

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATAFOREZ KAPLAMA ÖNCESİNDE YÜZEY  
HAZIRLAMA, KURUTMA VE KAPLAMA  
PROSESLERİNİN İNCELENMESİ**

**Makine Mühendisi Tolga Özcanak**

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR**

**İSTANBUL, 2008**

## İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa |
|---|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....   | vi    |
| KISALTIMA LİSTESİ.....  | vii   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | viii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....   | x     |
| ÖNSÖZ .....   | xi    |
| ÖZET .....  | xii   |
| ABSTRACT .....  | xiii  |
| 1. GİRİŞ .....  | 1     |
| 2. KATAFOREZ BOYA HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....  | 2     |
| 2.1 Kataforez Boya Hakkında .....   | 2     |
| 2.2 Elektro kaplama (Ed) Teorisi Ve Kaplama Mekanizması .....                         | 2     |
| 2.3 Formülasyon.....  | 4     |
| 2.4 Kaplama Nasıl Gerçekleşir?.....   | 6     |
| 2.5 Anodik veya Katodik Elektro kaplama.....  | 10    |
| 2.6 Elektro kaplamanın Avantajları.....   | 10    |
| 2.6.1 Maliyet Verimliliği .....   | 10    |
| 2.6.2 Hat üretkenliği .....   | 11    |
| 2.6.3 Çevresel Etkiler .....  | 12    |
| 2.7 Banyoyu ve kaplamayı etkileyen parametreler .....                                 | 13    |
| 2.7.1 Nüfuz etme (Penetrasyon).....   | 13    |
| 2.7.2 Katı, Kül ve P/B Oranları.....  | 14    |
| 2.7.3 pH Kontrolü.....  | 17    |
| 2.7.4 İletkenlik kontrolü .....   | 17    |
| 3. KATAFOREZ KAPLAMA YERİNE KULLANILABİLEN DİĞER<br>PROSESLER.....                    | 18    |
| 3.1 Yaş Boya Uygulamaları .....   | 18    |
| 3.1.1 Havalı sistemler .....  | 18    |
| 3.1.2 Havasız Sistemler .....   | 20    |
| 3.1.3 Hava ceketli sistemler .....  | 21    |
| 3.1.4 Elektrostatik Sistemler .....   | 23    |
| 3.1.4.1 Elektrostatik Püskürtmede Yaygın Olarak Kullanılan Boya Tatbik Sistemleri.... | 24    |
| 3.2 Toz Boya Uygulamaları .....   | 26    |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.2.1   | Geleneksel Elektrostatik Yükleme .....                            | 27 |
| 3.2.2   | Sürtünme Yükleme.....   | 28 |
| 4.      | <b>BOYAMA TESİSLERİNDE BULUNABİLECEK ÜNİTELER VE TANIMLARI</b> 30 |    |
| 4.1     | Taşıma (Handling) Sistemleri .....                                | 30 |
| 4.1.1   | Havai konveyör ile taşıma.....                                    | 30 |
| 4.1.1.1 | Monoray tip .....   | 31 |
| 4.1.1.2 | Power and free tip .....  | 31 |
| 4.1.1.3 | Ceraskal ile taşıma .....   | 32 |
| 4.1.1.4 | Robot konveyör .....  | 32 |
| 4.1.1.5 | Manüel sistemler.....   | 33 |
| 4.1.1.6 | Yer konveyörü .....   | 33 |
| 4.2     | Yüzey Hazırlama Üniteleri.....                                    | 33 |
| 4.2.1   | Fosfat Tüneli (Püskürtme ile yapılan yüzey hazırlama ) .....      | 33 |
| 4.2.2   | Yüzey Hazırlama Kabinini ( Püskürtme uygulaması ) .....           | 34 |
| 4.2.3   | Yüzey Hazırlama Banyoları (Daldırma uygulaması) .....             | 34 |
| 4.2.4   | Kurutma fırınları.....  | 35 |
| 4.3     | Boyama Üniteleri.....   | 37 |
| 4.3.1   | Su Perdeli Boya Kabinleri.....                                    | 37 |
| 4.3.2   | Kuru Filtreli Boya Kabinleri .....                                | 38 |
| 4.3.3   | Aşağıya doğru hava emişli (Down–Draft) Tip Boya Kabinleri .....   | 39 |
| 4.3.4   | Otomatik Boyama ( Disk ) Kabinleri.....                           | 40 |
| 4.3.5   | Daldırma Boya Tankı.....  | 40 |
| 4.3.6   | Toz Boyama Kabinleri .....  | 40 |
| 5.      | <b>KATAFOREZ KAPLAMA SÜRECİNİN İNCELENMESİ</b> .....              | 44 |
| 5.1     | Giriş .....   | 44 |
| 5.2     | Kaplama Öncesi Kimyasal Yüzey Hazırlama .....                     | 45 |
| 5.3     | Dönüşüm kaplamaların tipleri .....                                | 45 |
| 5.4     | Kimyasal Yüzey Hazırlama Adımları.....                            | 46 |
| 5.4.1   | Yağ alma .....  | 46 |
| 5.4.2   | Durulama.....   | 49 |
| 5.4.3   | Aktivasyon (Yüzey iyileştirme) .....                              | 50 |
| 5.4.4   | Fosfatlama .....  | 50 |
| 5.4.4.1 | Çinko Fosfatlama Süreci.....                                      | 50 |
| 5.4.5   | Pasivasyon.....   | 52 |
| 5.4.6   | Deiyonize /Ters Geçişim (Osmoz) Durulama .....                    | 53 |
| 5.5     | Elektro Kaplama (Kataforez) .....                                 | 53 |
| 5.5.1   | Elektro kaplama (Kataforez) Tankı .....                           | 54 |
| 5.5.2   | Redresör (Doğrultmaç) .....                                       | 54 |
| 5.5.3   | Anolit Sirkülasyon Sistemi .....                                  | 56 |
| 5.5.4   | Boya Sirkülasyonu.....  | 57 |
| 5.5.5   | Ultrafiltrasyon Sistemi .....                                     | 59 |
| 5.5.5.1 | Ultrafiltrasyon Prensibi .....                                    | 60 |
| 5.5.5.2 | Ultrafiltre Temizleme.....  | 62 |
| 5.5.6   | Banyo sıcaklık kontrolü .....                                     | 64 |
| 5.5.7   | Kaplama sonrası Durulama .....                                    | 64 |
| 5.5.7.1 | Tank çıkışı durulama .....  | 64 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.5.7.2 | Ultrafiltre yıkama .....  | 65  |
| 5.5.7.3 | Deiyonize Durulama .....  | 65  |
| 5.6     | Boya Pişirme .....  | 66  |
| 5.6.1   | Giriş .....   | 66  |
| 5.6.2   | Uygulama Şekli .....  | 66  |
| 5.6.3   | Kurutmada Enerji ve Kütle Dengesi .....                                 | 68  |
| 5.6.4   | Kütle Dengesi .....   | 68  |
| 5.6.5   | Enerji Dengesi .....  | 69  |
| 5.6.6   | Boya Kurutma Prosesi .....  | 69  |
| 5.6.7   | Boyaların Kuruma Prensibi .....   | 70  |
| 5.6.8   | Pişme süresi .....  | 70  |
| 5.6.9   | Pişirme Fırını Unsurları .....  | 71  |
| 6.      | TERMODİNAMIĞİN BİRİNCİ YASASI .....                                     | 74  |
| 6.1     | Kapalı Sistemler İçin Birinci Yasa Analizi .....                        | 74  |
| 6.2     | Açık Sistemler İçin Birinci Yasa Analizi .....                          | 75  |
| 6.2.1   | Süreklilik Denklemi .....   | 75  |
| 6.2.2   | Açık Sistemler İçin Birinci Yasa Genel İfadesi .....                    | 76  |
| 7.      | OTOMATİK KONTROL .....  | 77  |
| 7.1     | Otomatik Kontrol türleri .....  | 79  |
| 7.1.1   | İki Konumlu kontrol (Açık-kapalı kontrol) .....                         | 79  |
| 7.1.2   | Yüzer Kontrol .....   | 80  |
| 7.1.3   | Oransal kontrol .....   | 82  |
| 7.1.4   | Oransal + İntegral Kontrol .....  | 85  |
| 7.1.5   | Oransal + Türevsel Kontrol .....  | 86  |
| 7.1.6   | Oransal + integral + türevsel kontrol .....                             | 87  |
| 7.1.7   | Zaman Oransal Kontrol .....   | 88  |
| 7.2     | Kontrol Sistemleri İçin Enerji Kaynakları .....                         | 90  |
| 7.3     | Kontrol Sistemi Parçaları .....   | 91  |
| 7.3.1   | Sıcaklık Hisseden Elemanlar .....                                       | 91  |
| 7.3.2   | Nem Hisseden Elemanlar .....  | 94  |
| 7.3.3   | Basınç Hisseden Elemanlar .....   | 94  |
| 7.3.4   | Su Akışını Hisseden Elemanlar .....                                     | 94  |
| 7.3.5   | Diğer Hissedici Elemanlar .....   | 95  |
| 7.4     | Otomatik Kontrol Vanaları Uygulamaları .....                            | 95  |
| 7.4.1   | Üç Yollu Vana İle Akışkan Debisi Ayarlanması .....                      | 96  |
| 8.      | KATAFOREZ KAPLAMA TESİSİNDE YER ALAN SİSTEMLERİN ANALİZİ .....          | 97  |
| 8.1     | Sistem Tespiti .....  | 97  |
| 8.2     | Tesisin boyutlandırılmasında göz önüne alınan kritik iş parçaları ..... | 98  |
| 8.3     | Tesiste Proses Sırası .....   | 100 |
| 8.4     | Konveyör Hızının Tespiti .....  | 100 |
| 8.5     | Yüzey Hazırlama Tesisi .....  | 102 |
| 8.5.1   | Ön Yağ alma Ve Yağ Alma Banyoları .....                                 | 102 |
| 8.5.2   | Durulama I ve Durulama II Banyoları .....                               | 105 |
| 8.5.3   | Aktivasyon Banyosu .....  | 105 |
| 8.5.4   | Çinko Fosfatlama Banyosu .....  | 106 |

|                 |   |     |
|-----------------|---|-----|
| 8.5.5           | Kataforez banyosu .....                             | 107 |
| 8.5.6           | Pişirme Fırını .....                                | 112 |
| 9.              | ELEKTROKAPLAMANIN EKONOMİSİ .....                   | 115 |
| 9.1             | Seçim süreci .....                                  | 115 |
| 9.2             | Kaplama Teknolojilerine Ait Maliyet Modelleme ..... | 118 |
| 9.2.1           | Elektro kaplama (Kataforez Boya) .....              | 118 |
| 9.2.2           | Yaş Boyama .....                                    | 121 |
| 9.2.3           | Toz Boyama .....                                    | 123 |
| 10.             | SONUÇLAR .....                                      | 125 |
| KAYNAKLAR ..... |   | 126 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  |   | 127 |

