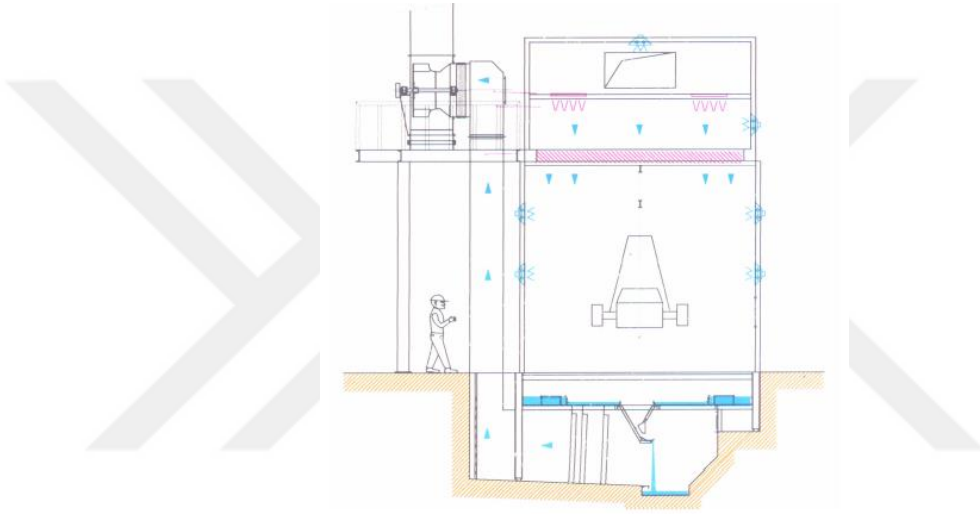
Şekil 4. 5. Su perdeli yaş boya kabini prensip resmi.

**Kuru filtreli boya kabinleri;** Su perdeli boya kabinleri prensip olarak hava emiş tipine benzer şekilde çalışır, fakat filtreleme kuru filtre yardımı ile yapılır. Genel olarak küçük kapasitedeki tesislerde kullanılır, (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6. Kuru filtreli yaş boya kabini prensip resmi.

**Aşağıya doğru hava emişli tip boya kabinleri;** Püskürtme uygulamalarında kullanılan diğer bir su yıkamalı ünedir. Kabinin yan taraflarında bulunan bir veya daha fazla yıkama grubundaki vantilatör vasıtasıyla oluşan basınç farkından dolayı kabin üzerindeki açıklıktan hava emilir (down-draft effect). Böylece püskürtülen boya fazlası, aşağı doğru akım halinde bulunan hava tarafından taşınarak kabin zeminindeki ızgaradan geçip kısmen zemin altındaki su havuzunda, kısmen de yıkama grubundaki nozullardan su püskürtülerek filtre edilir ve tesis dışına atılır. İşyerinin aşırı tozlu olması halinde hava girişine toz tutucu filtre konulmalıdır, (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7. Aşağıya doğru hava emişli tipi yağ boya kabini prensip resmi.

Boya kalitesinin önemli olduğu hallerde, kabin içerisinde 20–25 °C de tamamen tozdan arınmış bir atmosfer temini gerektiğinden kabin üzerine bir hava hazırlama (klima) santrali yerleştirilir. Bina dışından emilen hava genellikle bir ön filtreden geçirilerek ısıtılır ve merkezkaç vantilatör tarafından kabine gönderilir. Prensip olarak, ısıtma bir buhar veya kaynar su bataryası ile yapılıyor ise, vantilatör bataryadan sonra, bir ısı jeneratörü ile yapılıyor ise jeneratörden önce konulmalıdır. Vantilatör tasarım basıncı yıkama grubu vantilatör basıncından bir miktar fazla olmalıdır. Böylelikle iş yerinden kabin içerisine filtre edilmemiş hava ve dolayısıyla toz emilmesi önlenmiş olur.

**Otomatik boyama (disk) kabinleri;** Püskürtmenin sürekli olarak bir disk vasıtasıyla yapıldığı ünitedir. Prensip olarak, dönmekte olan bir diskin üzerine otomatik olarak püskürtülen boya, disk etrafında geçiş yapmakta olan konveyöre asılı parçalar üzerine diskin dönmesiyle oluşan merkezkaç etkisiyle yönlendirilir. Konveyörün dönüşü boyunca plastik satırlı bir bölme yerleştirilerek boya fazlasının kabin duvarlarını kirletmesi önlenir. Ayrıca, bazı hallerde parçanın boyanmamış kısımları kalabileceğinden bir rötuş boyama kabini ve her iki kabin için ortak bir hava hazırlama ünitesi tesisi gerekebilir.

**Daldırma boya tankı;** Adından da anlaşılacağı üzere, daldırma boya uygulamasının yapıldığı ünitedir. Prensip olarak, konveyöre asılı, parçaların devamlı dolaşımı yaptırılarak viskozitesi sabit tutulmaya çalışılan boya banyosuna daldırılmasını kapsar. Tanktan çıkış yapan parça üzerinde kalabilecek boya fazlasının toplanabilmesi için de bir süzülme tavası bulunur. Tünel şeklinde bir örtü ile de her iki bölme kapatılarak sağlığa zararlı buharların çalışma ortamına sızması önlenir. Bu maddeler bir eksenel vantilatör vasıtasıyla örtüden emilerek çalışma ortamı dışına atılır. Boya bir pompa vasıtasıyla eşanjörden geçirilerek tanka gönderilir. Boya solventlerinin tutuşma sıcaklıkları düşük olduğundan tankta dolaştırılan boya sıcaklığının 30°C üzerine çıkmaması lazımdır. Bu göz önüne alındığında, yangın tehlikesine karşı önlem alınması kaçınılmazdır. Ayrıca boya tankı bir vana ile boya depo tankına bağlantısı da yapılır. Boya daldırma tankı sistem hattından çıkarılmak gereken hallerde tekerlekli olarak yapılabilir.

**Toz boyama kabinleri;** Toz boyama kabinleri iki genel amacı sağlamalı. Birincisi, toz ile hava karışım oranının minimum ve patlama konsantrasyonuna ulaşımını engellemek için gerekli miktarda havayı kabine sağlamaktır. İkinciside karışımdan toz boyayı yeniden kullanılmak veya gerektiğide uzaklaştıracak şekilde ayırmaktır.

Sistem olarak toz dönüşümlü kabin gürültülü, siklonlu kabindi. Dolayısıyla bu sistemler silikonlu veya konvansiyonel sistemler olarak adlandırılmıştır. Bu tip sistemler bugün de dahi geniş kullanım alanına bulmaktadır, ihtiyaçlar paralel olarak farklı boya sistemleri geliştirilmiştir.

Toz boya uygulama proseslerinin gerçekleştirildiği, toz boyama kabinleri, bir karkas sistemidir. Bu sistemde kabin iskeletine ilave bir geri dönüşüm sistemi dâhil edilir. Geri dönüşüm sistemindeki fan sayesinde kabin dışından hava emişı sağlanır. Böylelikle metal malzemeye tutunmayan boyanın kabin dış ortamına yayılması önlenir. Buna ilaveten emilen hava da yer alan boya tozları merkezi toz toplama ünitesinde toplanır. Buradan toz boya alınarak tekrar boya tabancasına beslenir. Bu sayede boyanın neredeyse büyük bir kısmının kullanılması sağlanır, (Şekil 4.8).



Şekil 4. 8. Toz boya kabini prensip resmi.

## BÖLÜM 5

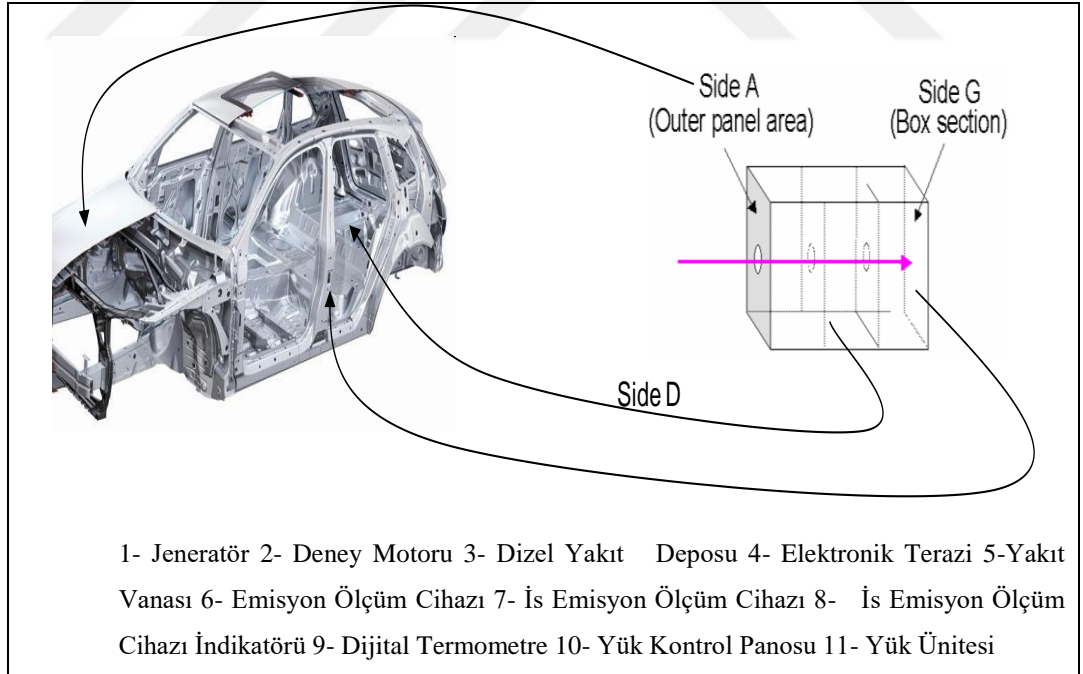
### MATERYAL VE METOT

#### 5.1. MATERYAL

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler aşağıda sırasıyla şekil, çizelge ve tabloları ile birlikte verilmiştir.

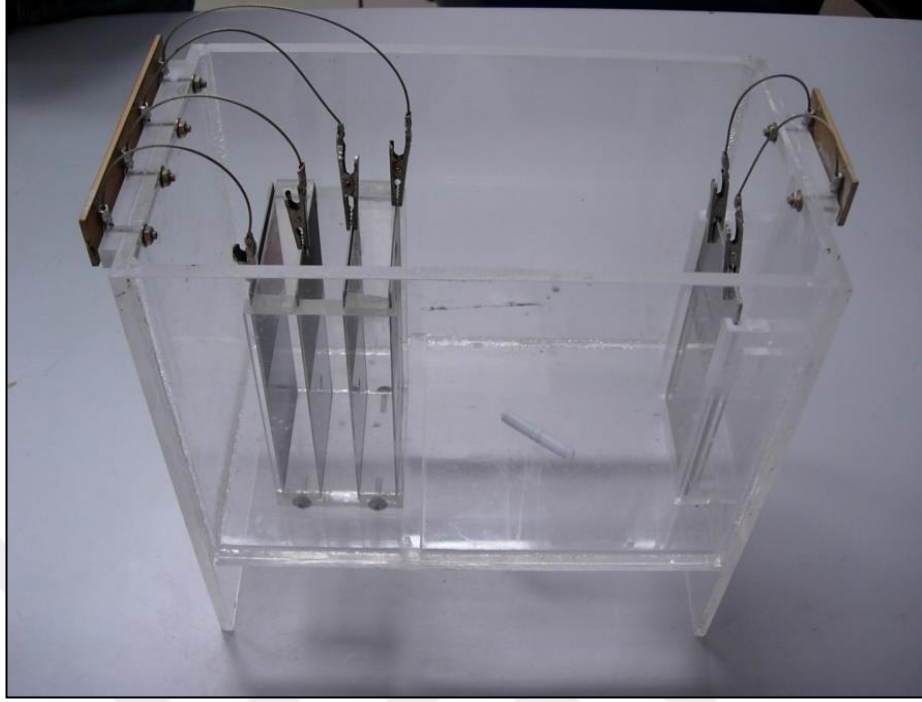
##### 5.1.1. Deney Alanı

Boya testleri Hyundai assan boyahanesi ve laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1’de deney düzeneğinin genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.

Şekil 5.2’de test kutusunda bulunan deney panelleri görülmektedir.



Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü ve kalınlık değişimi.

### 5.1.2. Deney Redresörü

Yapılan deneylerde kullanılan Redresör, hattı simüle etmektedir. Şekil 5.3’te görülmektedir.



Şekil 5.3. Deneyde kullanılan redresör.



### 5.1.3. Deneyde Kullanılan Boyalar

Deneyde kullanılan boyaların özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan boyaların teknik özellikleri.