## SİMGE LİSTESİ

|           |  |
|-----------|--|
| $\rho$    | Rezistivite  |
| A         | Yüzey alanı (m <sup>2</sup> )                                |
| c         | Özgül ısı (kJ/kg.K)  |
| E         | Enerji (kJ)  |
| H         | Entalpi (kJ)   |
| h         | Özgül entalpi (kJ/kg), Yanma entalpi (kJ/kmol)               |
| $h_0$     | Çevre şartlarındaki standart entalpi (kJ/kmol)               |
| k         | Isı transfer katsayısı (J/m <sup>2</sup> s°C)                |
| m         | Kütle (kg)   |
| $\dot{m}$ | Kütle debisi (kg/s)  |
| P         | Basınç (kPa)   |
| Q         | Isı geçişi (kJ)  |
| $\dot{Q}$ | Birim zamanda kurutucu ile çevresi arasındaki ısı alışverişi |
| R         | Gaz sabiti (kJ/kg.K)   |
| s         | Özgül entropi (kJ/kg.K)                                      |
| T         | Sıcaklık (K)   |
| t         | Zaman (s)  |
| U         | İç enerji (kJ)   |
| u         | Özgül iç enerji (kJ/kg)                                      |
| V         | Hacim (m <sup>3</sup> )                                      |
| v         | Hız (m/s)  |
| W         | İş (kJ)  |

## **KISALTMA LİSTESİ**

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| AED  | Anodik elektro kaplama        |
| CED  | Katodik elektro kaplama       |
| HVLP | Yüksek hacimli düşük basınçlı |
| KM   | Katı madde                    |
| PVC  | Poli Vinil Klorür             |
| UF   | Ultrafiltre                   |
| VOC  | Uçucu organik bileşik         |
| HAP  | Zehirli hava kirleticileri    |

## ŞEKİL LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1 Elektro kaplama uygulaması.....  | 3  |
| Şekil 2.2 Kataforez boya banyosundaki maddeler.....                              | 4  |
| Şekil 2.3 Fenoksi katkılı boya filmi prensip resmi. ....                         | 5  |
| Şekil 2.4 Boya filmi kalınlığı ile uygulanan voltajın ilişkisi.....              | 6  |
| Şekil 2.5 Kaplama süresi ile akım geçişi ilişkisi. ....                          | 7  |
| Şekil 2.6 Elektriksel köprü kurulurken karşılaşılan dirençler. ....              | 8  |
| Şekil 2.7 Kaplanacak iş parçası örnek askı grubu .....                           | 12 |
| Şekil 2.8 Kaplama tankında parça yüzeylerinin anot hücrelerine göre konumu. .... | 13 |
| Şekil 2.9 Film kalınlıklarının zamana göre artışı.....                           | 13 |
| Şekil 3.1 Havalı püskürtme uygulamasının temel elemanları.....                   | 19 |
| Şekil 3.2 Elektrostatik püskürtmenin etkisi.....                                 | 24 |
| Şekil 3.3 Elektrostatik püskürtme uygulaması .....                               | 25 |
| Şekil 3.4 Elektrostatik çan tipi püskürtme uygulaması.....                       | 25 |
| Şekil 3.5 Elektrostatik disk tipi püskürtme uygulaması.....                      | 26 |
| Şekil 3.6 Geleneksel elektrostatik yükleme (Corona) prensip resmi.....           | 28 |
| Şekil 3.7 Sürtünme yüklemesi (Tribo) prensip resmi. ....                         | 29 |
| Şekil 4.1 Webb ve Kardan tip Konveyör zinciri .....                              | 31 |
| Şekil 4.2 Power+free tip Konveyör Uygulaması.....                                | 32 |
| Şekil 4.3 Kurutma fırınları uygulama şekilleri.....                              | 36 |
| Şekil 4.4 Su perdeli yaş boya kabini prensip resmi. ....                         | 38 |
| Şekil 4.5 Kuru filtreli yaş boya kabini prensip resmi. ....                      | 38 |
| Şekil 4.6 Down draft tipi yaş boya kabini prensip resmi. ....                    | 39 |
| Şekil 4.7 Toz boya kabini prensip resmi.....                                     | 41 |
| Şekil 4.8 Çoklu siklonlu toz boya kabini hava- boya akış şeması.....             | 42 |
| Şekil 5.1 Tipik çinko fosfatlama hattı sıralaması .....                          | 51 |
| Şekil 5.2 Kataforez kaplama süreci. ....   | 53 |
| Şekil 5.3 Redresör bağlantı şeması.....  | 55 |
| Şekil 5.4 Kataforez tankında boyanın hareketi.....                               | 57 |
| Şekil 5.5 Yüksek verimli Püskürtme memesi (Eductor).....                         | 58 |
| Şekil 5.6 Boya filtrasyonu prensip resmi. ....                                   | 59 |
| Şekil 5.7 Elektro kaplama uygulamasında ultrafiltrasyon sistemi. ....            | 59 |
| Şekil 5.8 Membran yüzeyinde akış.....  | 61 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 5.9 Spiral tip membran görünüşü.....   | 61  |
| Şekil 5.8 Otomotiv sektöründe kaplama sonrası yıkama hattı.(1998, BASF Coatings AG) ...        | 65  |
| Şekil 5.9 Konveksiyonlu indirekt ısıtmalı sürekli tip boya pişirme fırını prensip şeması. .... | 67  |
| Şekil 5.10 Süreksiz kurutucuda madde akışı (Mujumdar, 1995) .....                              | 68  |
| Şekil 5.11 Süreksiz kurutucuda enerji akışı (Mujumdar, 1995).....                              | 69  |
| Şekil 5.12 Pişirme Fırını İçeriden Görünüşü.....   | 72  |
| Şekil 7.1 Açık kapalı kontrol.....   | 79  |
| Şekil 7.2 Sabit bantlı açık-kapalı kontrol eğrisi. ....  | 80  |
| Şekil 7.3 Yüzer kontrole örnek ısıtma soğutma uygulaması.....                                  | 81  |
| Şekil 7.4 Oransal kontrol cihazı transfer eğrisi. ....   | 82  |
| Şekil 7.5 Oransal band ve reaksiyon eğrisi. ....   | 83  |
| Şekil 7.6 Dar oransal band ve reaksiyon eğrisi. ....   | 84  |
| Şekil 7.7 Oransal kontrol blok şeması. ....  | 84  |
| Şekil 7.8 Oransal+integral kontrol blok şeması.....  | 86  |
| Şekil 7.9 Oransal+integral kontrol reaksiyon eğrisi. ....                                      | 86  |
| Şekil 7.10 Oransal+türevsel kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi.....                         | 87  |
| Şekil 7.11 Oransal + İntegral + türevsel kontrol reaksiyon eğrisi. ....                        | 88  |
| Şekil 7.12 Zaman oransal kontrol. ....   | 89  |
| Şekil 7.15 Rezistans termometre devre elemanları konfigürasyonu.....                           | 92  |
| Şekil 7.16 Rezistans termometre direnç grafiği.....  | 93  |
| Şekil 7.17 Üç yollu motorlu vana ile sıcaklık kontrolü uygulaması tesisat devresi. ....        | 96  |
| Şekil 8.1 Basınçlı hava tüpü.....  | 98  |
| Şekil 8.2 Örnek şasi ve karoser parçaları.....   | 99  |
| Şekil 8.3 İş parçalarının askı şekli. ....   | 101 |
| Şekil 8.4 Yağ alma banyosu prensip resmi. ....   | 103 |
| Şekil 8.5 Kataforez boya tankı prensip resmi.....  | 109 |
| Şekil 8.6 Kataforez boya pişirme fırını üst görünüşü. ....                                     | 113 |
| Şekil 9.1 Kataforez boya tesisi maliyet analizi tablosu. ....                                  | 120 |
| Şekil 9.2 Yaş boyama tesisi maliyet analizi tablosu.....                                       | 122 |
| Şekil 9.3 Toz boyama tesisi maliyet analizi tablosu.....                                       | 124 |

## **ÇİZELGE LİSTESİ**

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 3.1 Toz yükleme prensipleri mukayese tablosu.....                           | 29 |
| Çizelge 5.1 Ultrafiltrasyonun diğer filtrasyon sistemleri ile mukayese tablosu..... | 60 |
| Çizelge 5.2 Ultrafiltre temizlemede kullanılan temizleyiciler .....                 | 63 |

## ÖNSÖZ

Başta çevre ile ilgili katı düzenlemeler ile ulaşılan teknolojik gelişmeler, kataforez kaplama uygulamalarının otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok sektörde kullanımının artışına yol açmıştır. İşin hem kimya hem de uygulama yöntemleri yönünden yapılan geliştirmeler alışılmamış özellikler taşıyan yüzey işlem uygulamalarının eldesini sağlamıştır.

Çalışmada, kataforez boyanın önemli parçaları olan, kimya, uygulama, performans ve süreç verimliliğine tüm yönleriyle yer verilmektedir. Aynı zamanda kataforez boya uygulayıcılarına günümüzde bu uygulamanın kullanıcılara neler sunduğu sebepleriyle beraber gösterilmektedir.

Bu çalışmamı gerçekleştirmemde çok büyük desteği ve emeği olan, çalışmalarım sırasında benden yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli tez danışmanı hocam Sn. Prof.Dr. Doğan ÖZGÜR'e teşekkürü borç bilirim.

## ÖZET

Kataforez kaplama karmaşık geometrili metal parçaların astar boyanarak korozyondan korunması için çok etkili ve rakipsiz bir yöntemdir. Son yıllarda kullanımı otomobilden başka diğer sektörlerde de yaygınlaşmaktadır. Özellikle jant, radyatör, buzdolabı, çamaşır makinesi ve çeşitli taşıt parçalarının yüzeylerinin astarlanmasında kullanılır.

Konvansiyonel kaplama/boyama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, önemli üstünlükleri vardır. Bunlar, homojen film kalınlığı ve estetik görünüş, keskin kenar, köşe ve kapalı hacimler ile kaynaklı bölgelerin mükemmel kaplanması, yüksek sertlik, basınç dayanımı, elastikiyet, darbe dayanımı ve yüksek korozyon dayanımı gibi çok iyi mekanik parametrelere sahip olması, yüksek üretim hızı, çok az kayıp miktarı, daha az çevre kirliliği, düşük yangın ve sağlık riski olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada, kataforez kaplama prosesinde, kaplama öncesi, kaplama esnasında ve kaplama sonrası prosesleri incelenmiş, tasarımı ve hesap yöntemleri açıklanmıştır. Tüm üretim süreçlerinde olduğu gibi, kaplama süreçlerinde de yatırım ve işletme maliyetlerinin irdelenmesi büyük önem kazanmaktadır. Dolayısıyla, kataforez kaplama tesislerinin yatırım ve işletme maliyetleri yönünden irdelenerek, kataforez kaplama yerine kullanılan diğer uygulamalar (yaş boyama ve toz boyama) ile karşılaştırılmış ve ekonomik analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Astar boya, kataforez boya, elektro kaplama.

JÜRİ:

Kurul tarihi: 24.02.2009

1.Prof.Dr.Doğan ÖZGÜR (Danışman)

Sayfa Sayısı: 139

2. Prof.Dr. Mesut ÖZGÜRLER

3. Prof.Dr. Galip TEMİR

## ABSTRACT

Cataphoretic electrocoating is currently the most up to date and the most effective technology of protection against corrosion for various types of metal products. Lately its use became widespread in primer coating of among industries, such as wheels, radiators, refrigerators, washing machines and various vehicle parts.

Compared to conventional primer coat applications, it has major superiorities. Layer is smooth, homogenous and of same thickness, covers sharp edges and corners together with welded areas, has very good mechanical parameters such as high hardness, pressure resistance, elasticity, resistance to shock and very high durability in salt chamber, high production speed, very high utilization of paint are these important properties. The paint used for electrocoating is of low environmental harm and low fire risk.

In this study, from surface treatment to paint curing the process of cataphoretic electrocoating application is inspected and design and application methods are examined. Also, like in all production processes, the analysis of the investment and operating costs gaining importance. Therefore, these inspections are also made in order to compare the application with conventional primer coat applications.

**Keywords:** Primer coat, cataphoresis paint, electrocoating.

JURY:

1. Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR (Danışman)
2. Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER
3. Prof. Dr. Galip TEMİR

Date: 24.02.2009

Page: 139

## 1. GİRİŞ

Günümüzde boya uygulamasının son hali, eğer bir boya uygulaması yapılmıyorsa ya da düşük kaliteli boya sebebiyle bir problem ya da kusur oluşmamişsa üzerinde düşünölen bir konu değildir. Neyse ki, elektro kaplamanın başlangıcından bugüne geçen kırk yılı aşkın süre boyunca, otomotiv, beyaz eşya ve genel sanayide devrim yaratmış, bu sektörlerin ürünlerinin kalitesini ve dayanıklılığını önemli ölçüde arttırmıştır. Bugün dünyada üretilen otomobillerin yaklaşık %98'i elektro kaplama ile astarlanmaktadır. Diğer bir deyişle, yeni bir araç aldığımızda tarafımıza verilen uzun süreli (12 yıla varan) pas koruma garantileri, katodik epoksi elektro kaplama ile mümkün olmaktadır.

Şu an dünya genelinde yaklaşık 2000 adet elektro kaplama tankı sistemi kuruludur. Ağırlıklı olarak hem otomotiv hem de beyaz eşya sektöründe kullanımda olup, her geçen gün artan çeşitlilikte her gün kullandığımız ürünlerin kalitesini ve dayanıklılığını arttırmaktadır.

1960'larda anodik elektro kaplama olarak başlayan kullanım, 1970'lerde geliştirilmiş katodik elektro kaplama olarak yaygınlaşarak devam etmiştir. Katodik elektro kaplama; performansının yüksek olması nedeni ile birçok sektörde hızlı bir şekilde anodik elektro kaplama ile yer değiştirmiştir.

Elektro kaplama karmaşık geometrili metal parçaların boyanarak korozyondan korunması için çok etkili bir yöntemdir ve son yıllarda kullanımı otomobilden başka diğer sektörlerde de yaygınlaşmaktadır. Otomobillerin kasa gövdelerinde tartışmasız olarak kullanılan ED kaplamalar son yıllarda jant, radyatör, buzdolabı, çamaşır makinesi ve çeşitli taşıt parçalarının yüzeylerinin kaplanmasında kullanıma girmiştir.

## 2. KATAFOREZ BOYA HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 2.1 Kataforez Boya Hakkında

Konvansiyonel kaplama/boyama yöntemleriyle karşılaştırıldığında elektro kaplamaların önemli üstünlükleri vardır. Genellikle aşağıdaki listede belirtilen şekilde vurgulanabilir.

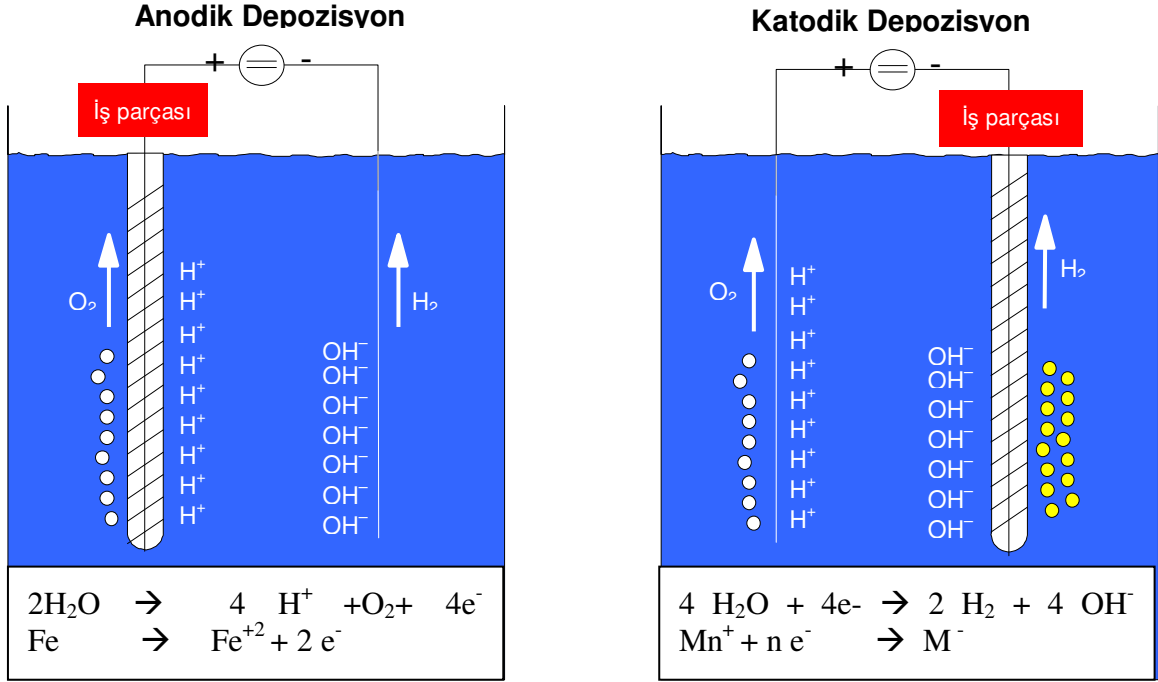
- Homojen film kalınlığı ve görüŖü;
- Keskin köŖe, kenar ve kapalı hacimlerle kaynaklı bölgelerin mükemmel kaplanması;
- Yüksek üretim hızı;
- Çok az kayıp (Pratik olarak % 0);
- Daha az çevre kirliliği;
- Yangın ve sağlık riskleri çok az.

### 2.2 Elektro kaplama (Ed) Teorisi Ve Kaplama Mekanizması

ED aşağıdaki tanımlanmış koŖullarda yapılan bir daldırma boya uygulama yöntemidir.

- Boyanın kendisi koloidal bir elektrolit veya koloidal bir elektrolitle sabitleŖtirilmiş edilmiş bir dispersiyondur.
- Kaplamanın gerçekteŖmesi için metal malzeme elektrotlardan birini oluştururken daldırma tankı diğer elektrotu oluşturur.
- Kaplanacak malzeme doğru akım verilerek 1–3 dakika daldırma tankında bekler ve bu süre içinde bir dizi elektrokimyasal tepkime sonucu malzeme kaplanır.
- Daldırma banyosundan çıkarılan parça üzerinde mekanik olarak yerleşmiş çok ince gevşek boya tabakası yıkanarak alınır.
- Belirli bir ön buharlaşma süresinden sonra parça fırınlanarak kurutulur.

Genel olarak tanımlanan bu uygulama yönteminin iki farklı uygulaması vardır. Boyanacak eŖyanın devreye anot olarak bağlanması durumunda, oluşan sürece "anaferez", elde edilen kaplamaya "anoforetik elektro kaplama" veya "anodik elektro kaplama" (AED) adı verilir. Boyanacak eŖya elektrik devresinin katodu haline getirilirse, oluşan sürece "kataforez", elde edilen kaplamaya ise "kataforetik elektro kaplama" veya "katodik elektro kaplama" (CED) denilir. (Ŗekil 2.1)



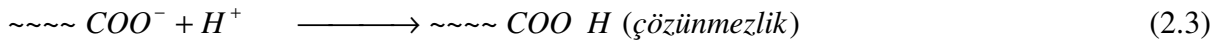
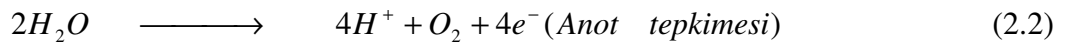
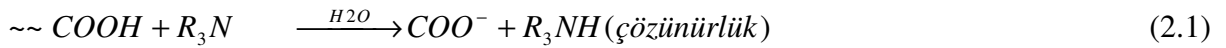
Şekil 2.1 Elektro kaplama uygulaması.

- Anodik ED: Kaplanacak parça anot'tur. Reçine ise katyon verir.
- Katodik ED: Kaplanacak parça katot'tur. Reçine anyon verir.

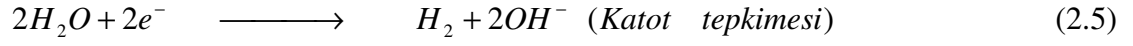
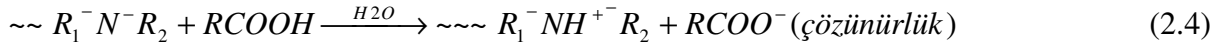
ED kaplama süresince bir dizi elektrokimyasal tepkime yer alır. Bu tepkimelerde önemli aşamalar;

- Reçinenin çözünürlüğünün (solubilization) sağlanması ve iyonlaşması,
- Suyun elektrolizi,
- Reçine çözünmezliğinin (insolubilization) sağlanmasıdır.
- 

Anodik ED'de bu tepkime dizisi:

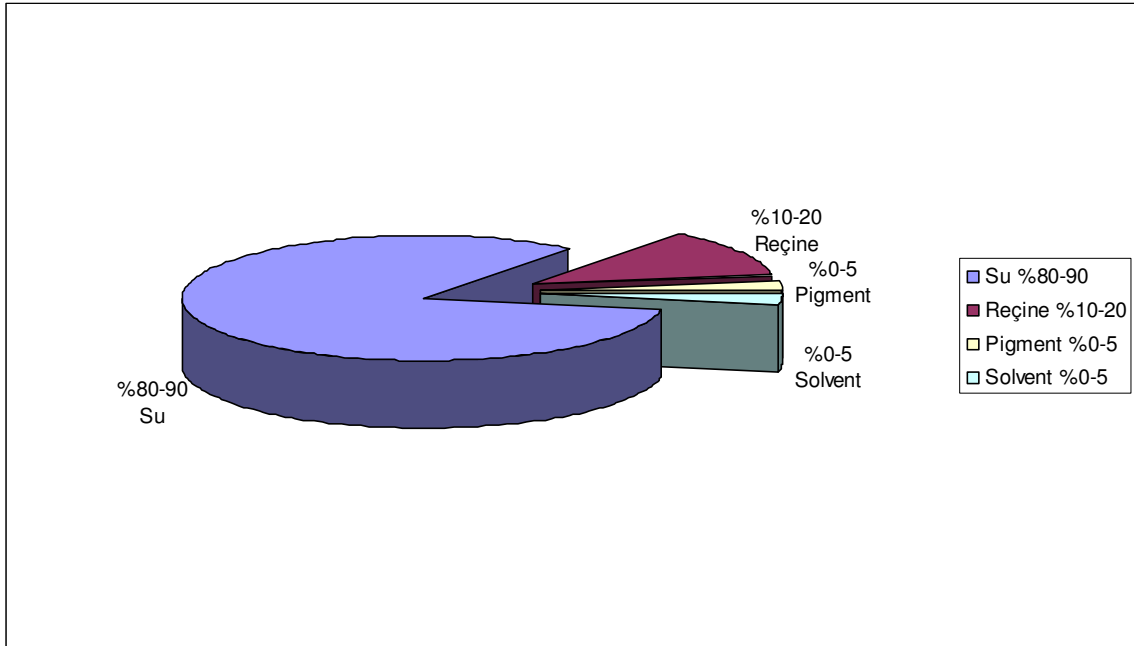


Katodik ED'de ise bu tepkime dizisi



### 2.3 Formülasyon

ED hatlarında kullanılan ürünlerin genel yapısı esas olarak diğer boya formülasyonlarından çok farklı değildir. Diğer boyalarda olduğu gibi kataforez astarı oluşturan kimyasal maddeler 3 grupta toplanabilir. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 Kataforez boya banyosundaki maddeler.