Maddeler	ED 3000	ECO 3000	Açıklamalar
Pürüzlülük (Ra)	0.18 ~ 0.23	0.15 ~ 0.20	% 13 iyileşme
Parlaklık (%)	70 ~ 75	75 ~ 80	% 7 iyileşme
Yapışma	M-1	M-1	İyi
Fırın Kayıpları (%)	8 ±0,5	6 ±0,5	% 2 iyileşme Kayıplar daha az
Edge coverage	O	O+	Daha İyi
Reçine Akması	O	O+	Daha İyi
Palanma Direnci (mm)	1,7	1,3	100 sat tuz test. 3mm altında iyi
Kaplama Alanı (m <sup>2</sup> )	70	70	=
Tank Sıcaklığı (°C)	32	32	=

## 5.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

### 5.2.1. Kalınlık Ölçme Ünitesi

Deneysel çalışmalarda yüzey kalınlığının ölçülmesi için Minitest 3100 kalınlık ölçme cihazı kullanılmıştır. Kalınlık ölçme cihazı Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4. Mini test kalınlık ölçme cihazı.

### 5.2.2. Test Fırını

Yapılan numuneleri kurutmak için kullanılan sabit fırın Şekil 5.5'te görülmektedir. Çizelge 5.2'de test fırının teknik özellikleri verilmiştir.



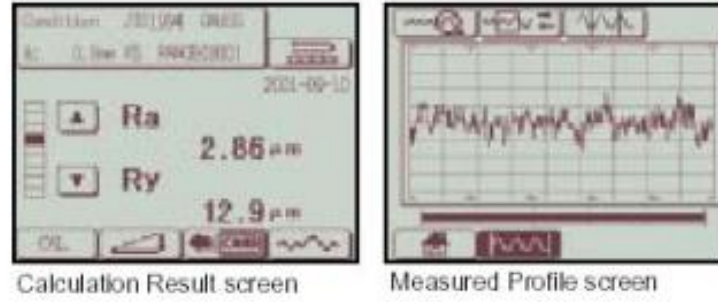
Şekil 5.5. Test fırını.

Çizelge 5.2. Test fırınının özellikleri.

Değişkenler	Özellikleri
Model	ECO 110/9
Seri No	19010034
Power (Watt)	2000
Voltaj (Volt Ac)	220 V 1/N/PE
Akım (Max Amp.)	9
Ferguency (Hz.)	50/60
Çalışma Sıcaklığı (°C)	300
Sigort (Amp.)	2

### 5.2.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Boya testleri için yapılan çalışmada, yüzey kalitesini Ra cinsinden ölçmek için aşağıdaki ölçüm aleti kullanılmıştır. Pürüzlülük ölçer cihaz Şekil 5.6'da görülmektedir.



**SJ-401**



Şekil 5.6. Pürüzlülük ölçer cihaz.

#### 5.2.4. Ölçme Düzeneği Elektronik Terazı

Boya, katı ve kül hesaplamalarında ağırlık değerlerini ölçmek için kütsel yöntem kullanılmıştır. Ölçüm aleti 1 gr hassasiyete sahip elektronik terazidir. Elektronik terazi Şekil 5.7’de görölmektedir.



Şekil 5.7. Elektronik terazi.

#### 5.2.5. Kronometre

Yapılan testlerde sürelerin tespiti için Casio HS-600W -1DF marka kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir. Kronometre Şekil 5.8’de görölmektedir.



Şekil 5.8. Kronometre.

### 5.2.6. İletkenlik Ölçüm Cihazı ve pH Metre

İletkenlik ve pH ölçülmesinde dijital ölçüm aletleri kullanılmıştır. Bu cihazlar ile boyanın iletkenliği ve pH değerlerini ölçmek mümkündür. Ölçüm aletleri Şekil 5.9’da verilmiştir.

İletkenlik Ölçer



pH metre



Şekil 5.9. Dijital iletkenlik ölçer ve ph metre.

### 5.2.7. Test Paneli

Boya testlerinde 0.7 mm kalınlıkta 75 x 150 mm ebatlarında gövde saçlarından kesilmiş metal saç paneller kullanılmıştır. Test paneli Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10. Metal saç panel.

### 5.2.8. Test Kroze

Boya kül testlerini yapmak için seramik kaplar kullanılmıştır, (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Kroze test kabı.

## 5.3. TESTLERİN YAPILIŞI

Kataforez banyoda kaplamanın başlaması ile tüm girdilerde değişim olur. Katıyla birlikte asit ve solvent azalması da meydana gelir. Günlük kaplama kapasitesine göre banyo malzemelerinin birbirlerine olan oranları değişir. İlaveler analiz sonuçlarına göre yapılır. Banyoya ilave edilecek malzeme miktarları yapılan hesaplar sonrası belirlenir ve tanka beslenir. Tüm hesaplamalar bölüm 3.7’de anlatılmıştır.

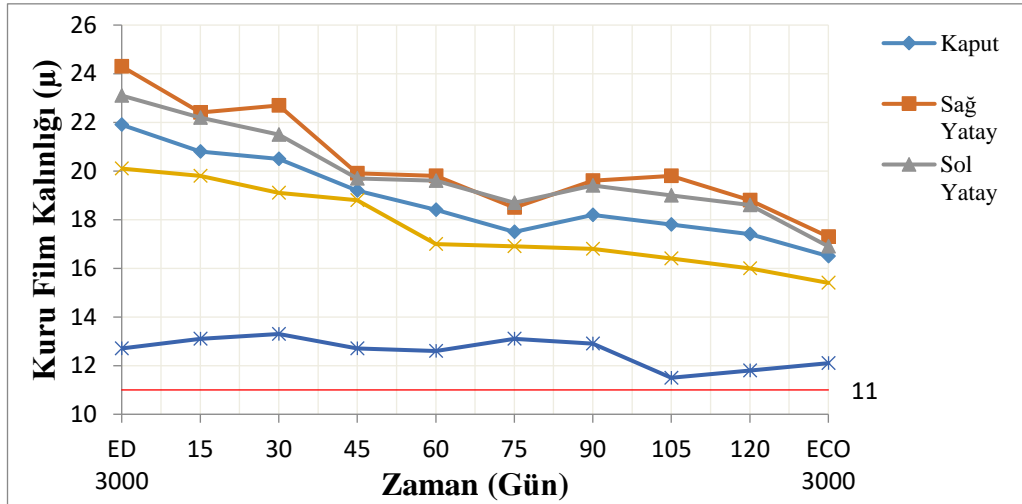
## BÖLÜM 6

### SİSTEMLERİN ANALİZİ VE EKONOMİSİ

Yapılan testlerde genel olarak ED 3000 ve ECO 3000 kataforez boyaları kullanılmış. Aşağıda görüldüğü üzere farkı bulgular elde edilmiştir.