- Reçine (%10–20)
- Pigmentler (%0–5)
- Solventler ve katkı maddeleri (%0–5)

Reçine, nihai boya filminin bel kemiği olup, boyadan beklenen korozyon dayanımı ve UV dayanıklılığı gibi özellikleri sağlar. Bu kimyasalların her biri, üründen beklenen özellikleri sağlamak için (beklenen kalite, maliyet, çevre etkileri) boya üreticileri tarafından çeşitli düzenlemeler oluşturularak, belirli derecelerde katkıda bulunur. Bunlar genellikle akrilik, epoksi ya da her ikisini birden içerir. Epoksi polimerler, korozyon ve kimyasal dayanımı yüksek, akrilik polimerleri ise UV dayanıklılığı ve renk kontrolü özellikleriyle tanınırlar. Bunların kombinasyonu da belirtilen özelliklerin birleşimini sunar. Bileşim olarak diğer boya benzeri maddelerde çok farklı olmamakla birlikte ED hatlarında kullanılan ürünlerin reçinesi diğerlerinden çok farklıdır. Bu reçineler iyonlaşabilen reçinelerdir.

Pigment pastalar, özel reçineler, renk veren pigmentler, dolgular ve su-solvent karışımında hazırlanırlar. Renk pigmentleri boya filmine renk, parlaklık ve korozyon dayanımı sağlarlar. Dolgular boyanın doldurma gücünü artırır ve içlerinde bulunan çeşitli bileşikler sayesinde kaplama reaksiyonunu hızlandırır. Dolguların diğer bir önemli özelliği de kataforez sistemi elemanlarına (borular, vanalar, vb.) pasivasyon özelliği vererek korozyona karşı korurlar. Hem organik, hem de inorganik tip pigmentler kataforez boyada kullanılabilir. Başlıca kullanılan pigmentler  $TiO_2$  ve karbon siyahıdır. Dolgular ise çeşitli silikat bileşikleri ve çeşitli inorganik malzemelerdir. Silikat bileşikleri yüzeye düzgün bir görünüş verirler.

Kataforez sisteminde solvent olarak, saf su, bütül glikol ve fenoksipropanol bulunur. Banyoya bütül glikol pigment pastadan, fenoksi ise reçineden gelir. Bunun dışında buharlaşma ve reaksiyonlar sonucunda eksilen solvent ve su besleme yolu ile banyoya verilir.

Kataforez banyo içinde miktar olarak oldukça düşük miktarda bulunan solventlerin çok önemli görevleri vardır. Butil glikol boyanın iyi nüfuz etmesini ve yüksek film vermesini sağlar. Aynı zamanda pigment pasta ile reçinenin sulu ortamda karışmasına yardımcı olur. Fenoksi ise bünyesinde özel bir reçine, su ve butil glikol bulunduran özel bir solvent/katkı maddesidir. Su içinde çözünürlüğü bütül glikol kadar kuvvetli değildir. Fenoksi film yapısının içine girerek reaksiyon verir ve pürüzsüz film görünümünü sağlayarak yüzey yayılmasını sağlar. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Fenoksi katkılı boya filmi prensip resmi.

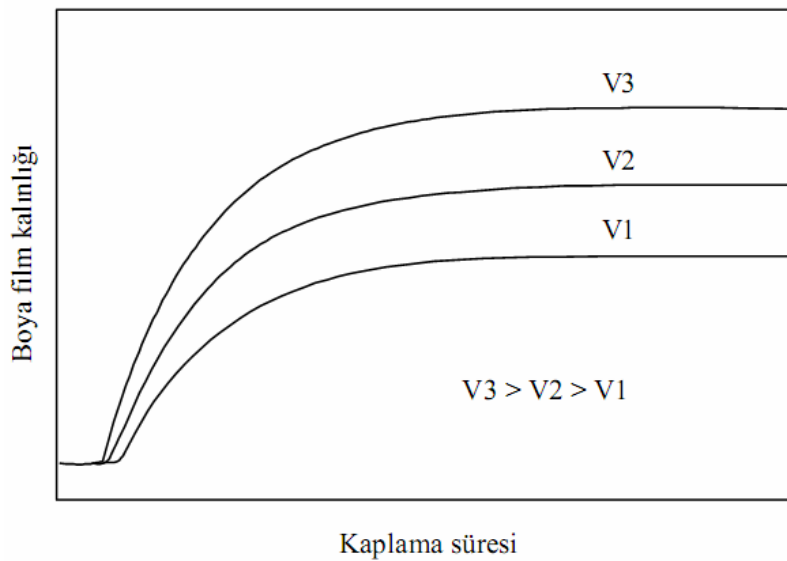
Suda çözünürlüğü az olduğu için fenoksi banyoya temiz UF tankından veya reçine/emülsiyon pompasından çok yavaş bir şekilde pompalanarak verilir.

Deiyonize su elektro kaplama banyosunun büyük bileşeni olup, banyonun %80-90'ını kapsar. Deiyonize su, reçine, pigment ve solventler için taşıyıcı görevi yapar.

#### 2.4 Kaplama Nasıl Gerçekleşir?

Elektro kaplamanın temeli zıtlar birbirini çeker prensibidir. Boya, iş parçasını elektro kaplama banyosuna daldırma ve banyoya iş parçası ile elektrotlar arasında elektrik akımı verme ile uygulanır. Bu uygulamada doğru akım kullanılır. Gerilim uygulandığında, iş parçası ve çalışan elektrotlar biri pozitif anot, diğeri negatif katot olacak şekilde zıt kutuplara sahip olacaktır. Kaplama, kendini sınırlayan bir uygulama olup, gerçekleşen kaplama parçayı elektriksel olarak izole ederek işlemi yavaşlatır. İyonlaşan boya önce karşı elektroda yakın bölgelere hücum ederek kaplanır. Daha sonra bu bölgeler kaplanıp, elektriksel 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 kaplanmıştır.

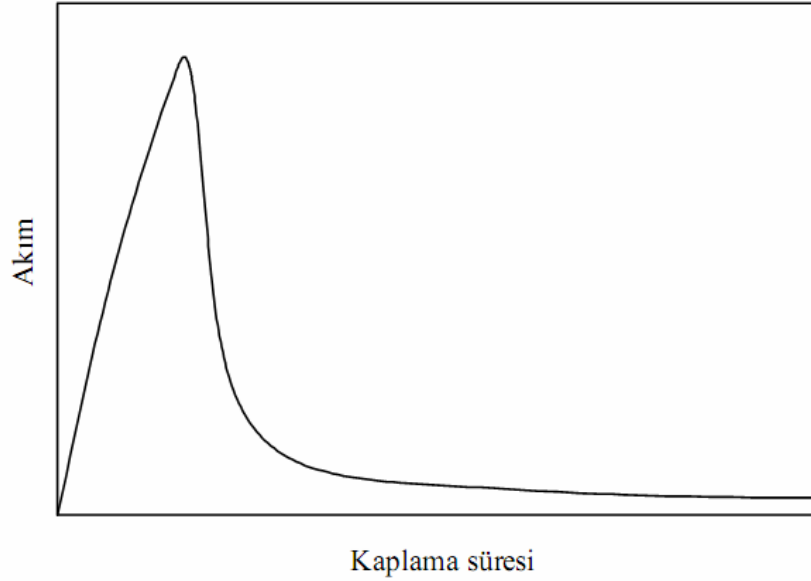
İş parçasına uygulana gerilim miktarı, parça üstünde oluşan boya filmi kalınlığı için birincil kontrol değeridir. (Şekil 2.3)



Şekil 2.4 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.

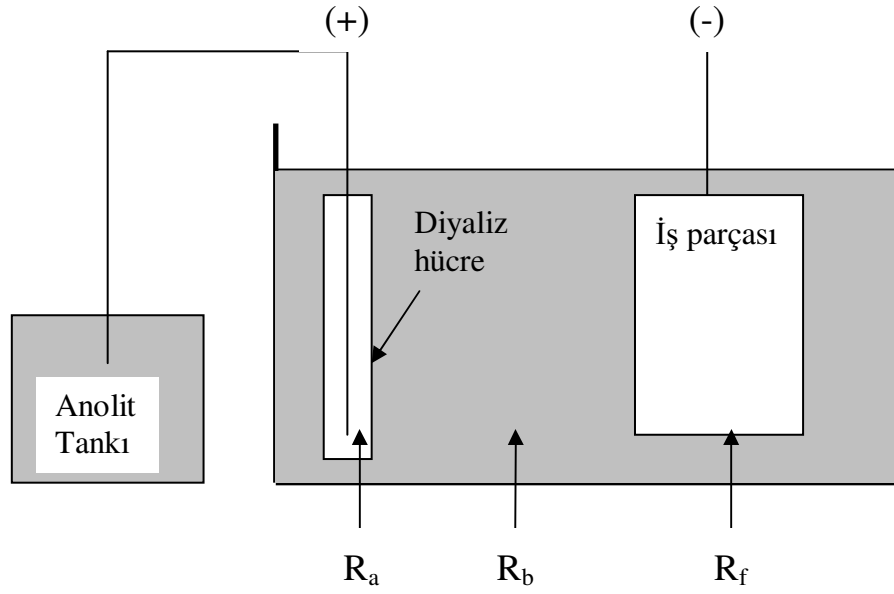
Kaplanan boyanın miktarı mg/coulomb olarak tanımlanır. Kaplama süresi, kaplamanın direncinin akım geçişini durduracak kalınlığa ulaşmasına kadar devam eder. (Şekil 2.4)



Şekil 2.5 Kaplama süresi ile akım geçiş ilişkisi.

Kaplama kalınlığını artırmak için doğru akımın sürekli yükseltilmesi doğru bir yol değildir, çünkü yüksek akım Hidrojen ( $H_2$ ) 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  $Fe_2O_3.H_2O$  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 ( $R_a$ ), boya direnci ( $R_b$ ) ve metal yüzeye kaplama yapıldığı anda meydana gelen film direnci ( $R_f$ ) olarak sıralanırlar. (Şekil 2.5)



Şekil 2.6 Elektriksel köprü kurulurken karşılaşılan dirençler.

Formülize edersek;

$$V=I \times R \text{ (Ohm kanunu)} \quad (2.7)$$

Sistemin toplam direnci;

$$R = R_a + R_b + R_f \quad (2.8)$$

Ohm kanununa uygularsak;

$$V= I . (R_a + R_b + R_f) \quad (2.9)$$

Burada  $V$  daima sabittir.  $R_a$  ve  $R_b$  dirençleri de sabit olarak kabul edilir.  $R_f$  değeri yüzeye kaplanan filmin direnci olduğundan film kalınlığı sıfır mikrondan istenilen kalınlığa gelene kadar artış gösterir ve sabitleşir.  $R_f$  değeri sabitleşene kadar akım ( $I$ ) değeri sabit kalmaz. Yüzey kaplama başladığı anda akım değeri en yüksek konumuna ulaşır ve o anda  $R_f$  değeri sıfırdır. Daha sonra akım ( $I$ ) değeri 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 2.4'te gösterilen akım-zaman grafiğinde eğrinin altında kalan alan tüketilen boyayı (film kalınlığını) gösterir. Formülize edersek;

$$Q = k \int I . dt \quad (2.10)$$

$$Q = k \int \frac{V}{(R_a + R_b + R_f)} . dt \quad (2.11)$$

$R_b$  boyanın direnci olup, anot-katot arası uzaklığa, anot yüzey alanına ve banyonun iletkenliğine bağlı olarak değişir.

$$R_b = \rho . \frac{L}{A} \quad (2.12)$$

Yukarıdaki formülde;

$\rho$  : Rezistivite (Ohm. cm)

L: Anot-katot uzaklığı (cm)

A: Anot yüzey alanı (cm<sup>2</sup>) ifade edilmekte olup, film kalınlığı formülünde yerine koyarsak;

$$Q = k \int \frac{V}{(\rho . (L / A) + R_a + R_f)} . dt \quad (2.13)$$

Yukarıdaki formülde k sabit bir sayıdır, rezistivite ( $\rho$ ), iletkenlik ile ters orantılıdır. Buna göre, film kalınlığını arttırmak için voltajın ve anot yüzeylerinin artması, anot-katot arası uzaklığın azalması veya rezistivitenin düşmesi gerekmektedir. Voltaj dışındaki değişkenleri hali hazırda kurulmuş olan sistemlerde değiştirmek pek mümkün değildir. Yukarıdaki formül film kalınlığı ve boya tüketimi için elektriksel değişkenlerin etkilerini açıklamak için faydalıdır. Aynı zamanda tüm parametreler standart değerleri gösterdiği halde olabilen film kalınlığı düşmelerini, sistem içinde toplam direnci arttıran herhangi bir etkenin veya bozulmanın olduğunu açıklamak yönünden önemlidir.

## 2.5 Anodik veya Katodik Elektro kaplama

Elektro kaplama, kaplamanın nerede gerçekleştiğini belirtmek için, anodik veya katodik (anaferez veya kataferez) 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 hapsolmasına 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.

## 2.6 Elektro kaplamanın Avantajları

Elektro kaplamanın birçok avantajı vardır. Bunlar, maliyet verimliliği, hat üretkenliği ve çevresel avantajlar olarak görülebilir.

### 2.6.1 Maliyet Verimliliği

Elektro kaplamadaki maliyet verimliliği; yüksek transfer verimi, hassas boya filmi kontrolü ve düşük insan gücü ihtiyacıdır. Elektro kaplama uygulamadaki en verimli boya teknolojisidir. Ultrafiltrasyon, iş parçası ile taşınan kaplanmamış boyanın yeniden kullanımını sağlamaktadır. Kapalı evrim durulama sistemleri boyayı toplayıp geri dönüşünü sağlar. Ultrafiltrasyonun gerçekleştirilmesi ile elektro kaplamanın transfer verimliliği yaklaşık olarak %95–99 arasındadır. Bu da üreticiler için fazlasıyla düşük işletme maliyeti anlamına gelmektedir.

Elektro kaplama hassas boya filmi kalınlığı kontrolü de sağlamaktadır. Voltaj film kalınlığını yakından kontrol eder, uygulanan voltaj ne kadar büyükse, kaplama kalınlığı da o kadar artar. Metal iş parçası izole olduğunda kaplama sona erer. Elektro kaplama uygulamasındaki düzgünlükte bir film kalınlığı kontrolü sunan başka bir boya uygulaması bulunmamaktadır. Tipik uygulamalarda film kalınlığı sadece 2–5 mikron mertebesinde farklılık gösterir. Diğer uygulamalar da film kalınlığı, parça geometrisine de bağlı olarak 15–50 mikron arasında değişiklik gösterir. Elektro kaplamanın kendini sınırlayan uygulama metodu sayesinde, diğer püskürtme boya uygulamalarında görülmesine alışılmış, damlamalar, çöküntüler, vb. sorunlar yaşanmaz. Bu avantajlar, malzeme kullanımında ve yeniden işleme maliyetlerinde büyük kazançlar sağlar.

Elektro kaplama teknolojinin kullanım yüzey işlem tesislerinde daha az personel gerektirir. Her vardiyada bir kişi, otomatik püskürtme donanımı kullanılmayan diğer püskürtme boya uygulamalarında gerekli 4–5 kişinin yaptığı işi yapabilir. Bir hat operatörü elektro kaplama tankını işletebilir.

### **2.6.2 Hat üretkenliği**

Elektro kaplamada hat üretkenliğini etkileyen faktörler, yüksek hat hızları, iş parçalarının yoğun bir şekilde askılara asılabilmesi, bir örnek olmayan hat yüklemesi, insan yorgunluğu veya hatasının az olması olarak sıralanabilir.

Elektro kaplamanın başlıca avantajlarından biri püskürtme sistemlere nazaran daha yüksek hat hızlarında işletilebilmesidir. Birim zamanda daha çok parça kaplanabilmesi, birim maliyetleri azaltır. Diğer balıca bir avantaj ise, elektro kaplama süreci iş parçalarının toplu olarak kaplanmasına izin verir. Çünkü süreç otomatikleştirilmiş ve yoğun askı yüklemesine izin verir.



Şekil 2.7 Kaplanacak iş parçası örnek askı grubu

Parçalar sık asılabilir, çünkü püskürtme uygulaması için parça dizilimi yapmak yerine operatör parçaları daldırmaktadır. Bu avantajları yağ ve toz boya uygulamalarında elde etmek mümkün değildir.

Elektro kaplama süreçleri otomatikleştirildiğinden insan hatası faktörü adanakıllı azaltılmıştır. Yine diğer teknolojilerle ulaşılamayacak düşüklikte ıskarta oranları ile benzer kaplama süreçlerine göre daha düşük bakım maliyetine sahiptir.

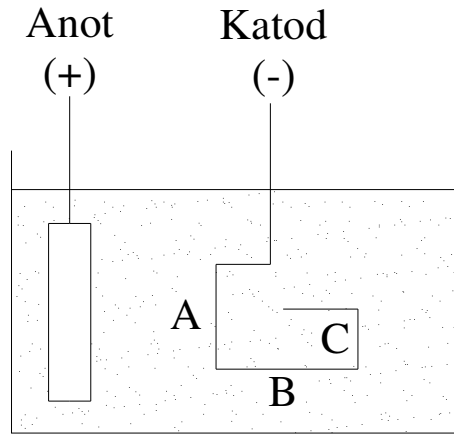
### 2.6.3 Çevresel Etkiler

Elektro kaplamanın çevresel olarak da avantajları mevcuttur. Yok denecek kadar düşük uçucu organik bileşikler (VOC) ve tehlikeli hava kirleticileri (HAP), ağır metal içermeyen, azaltılmış yangın tehlikesi, asgari atık tahliyesi ve çalışanların tehlikeli maddelere çok daha az maruz kalması olarak sıralanabilir.

## 2.7 Banyoyu ve kaplamayı etkileyen parametreler

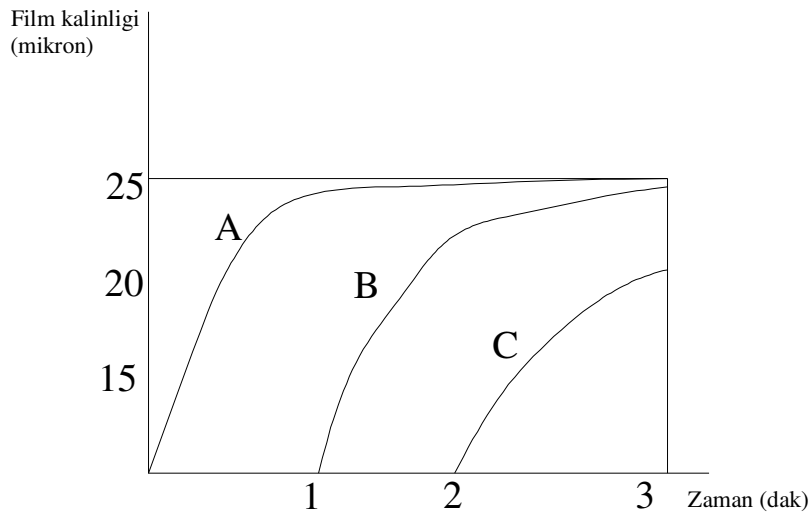
### 2.7.1 Nüfuz etme (Penetrasyon)

Yüzeyde ilk kaplama anot (diyaliz) hücrelerine bakan dış kısımlarda meydana gelir. Şekil 2.8’de 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 2.8 Kaplama tankında parça yüzeylerinin anot hücrelerine göre konumu.

Şekil 2.9 film kalınlıklarının zamana göre artışını göstermektedir. C bölgesinin kalınlığı kaplama zamanı uzatılarak yükseltilebilir. Dikkat edilmesi gereken, uzun kaplama süresinde A bölgesinin film kalınlığının çok artmaması ve yüzeyin bozulmamasıdır.



Şekil 2.9 Film kalınlıklarının zamana göre artışı.

Nüfuz etme özelliği kataforez boyanın tipine göre değişebilir. Kaplanacak gövdenin yüzeyi, banyo sıcaklığı ve iletkenliği de bu özellik üzerinde son derece etkilidirler.

### 2.7.2 Katı, Kül ve P/B Oranları

Kaplamanın banyodan eksilttiği malzemeler düzenli bir şekilde banyoya geri verilmelidir. Kataforez banyoda pigment ve reçine arasında belirli bir P/B oranı vardır. Kaplama yüzeyindeki boyanın içinde P/B oranı her zaman, banyo P/B değerinden daha yüksektir. Bunun sonucunda banyodan harcanan pigment miktarı reçineden daha fazladır.

Banyoda katıyla birlikte asit ve solvent azalması da meydana gelir. Günlük kaplama kapasitesine göre banyo malzemelerinin birbirlerine olan oranları değişir. İlaveler analiz sonuçlarına göre yapılmalıdır. İlaveler için her zaman aynı oranlar kullanılamaz, çünkü malzeme azalmaları her gün aynı oranda olmayabilir. Banyoya verilecek ilavelerin miktarlarını hesaplarken iki yöntem izlenebilir.