#### 6.1. KAPLAMA DIŞ YÜZEY KALINLIĞI

Numune yüzeyler üzerine uygulana iki farklı ED 3000 ve ECO 3000 kataforez boyalarının kaplaması yapılmıştır. Gövde üzerinde yapılan yüzey kalınlıkları kalınlık ölçüm cihazı ile ölçülmüş ve kayıt edilmiştir. Alınan değerler Şekil 6.1’de verilmiştir. Şekil 6.2’de araç üzerinden alınan numune kalınlık kesiti görünmektedir. Görüldüğü gibi ECO 3000 uygulama yapılan yüzeylerde kalınlıklarda 7 mikron kadar, %30 oranında azalma olmuştur. Bu maliyetlerin azalmasına sebep olmuştur. İç yüzey kalınlıklarında değişiklik olmamıştır.

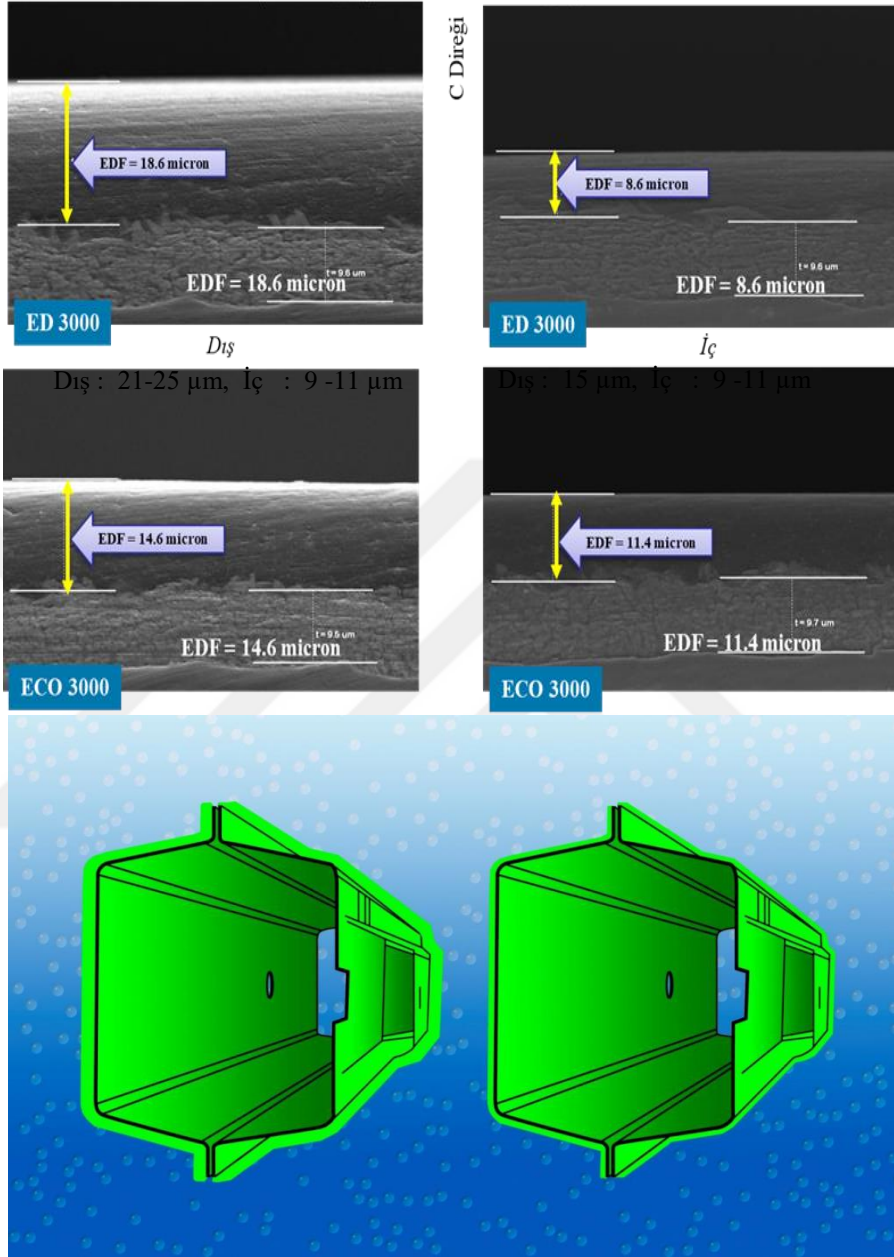


Şekil 6.1. Kuru film kalınlığı değişimi.

ED 3000



ECO 3000

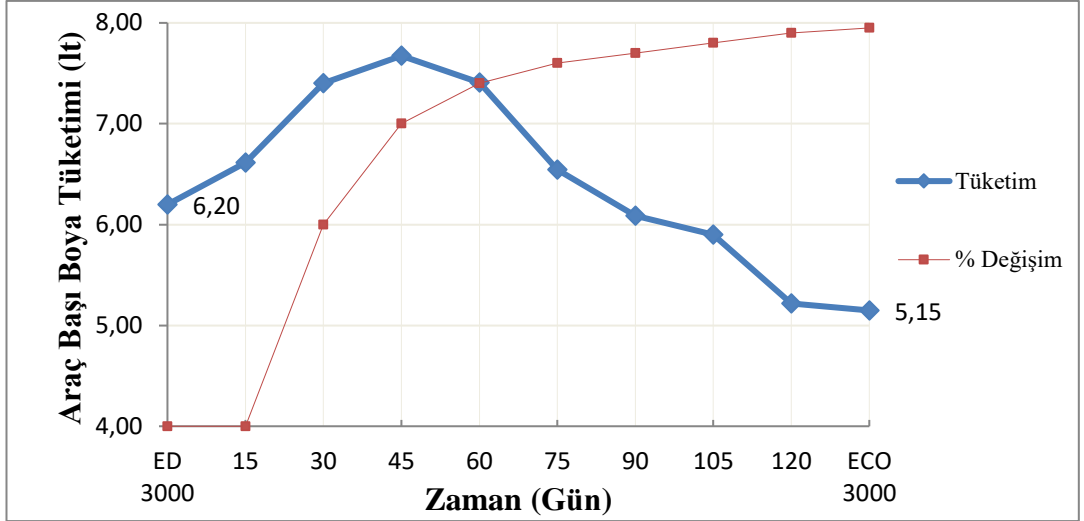


Şekil 6.2. Araç üzerinde kuru film kalınlığı ve kesit görünümü.