#### Günlük kaplanan gövde sayısına göre

$$A_0 = ( G \cdot A \cdot T \cdot F ) / 1000 \quad (2.14)$$

$A_0$  = Bir günde tüketilen boya miktarı (kg)

$G$  = Kaplanan parça sayısı /gün (adet/gün)

$A$  = Bir parçanın yüzey alanı ( $m^2$ /adet)

$T$  = Tüketilen katı boya miktarı ( $1,33 \text{ gr}/m^2$ . mikron)

$F$  = Gövde kaplama kalınlığı (mikron)

$$Q = A / X_0 \quad (2.15)$$

$X_0$  = Banyo oranlarında reçine ve pasta karışımının katısı (0,38)

$Q$  = Çözelti olarak bir günde tüketilen reçine ve pigment pasta

$$E = (a)Q \quad (2.16)$$

$$P = (b)Q \quad (2.17)$$

$E$  = İlave edilecek olan reçine miktarı (kg)

$P$  = İlave edilecek olan pigment miktarı (kg)

$a = X_0$  içindeki reçine yüzdesi (0,85)

$b = X_0$  içindeki pasta yüzdesi (0,15)

### **Günlük banyo analizlerine göre**

Günlük yapılan katı, kül ve p/b analiz değerleri göz önüne alınarak ilaveler yapılır. Kullanım sonucunda banyonun katı ve kül değerleri azalır. Bu azalma her gün aynı miktarda olmayabilir. İlave yapılmadan önce istenilen katı ve p/b değerleri belirlenerek aşağıdaki formül uygulanabilir.

$$P^* = \frac{(P/B).(S_1 - P_0) - P_0}{X.(1 + (P/B)^*)} \cdot \frac{C}{100} \quad (2.18)$$

$$E = \frac{((S_1 - S_0).C)}{100} - (Y).P^* / Z \quad (2.19)$$

$S_0$  = Banyonun o andaki katısı

$S_1$  = Banyonun istenen son katısı

$P_0$  = Banyonun o andaki külü

$X$  = Pigment pasta içindeki kül yüzdesi (0,28)

$(P/B)^*$  = Banyonun istenen son P/B oranı

$P^*$  = İlave edilecek olan pigment pasta (kg)

$E$  = İlave edilecek olan reçine (kg)

$Y$  = Pigment pastanın katı yüzdesi (0,49)

$Z$  = Reçinenin katı yüzdesi (0,36)

$C$  = Kataforez tankının kapasitesi (kg)

Bazı durumlarda banyo katısı sabit tutularak sadece P/B oranı artacak şekilde pigment pasta ilavesi yapmak söz konusu olabilir. Bu durumda reçine ilavesine gerek yoktur. Aşağıdaki formül gerekli pasta miktarını vermektedir.

$$P^* = \frac{(P/B)^*(S_0 - P_0) - P_0}{M.(P/B)^* + X} \cdot \frac{C}{100} \quad (2.20)$$

### Katı Madde Tayini

- Sabit tartıma getirilmiş çapı 50 mm kenar yüksekliği 5 mm olan alüminyum folyo kabın darası alınır. (A)
- Darası alınan folyo kabın üzerine 1,0 – 2,0 gr boya numunesi konur. Tekrar tartılarak dolu ağırlık kaydedilir. (B)
- Numune 110 °C sıcaklıkta fırında 60 dakika bekletilir.
- Numune 20–25 °C ‘ye kadar desikatörde soğutulur.
- Desikatörden çıkarılan numune tekrar tartılır. (C)
- Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\%Katı.madde.miktarı = \frac{C - A}{B - A} \cdot 100 \quad (2.21)$$

Yapılan analiz sonucunda %katı madde miktarının %14–18 aralığında olması istenir. Katı madde miktarı düşük ise 38 tonluk banyoda katıyı %1 arttırmak için 152 kg pasta, 760 kg reçine ilavesi yapılmalıdır.

### Kül miktarı Tayini

- Sabit tartıma getirilmiş bir porselen krozenin darası alınır. (A)
- Darası alınan porselen krozenin üzerine 1,5–2,0 gr numune konur. Tekrar tartılarak dolu ağırlık kaydedilir. (B)
- Numune önce 110 °C’de 60 dakika fırında bekletilerek kuruması sağlanır.
- Daha sonra sırasıyla, 250 °C’de 30 dakika  
450 °C’de 30 dakika  
750 °C’de 20 dakika kül fırınında numunenin yanması sağlanır.
- Desikatörde 20–25 °C’ye kadar soğutulur.
- Desikatörden çıkarılan numune tekrar tartılır. (C)

$$\%Katı.madde.miktarı = \frac{C - A}{B - A} \cdot 100 \quad (2.22)$$

Yapılan analizi sonucunda %1,3–2,1 arasında olması istenir.

### P/B (Katı / Kül Reçine)

- Numunenin katı ve kül oranları bulunur.
- Aşağıdaki formül ile P/B oranı hesaplanır.

$$P/B = \text{Kül} / \text{Katı-Kül} \quad (2.23)$$

- Yapılan analiz sonucunda P/B oranının 0,090–0,140 aralığında olması istenir.

### 2.7.3 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 çıkartır. Membranlarda tıkanmalara neden olur.

Kataforez sisteminin pH'a bu kadar bağlı olma nedeni, reaksiyon sırasında katot yüzeyi üzerinde Hidroksil grupları (OH-) oluşur ve pH yükselir böylece topaklanan boya yüzeye çökerek yapışır.

Analizler günde 1 defa yapılarak kayıt altına alınır.

### 2.7.4 İletkenlik kontrolü

Boyanın iletkenliği, boyanın akımı geçirme gücünü gösterir. Kaplama kalınlığını etkiler. Çalışan bir banyoda iletkenlik, ortaya çıkan çözünür tuzlar, polarize solventler ve asitler nedeniyle hep yükselme eğilimindedir.

İletkenlik, sistemden asit iyonlarının uzaklaştırılması veya UF atılmaları ile dengelenir. Banyonun iletkenliğini değiştirmek için solvent miktarı yükseltilir veya katyonik gruplar (NH+) artırılır veya banyo sıcaklığı yükseltilir.

Kalibre edilmiş iletkenlik ölçme cihazı ile ölçüm yapılmalıdır. İletkenliğin 800–2500 mS aralığında olması istenir.

Analizler günde 1 defa yapılarak kayıt altına alınır.

### **3. KATAFOREZ KAPLAMA YERİNE KULLANILABİLEN DİĞER PROSESLER**

#### **3.1 Yaş Boya Uygulamaları**

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 sistemler (Air atomization)
- Havasız sistemler (Airless)
- Hava ceketli sistemler (Air-coat)
- Elektrostatik sistemler

##### **3.1.1 Havalı sistemler**

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

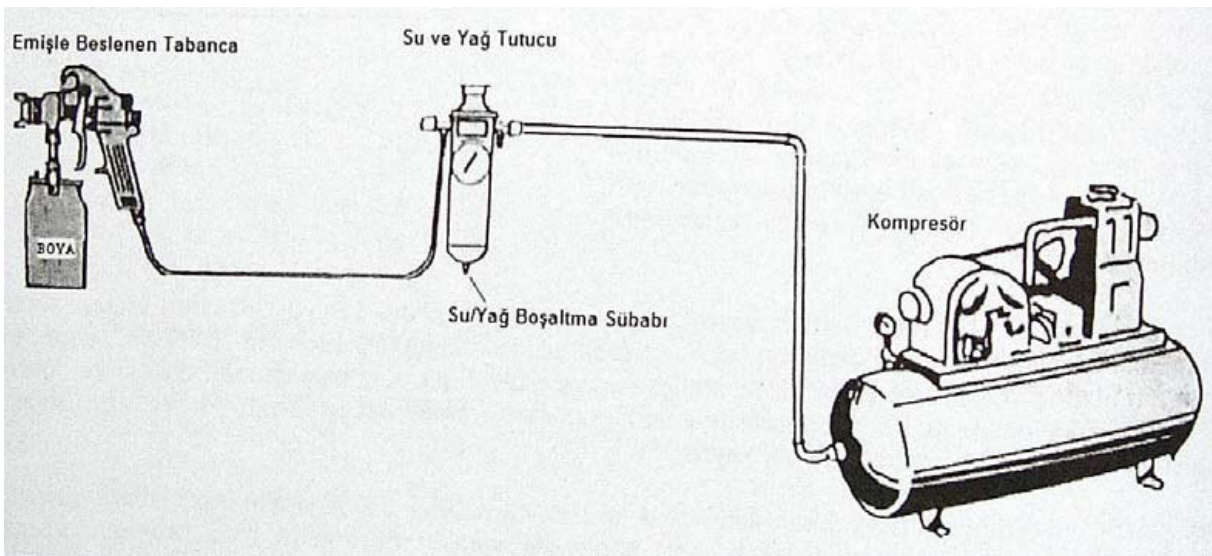
Diğer yandan, konvansiyonel hava sistemleri düşük seviyede transfer verimine sahiptir. Sık olarak, parçada, gerçekte ortaya konan miktarın üzerinde malzeme kaybı oluşur. Bu durum genellikle aşırı basınç ve operatör hatalarından kaynaklanır. Ayrıca bu sistem, yüksek miktarlarda basınçlı hava tüketir. (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.

Yüksek basınçlı havanın, hava nozulunun, yüzünden ve boynuzlarından ekstra fişkırması küçük damlacıkları yönlendirir ve eliptik veya pervane püskürtme oluşturulur.

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



Şekil 3.1 Havalı püskürtme uygulamasının temel elemanları

## **Boya Besleme Sistemleri**

Havalı sistemlerde, yaklaşık olarak üç farklı boya besleme sistemi mevcuttur.

1. Kendinden akmalı: Boya tabancasının üstüne monte edilmiş boya kabından boya; basınçlı havanın tabancaya akışında, boya üzerinde bir miktar emiş harcasa bile, tabancaya kendi ağırlığıyla beslenir. Bu sistem, sık renk değişimleri, özel boyalar, cila ve bir miktar yüksek viskoziteli boyalarda kullanılmaya uygundur.

2. Emme Beslemeli: Burada ise boya kabı, tabancanın altına monte edilmiştir. Boya, tabancaya, boya ve hava nozulunun önünde oluşan vakum yardımıyla emilir. Bu yöntem de kendinden akmalı besleme gibi sık renk değişimlerinde ve az miktarda parça boyanmasında uygun bir tercihtir. Maliyeti düşük, bakımı kolay ve bakım masrafları düşüktür. Operatör, boyayı tabancayla taşıdığından ağırlık ve miktar sorunu ortaya çıkar. Sadece hafif ve az parçaların boyanmasında kullanılır.

3. Basınçlı Besleme: Bu metot gerekli kapasiteye göre üç şekilde kullanılabilir.

Boya kabı tabancanın hemen altında, basınç besleme tanklı, düşük basınç pompalı veya boya dolaşım sistemli.

### **3.1.2 Havasız Sistemler**

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 geçirilerek (0,1778 – 0,1829 mm.) yüksek basınçlara çıkarılır. (1360 bar). 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. Fan açısı (7 – 53 cm.) ve orifis ölçüsü önseçimle belirlenir. Fakat farklı püskürtme açıları, farklı alanlarda aynı miktarda boya tüketebilirler. Bu konudaki güvenlik kuralı en büyük fan açısını ve en küçük orifis ölçüsünü belirlemektir. 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 yapılabilenekte,

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 viskozitelere 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 kapta 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.

### **3.1.3 Hava ceketli sistemler**

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. Basıncılı 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 yardım 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

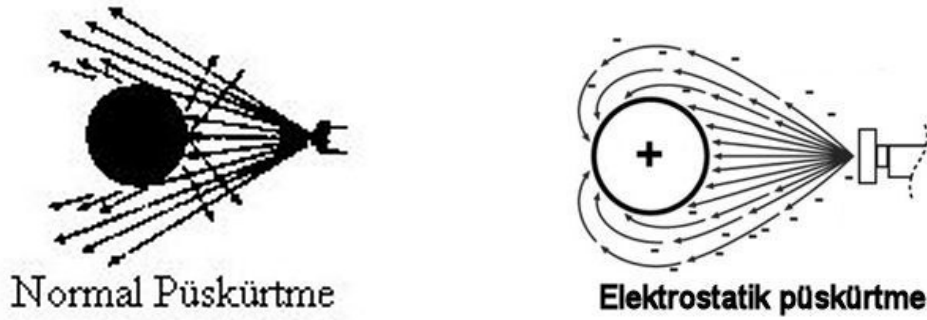
### **3.1.4 Elektrostatik Sistemler**

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.

Her zerrecik, negatif olarak 0–140 KV' ve 0–200 mA'e kadar yüklendiği andan itibaren, en yakın topraklanmış maddeyi arayacaktır. Eğer iş parçası yeterince topraklanırsa, parçaya vuramayan zerrecikler bu sefer gerileyerek, parçaya çekilecektir. Bu etkiye genellikle sarma etkisi denir. Püskürtme tabancasından çıkan hava iyonize olmaz ve yoluna devam eder.

### 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 kabinde hava hızı 1,5m/s den, 0,3m/s'ye kadar azaltılabilir. Bu da hava hazırlama maliyetlerinde, dolayısıyla emisyon miktarında %40 azalma demektir.

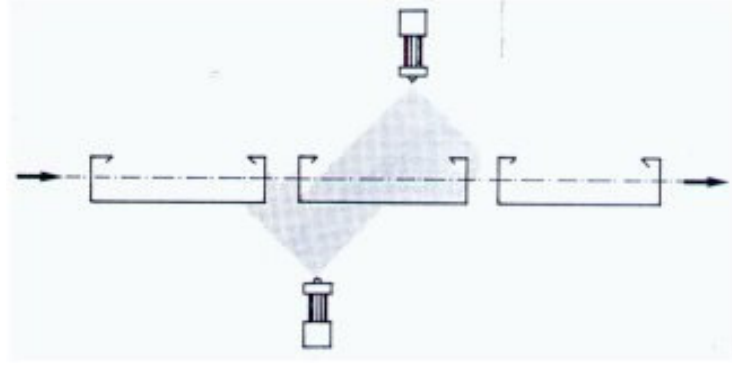


Şekil 3.2 Elektrostatik püskürtmenin etkisi.

#### 3.1.4.1 Elektrostatik Püskürtmede Yaygın Olarak Kullanılan Boya Tatbik Sistemleri

##### Elektrostatik Tabancalar

Elektrostatik boya tabancaları, elektrostatik boyamanın avantajlarıyla (boya kazancı vb.) 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 elektrikselsel 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.



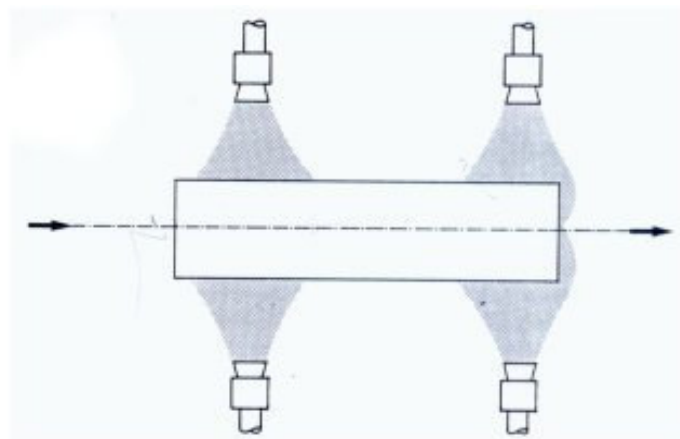
Şekil 3.3 Elektrostatik püskürtme uygulaması

### Dönel Atomizörler

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

### Çan tipi püskürtme (High Speed Bells)

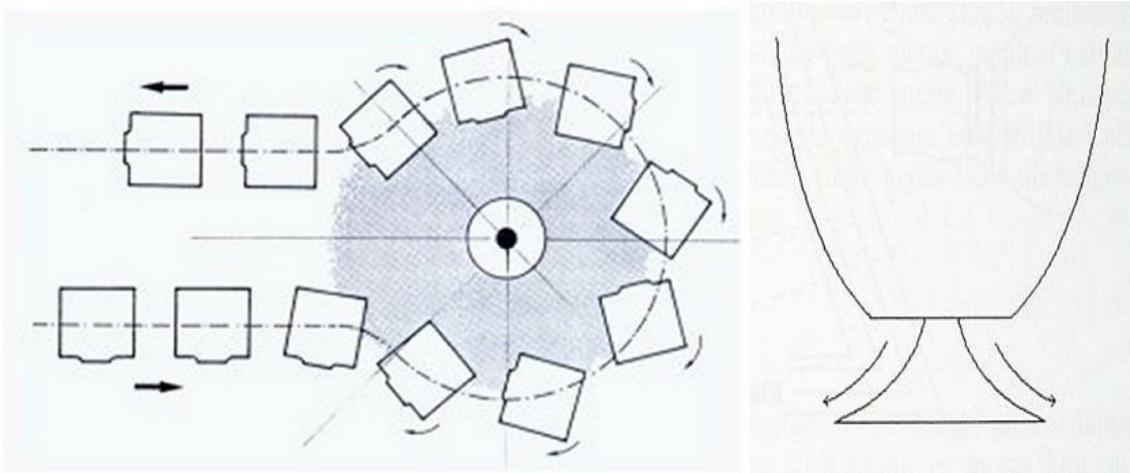
Yüksek hız çanları (bells), elektrikli veya türbin sürücüleriyle dönen metalik fincanlardır. Çalışma esnasında, devirleri 40.000 d/d 'ya kadar çıkar. Boya, çan ağzında çok küçük parçacıklara tozlaştırılır ve elektriksel olarak yüklenir. Boyanacak parçalar düz bir hat üzerinde bir konveyör aracılığıyla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



Şekil 3.4 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 3.5 Elektrostatik disk tipi püskürtme uygulaması.

### 3.2 Toz Boya Uygulamaları

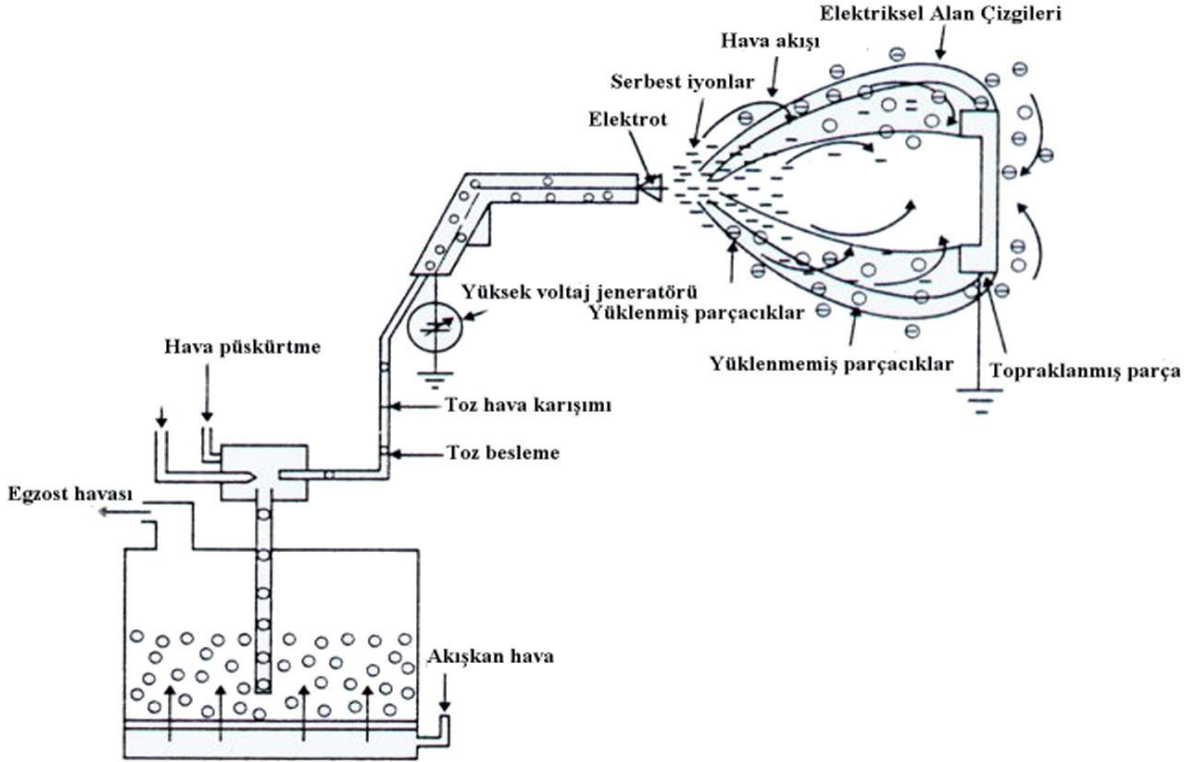
Günümüzde artık tüm toz boya uygulamalarında elektrostatik püskürtme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde genellikle toz taneleri elektrik yüklenirken kaplanacak malzeme topraklanmaktadır. Oluşturulan bu elektriksel çekim, boyanacak malzeme üzerinde gerekli kalınlıkta bir toz tabakası birikmesine yetecek uygunlukta olmalıdır. Böylece daha sonra eriyerek yüzeye yapışacak olan tozun boyanacak yüzeye tutunması da sağlanmış olur. Toz taneciklerinin elektriksel yüklenmesinde aşağıda belirtilen iki teknikten biri kullanılır.