## 6.2. GÖVDE BAŞINA DÜŞEN BOYA TÜKETİMİ

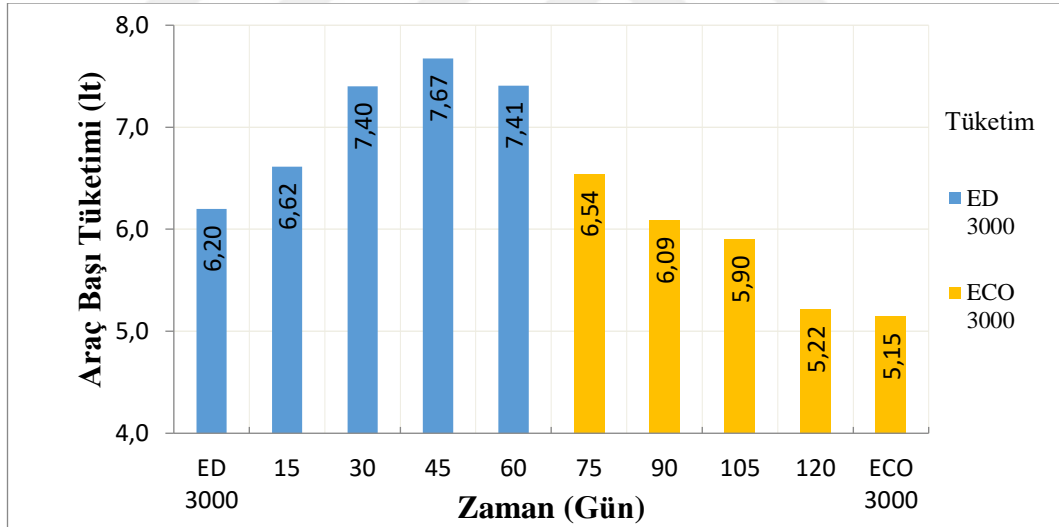
Yeni boyanın kullanımına başlanması ile beraber iki farklı katarforez boyalarının ED 3000 ve ECO 3000 araç başı boya tüketim değişimi sonuçları ve tank içindeki değişimi Şekil 6.3'de görüldüğü gibidir.





Şekil 6.3. Araç başı boya tüketim ve değişim oranı.

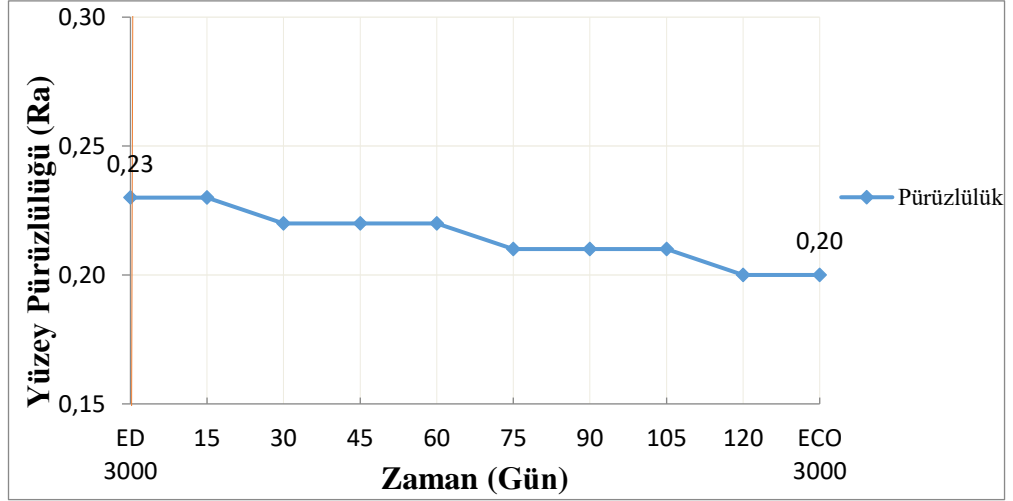
Yeni boya kullanımı ile birlikte toplamda 1,1 lt/araç boya tasarruf edilmiş, % 17,7 oranında boya tüketiminde azalma olmuştur, Şekil 6.4.



Şekil 6.4. Araç başı boya tüketim değişimi.

### 6.3. KAPLAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞİŞİMİ

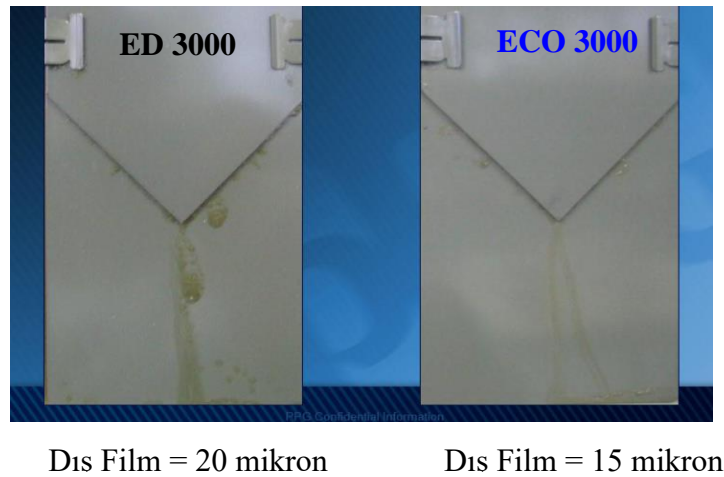
Kullanılan yeni boyanın tank içindeki oranının artması ile beraber ECO 3000 ile kaplanmış yüzeylerin pürüzlülüğünün % 13 oranında daha iyi olduğu belirlenmiştir. Pürüzlülük değişimi Şekil 6.5’de görüldüğü gibi olmuştur.



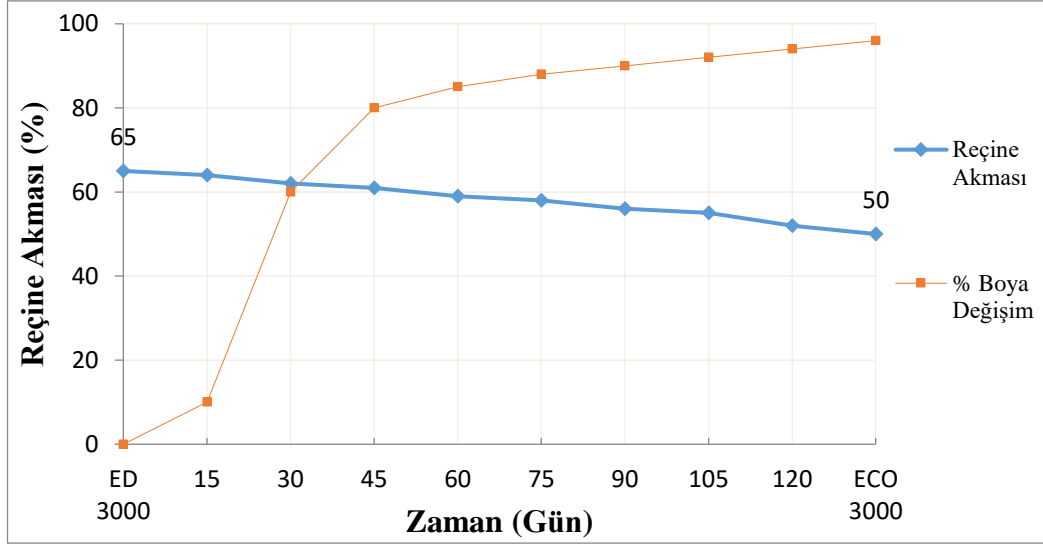
Şekil 6.5. Yüzey pürüzlülüğü değişimi.

#### 6.4. REÇİNE AKMASI

ECO 3000 elektro kaplama yönteminin getirdiği bir başka iyileşme araç üzerindeki reçine akmasındaki azalmadır. Bu kaplama ile reçine akmasında %15 'lik azalma elde edilmiştir. Şekil 6.6'da reçine akma şekli görülmektedir. Akmaların araç kalitesine olumsuz etkisi, ilave zımpara işlemidir. Yeni boya ECO 3000 kullanımı ile birlikte zımpara işlemleri azalmıştır. Şekil 6.7'da reçine akmalarındaki azalma miktarı görülmektedir.



Şekil 6.6. Reçine akması.



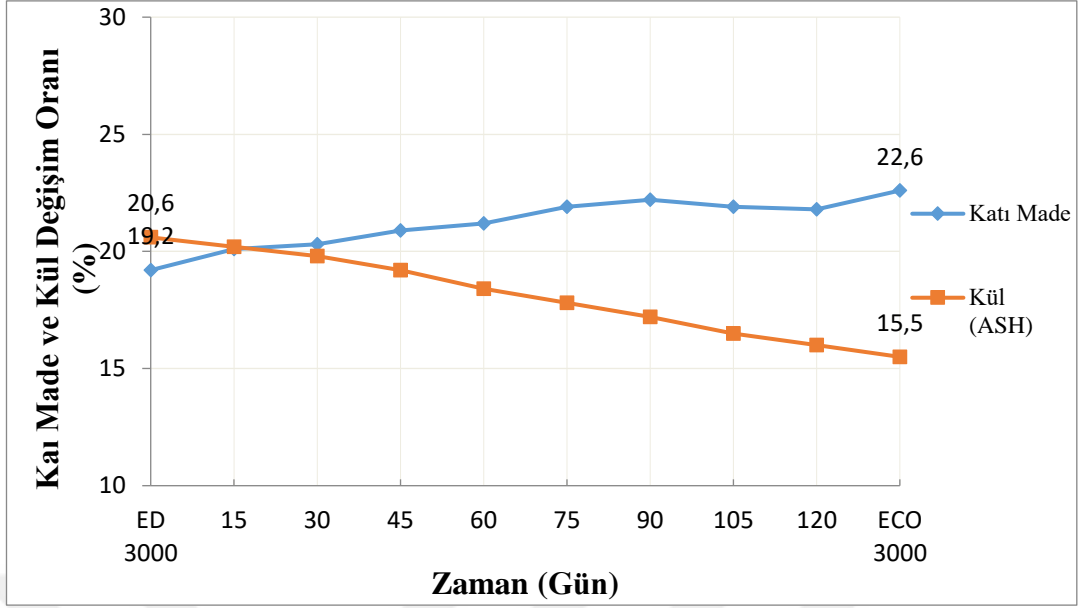
Şekil 6.7. Reçine akması performansı değişimi.

## 6.5. KAPLAMA BOYASINDAKİ KATI VE KÜL DEĞİŞİMİ

İmalat sürecinde boya kalitesini etkilememek için ve hurda boya çıkarmamak adına eski boya ile yeni boya karışım olarak kullanılmaya devam edilebilmektedir. Bu geçiş yaklaşık 3-4 ay kadar zaman almaktadır. Bu süreç içinde herhangi bir kalite problemi oluşmaması için gerekli tank parametre takipleri yapılmıştır.

Tanka yeni boya ilave edildikçe tankın katı seviyesi gün gün değişmekte ve 3. Ayın sonunda istenen seviyeye gelmiş olduğu gözlenmektedir. Yeni boyanın geçiş sürecinde katı madde %15 daha fazla olmuştur. Boya kalitesi bu geçişten etkilenmemiştir. Şekil 6.8'da geçiş sürecindeki katı değişimi görülmektedir.

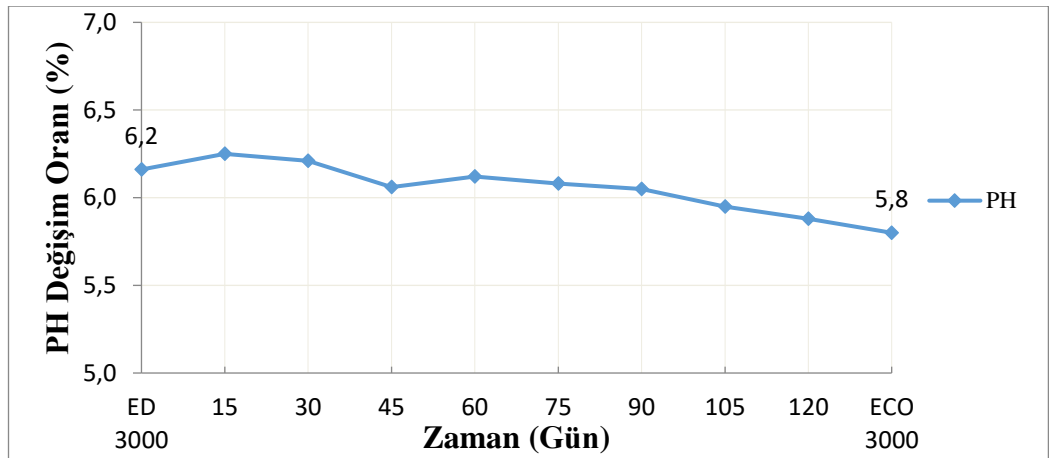
Yeni boya ilave edildikçe tankın katı değişimi ile kül oranı da değişim göstermiştir. 3. Ayın sonunda istenen seviyeye gelmiş olduğu gözlenmiştir. Değişim %25 olmuştur. Şekil 6.8'de geçiş sürecindeki kül değişimi görülmektedir.



Şekil 6.8. Katı madde ve kül değişim oranı.

## 6.6. TANK İÇİNDEKİ PH DEĞİŞİMİ

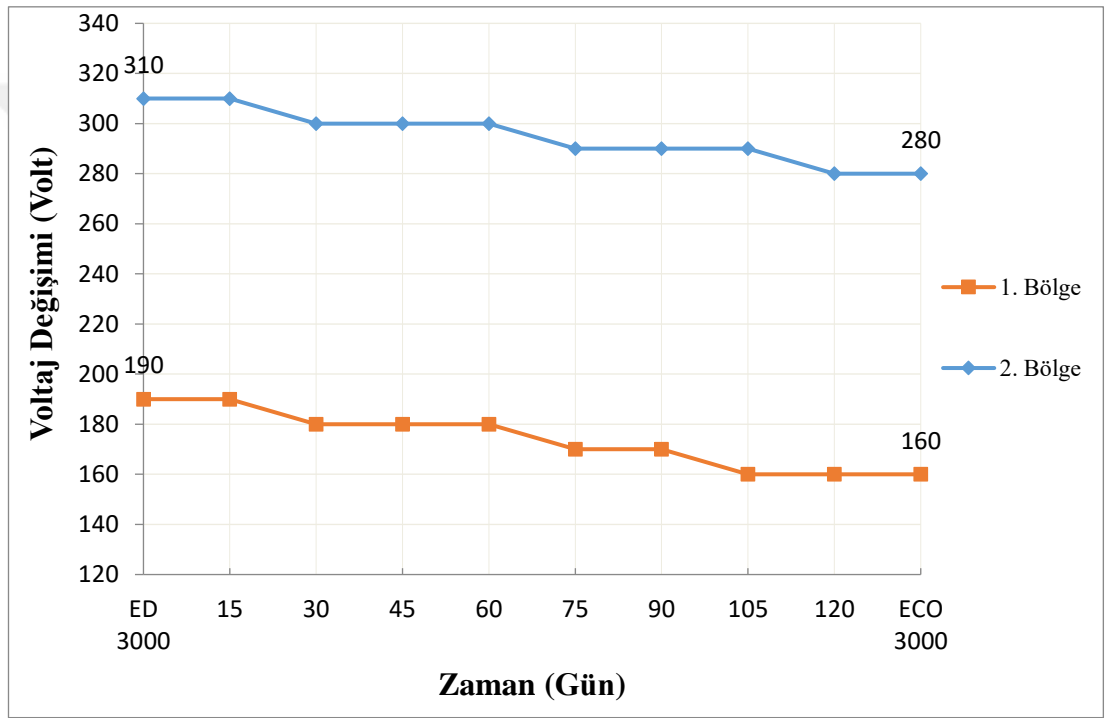
ECO 3000 Yeni boya ilave edildikçe tankın katı değişimi ile birlikte PH oranı da değişim göstermiştir. Bu değişim su sarfiyatını azaltmış anodid tankındaki PH'ı dengelemek için girilen saf su miktarı azalmıştır. Geçiş sürecinde % 6 oranında PH azalmıştır. Saf su kullanımı %44 oranında azalmıştır. Su kullanımı azaldığı için arıtma maliyetleri de azalmıştır. Şekil 6.9'da geçiş sürecindeki PH değişimi görülmektedir.



Şekil 6. 9. Kataforez tank içinde ph değişim grafiği.

## 6.7. VOLTAJ DEĞİŞİMİNİN KALINLIĞA ETKİSİ

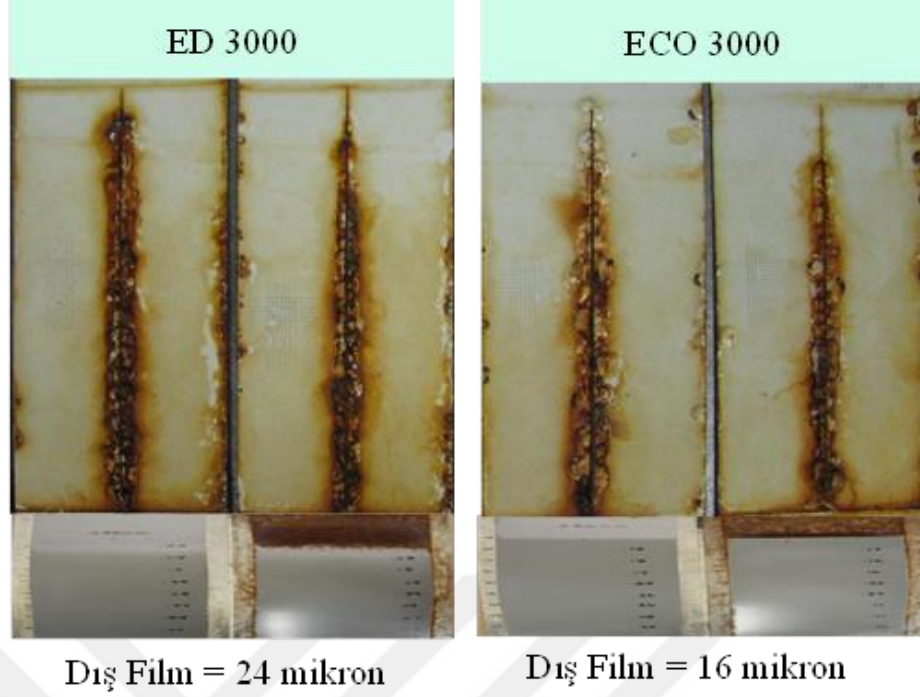
Elektro kaplama tankında bulunan ED 3000 boyasının üzerine yeni boyayı ECO 3000 ilave edildikçe tankın parametrelerinde değişiklikler gözlenmiş neticesinde fazla kaplamaya engel olmak için her iki bölgedeki voltajları düşürülmüştür. Asıl kaplama 2. Bölgede olmaktadır. Süreç sonunda %13-21 oranında voltajlarda azalma olmuştur. Yaklaşık 5 volt azalma 1 mikron kalınlık azalmasına denk gelmektedir. Dolayısı ile enerji maliyetleri de azalmıştır. Geçiş sürecindeki voltaj değişimi Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6. 10. Kataforez tank içinde voltaj değişim grafiği.

## 6.8. KAPLAMA BOYA TÜRÜNÜN PASLANMAYA ETKİSİ

Her iki kaplama ile yapılan test panellerinin paslanma miktarları 100 saatlik tuz testi ile ölçülmüştür. ED 3000 kaplamasında paslanma 1.7 mm iken; ECO 3000 kaplamasında paslanma 1.3 mm olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 6.11'de görülmektedir.



Şekil 6. 11. Elektro kaplamada panel paslanma farkları.

## 6.9. KAPLAMA TÜRÜ'NÜN MALİYETE ETKİSİ

Yeni boya kullanımında maliyet kıyaslaması Çizelge 6.1'de görülmektedir. Yeni boya kullanımıyla maliyette önemli düşüşler elde edilmiştir.

Çizelge 6. 2. Yeni boya kullanımında maliyet kıyaslaması.

Madeler	ED 3000	ECO 3000	Açıklamalar
Yüzey Alanı	70 m2	70 m2	=
Kalınlık (DFT)	Dış 21-25	Dış: 17	Daha az boya kullanımı 1,1 kg
Kaplama zamanı (sn)	180	180	=
1. Bölge Voltajı	190 V	160 V	%16 Düşük voltaj ve Az akım
2. Bölge Voltajı	310V	280 V	%13 Düşük voltaj ve Az akım
Reçine Aması	3.98 kWh/vh	1.96 kWh/vh	% 48 Enerji kazanımı
Güç Maliyeti	377.171,52 TL	197.662,08 TL	179.509,44 TL

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada otomotiv endüstrisi ve yan sanayi başta olmak üzere pek çok sektörde üretimin ana süreçlerinden olan boyama sistemlerinden özellikle kataforez boyama süreci incelenmiştir. Uygulamanın daha iyi anlaşılabilmesi için yağ boyama ve toz boyama sistemlerine de değinilmiştir. Tesis ve laboratuarlarda boyama uygulaması seçimlerine yardımcı olacak analizler ve değerlendirmeler tüm yönleriyle yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yeni ve eski kataforez boya kullanımının maliyete ve kaliteye etkileri incelenmiştir. Testler ve boya yenileme işlemleri Hyundai Assan A.Ş. firmasının Alikahya'da kurulan fabrikasında yapılmıştır. Testler ve geçiş süreçleri takip edilmiş, imalat sürecinde numuneler kaplanarak sonuçlar incelenmiştir.

Yeni kataforez boya kullanımı sonucunda; sarf edilen enerji miktarlarında azalma elde edilmiştir. Süreç sonunda %13-21 oranında voltajlarda azalma olmuştur.

Yeni boya genel olarak birim maliyeti pahalı olsa da birim tüketimi az olduğu için toplam maliyette azalma olmuştur. Yeni boya kullanımı ile birlikte toplamda 1,1 lt/araç boya tasarruf edilmiş, %17,7 oranında boya tüketiminde azalma olmuştur. Maliyetin azalmasında P/B oranındaki değişim, boya katı oranının düşmesi ve yeni boyanın teknolojsi etkili olmuştur.

Çalışmalarda yeni boyanın uygulamaya başlaması ile su tüketimleri azalmış, dolayısı ile çevre açısından yararlı olduğu gözlenmiştir.

Yeni kaplama malzemesi ECO 3000 kullanımıyla eski kaplama malzemesi ED 3000'e göre numune üzerinde daha az paslanma gözlenmiştir.

Test sonuçlarına göre; ECO 3000 ile kaplanmış yüzeylerin pürüzlülüğünün % 13 oranında daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Yeni boya teknolojisinin, kaplama tesisleri ve boyahanelerde kullanılmasının uygun olacağı söylenebilir, alınan sonuçlar bunu doğrulamaktadır.

Otomobil boyacılığında nano teknolojinin takibi ve kullanımı ürün maliyetleri ve çevre koşullarında iyileşme sağlayacaktır. Bu konu, üretici firmaların deneysel ve teorik çalışmaları ile desteklenerek geliştirilebilir.





## KAYNAKLAR

1. Mustafa Tunçgenç, “Genel Boya Bilgileri, İzmir”, *Akzo Nobel Kemipol*, (2004).
2. De Masi, R. F., Ruggiero, S. and Vanoli, G. P., “Acrylic white paint of industrial sector for cool roofing application: Experimental investigation of summer behavior and aging problem under Mediterranean climate”, *Solar Energy*, 169: 468-487 (2018).
3. Endregaard, E. A. “Paint Robotics-Improving Automotive Painting Performance”, *Metal Finishing*, (2002).
4. Schulz, D., “*Painting Trends in the Automotive Industry*”, 2001, Germany.
5. Ramamurthy, A: C., Buresh, G. A., Nagy, M. and Howell, M., “Novel instrumentation for evaluating stone impact wear of automotive paint systems”, *Wear*, 225: 936-948 (1999).
6. Ramamurthy, A: C., Charest, J. A., Lilly, M. D., Mihora, D. J. and Howell, M., “Friction induced paint damage-A novel method for objective assessment of painted engineering plastics”, *Wear*, 225: 350-361 (1997).
7. Salihoglu, G. and Salihoglu, N. K., “A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management”, *Journal of Environmental Management*, 169: 223-235 (2016).
8. Bysko, S., Krystek, J. and Bysko S., “Automotive Paint Shop 4.0”, *Computer & Industrial Engineering*, (2018).
9. Torkar, M. and Godec, M., “Surface defects in car paint from recombination of atomic hydrogen”, *Engineering Failure Analysis*, 10: 325-328 (2003).
10. Stylidis, K., Wickman, C. and Söderberg, R., “Defining perceived quality in the automotive industry: an engineering approach”, *Procedia*, 36: 165-170 (2015).
11. KCC Boya A.Ş., “Elektro Kaplama Eğitimi”, *KCC Teknik Servisler Bölümü* (2015).
12. Türk Henkel A.Ş., “Metal Fosfat Kaplama Temel Eğitimi”, *Türk Henkel*, (June 2013).
13. Coatings AG “Eğitim Notları, Hannover”, *BASF*, (1998).

14. PPG Industries, Inc, “Kataforez Seminer Notları” *PPG Türkiye*, (1994).
15. Akzo Nobel, “Toz Boya Uygulaması Eğitimi” *Akzo Nobel Türkiye*, (2005).
16. Koch Membrane Systems, Inc. “Koch Spirapak Electro Deposition Paint Ultrafiltration Modules. *Koch*, (2004).
17. Alting Alternative EDC Sarl, “Anode EDC Electro Dialysis Cell Instruction Manual for installation, France” *Alting*, (2003).



## ÖZGEÇMİŞ

Ali ŞEFLEK 1970’da Konya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Konya’da tamamladı. Konya Merkez Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinden mezun olduktan sonra 1989 yılında Doğu Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne girdi ve 1995 yılında mezun oldu. 1996 yılında aile şirketinde 2 yıl çalıştı Askerlik sonrası Hyundai Assan Otomotive fabrikasında mühendis olarak işe başladı halen aynı kurumda Boyahane Müdürü olarak görev yapmakta. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek lisansa başladı.