- Tozun yüksek voltajlı bir elektrostatik alandan geçirilmesi suretiyle sağlanan geleneksel elektrostatik boyama yöntemi (Corona Yöntemi)
- Toz tanelerinin yalıtkan bir yüzeye sürtünmesi suretiyle elektrostatik yüklenme olan sürtünme yüklenmesi yöntemi (Tribomatik Yükleme)

### 3.2.1 Geleneksel Elektrostatik Yükleme

Püskürtme tabancasının namlusu ucunda toplanan yüksek voltaj (40–100 kV) tabancadan geçen havanın iyonize olmasına sebep olur. Bu iyonize ortamdan geçen tozun bir kısmının bu iyonlarla yüklenmesi sayesinde tozun belli bir oranda negatif yük ile yüklenmesi sağlanır. Bu esnada püskürtme tabancası ile boyanacak malzeme arasında; negatif yüklenmiş toz taneleri, yüklenmemiş toz taneleri ve serbest iyonlar bulunacaktır. Bu işlemin en dikkat edilmesi gereken yanı, mümkün olduğu kadar yüksek oranda toz tanesinin yüklenmesinin sağlanmasıdır. Püskürtme mekanizmasınca kullanılmakta olan yükleme metodunun cinsi başarıya önemli katkıda bulunacaktır. Yüklenmesi sağlanamayan toz taneleri malzeme yüzeyine tutunmayarak kabinde geri dönüşe yönelecektir. Her ne kadar bir miktar tozun kabinde yeniden dönüşü kaçınılmaz ise de geri dönüşe katılan toz miktarının minimum seviyede tutulması tercih edilir. Serbest iyonlar toz tanelerine nazaran küçüktürler ve çok daha hızlı hareket ederler. Serbest iyonların çok fazla olması durumunda bu iyonlar boyanacak malzemeye hızla taşınarak malzemenin negatif yüklenmesine sebep olabilirler. Serbest iyonların miktarı uygulanan voltaja bağlıdır. Gereğinden fazla voltaj uygulamak, ortamda gereğinden fazla iyon neden olacağından iyi bir boyama işini güçleştirecek, en azından zayıf bir yayılmaya sebep olacaktır (karşı iyonizasyon). Bu esnada malzemenin yetersiz topraklanmış olması işlemi daha da güçleştirir. Kullanılan yüksek voltaj, püskürtme tabancası ile boyanacak malzeme arasında elektrik alanları yaratır. Toz tanecikleri, bu alanları takip etme eğilimindedirler. Karmaşık şekillerdeki malzemelerin dış kenarlarında ve özellikle dış köşelerinde daha yoğun elektrik alanları oluşur. Buna karşılık iç köşeler ve girintilerde elektrik alanları daha seyrek olur. Aşağıdaki diyagramda gösterildiği gibi elektrik alanlarının seyrek olduğu bölgelere toz tatbikatının güç olması Faraday Kafesi etkisine bağlanmaktadır.

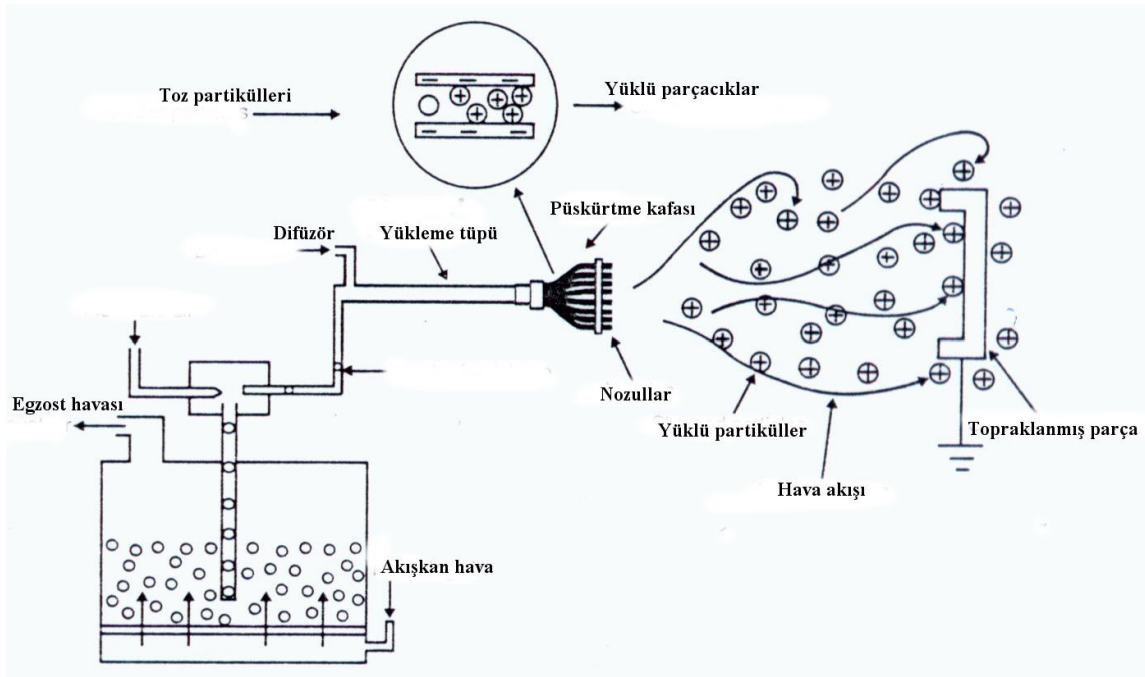
Voltajın yükselmesi daha güçlü bir Faraday Kafesi etkisi meydana getirir. Bu da ulaşılması kolay bölgelerde daha kalın, ulaşılması güç olan bölgelerde daha ince bir kaplamaya sebep olur. Voltajın azaltılması, kural olarak karmaşık şekilli malzemelerin boyanmasında daha eşit bir boya kalınlığı sağlar. Püskürtme tabancası voltajının, tozun en uygun miktarda yüklenmesini sağlayacak seviyede ayarlanması önemlidir. Gereğinden fazla elektrostatik voltaj kullanılmasının istenmeyen birçok etkisi olacaktır. Başarılı bir toz boya uygulayıcısının önemli bir özelliği, en uygun voltaj seviyesini tespit edebilmesidir.



Şekil 3.6 Geleneksel elektrostatik yükleme (Corona) prensip resmi.

### 3.2.2 Sürtünme Yüklemesi

Hareket eden toz taneleri, püskürtme tabancasının özel bir malzemeden yapılmış yalıtkan namlusu cidarına hızla sürtünme sonucu yüklenirler. Sürtünme yüklenmesinde, serbest iyonlar ve elektrik alanları üreten yüksek voltaj bulunmamaktadır. Etkili bir sürtünme yüklenmesi, bütün toz tanelerinin püskürtme tabancasının namlusuna çarpmasına bağlıdır. Kural olarak bu etki, tabancaya verilen hava ile toz/hava oranlarının en uygun etkiyi sağlayacak şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Sürtünme yüklenmeli püskürtme tabancaları çoğunlukla toz yükleme işleminin dolaylı ölçümünü sağlayan bir mikroampermetre ihtiva ederler. Bu akım ölçümü, püskürtme tabancasından geçen toz miktarı ile orantılı olduğundan yüksek bir mA okuması iyi bir kaplama sağlanacağına işaret etmez. Önemli olan tabancadan çıkan yüklü tanecik miktarının yüklenmeden çıkan tanecik miktarına oranının yüksek olmasının sağlanmasıdır. Uygulama başlar başlamaz boyanacak malzemeye tutunacak tozun, atılan toza oranına bakılarak uygulama verimliliği hakkında bir şey söylemek mümkündür. Uygulama verimliliğinin en yüksek düzeyde olması, teknik ve ekonomik birçok fayda sağlamaktadır.



Şekil 3.7 Sürtünme yüklemesi (Tribo) prensip resmi.

Çizelge 3.1 Toz yüklemesi prensipleri mukayese tablosu

| Öncelikli Etkiler     | Corona Sistem   | Tribomatik Sistem   |
|-----------------------|---|---|
| Faraday kafesi etkisi | Yüksek. İç köşelerin ve girintili bölgelerin boyanmasında güçlük                    | Yok. Kaplama kalınlığı daha eşit.   |
| Karşı iyonizasyon     | Yüksek. Yayılmayı kötü etkiler.   | Az. Daha ince ve düzgün yayılma.  |
| Boyama tekniği        | Tabanca başına daha fazla toz uygulama imkânı. Tesis şartlarına daha az bağımlılık. | Tabanca başına daha az toz uygulama imkânı. Uygulama şartlarına daha fazla bağımlılık |
| Toz özellikleri       | Her tür boya ile uygulanabilme  | Sisteme uygun toz boya gerektirir.  |

Bütün toz kaplama işlemlerinde toz, içinde dağılmış olduğu hava ile birlikte kaplanacak malzemeye mümkün olduğu kadar yakından tatbik edilir. Toz taneleri ile boyanacak malzeme arasındaki elektrostatik çekimin gücü, aralarındaki mesafenin karesi oranında azalır ve aralarındaki mesafe sadece birkaç santimetre olduğunda toz malzemeye doğru çekilir.

Püskürtme tabancasının doğru yerleştirilmesi, aynı zamanda toz boya içindeki iri ve ince tanelerin kullanılmamış boya içindeki oranları ile malzemeye yapışmasını sağlar.

#### **4. BOYAMA TESİSLERİNDE BULUNABİLECEK ÜNİTELER VE TANIMLARI**

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 parçaların taşınması (handling) fonksiyonu ilave edildiğinde tesis tasarımı için gerekli tüm ana biçimlenme tamamlanmış olur. Dolayısıyla bir tesisteki ünite ve sistemleri

- Taşıma (Handling) Sistemleri
- Yüzey Hazırlama Sistemleri
- Boyama Sistemleri

grupları adı altında inceleyebiliriz.

##### **4.1 Taşıma (Handling) Sistemleri**

Kısaca, bir parçanın tesisin yükleme noktasından boşaltma noktasına kadar komple bir çevrim sırasında taşınması olarak tanımlanabilir. Uygulama da yaygın olan taşıma yöntemleri;

- Havai konveyör ile taşıma
- Ceraskal ile taşıma
- Robot konveyör ile taşıma
- Manüel taşıma
- Yer konveyörü ile taşıma

olarak genel bir sınıflandırmaya tabi tutulabilir.

##### **4.1.1 Havai konveyör ile taşıma**

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.

Uygun konveyör seçiminde önemli adımlardan bahsedecek olursak;

Konveyör hattı, uygulanan süreçlere göre şekillenir. Üretim hızı da seçimimizi etkiler. Saatteki üretim miktarı, konveyör sisteminin ilerlemesi hangi hızda olacak, fırında ne kadar kalacak, konveyör hattının boyama işlemlerinde durması gerekiyor mu? vb. soruların cevaplarının bilinmesi gerekir. Ürünün boyutları da konveyör sistemi için önemlidir. Taşıyıcı ya da askı sistemi, tasarımda sonuçlandırılacak parçaların başında gelir. Yükleme ve boşaltma yöntemlerinde dikkat edilmesi gerekli hususlardandır. Buna rağmen ürünler genelde, manüel, otomatik veya robotlu konveyörler kullanılarak yerleştirilir, gönderilir.

Konveyörleri iki tip olarak inceleyebiliriz.

#### 4.1.1.1 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.



Şekil 4.1 Webb ve Kardan tip Konveyör zinciri

#### 4.1.1.2 Power and free tip

Bu sistemlerde bir yerine iki ray bulunur. Raylardan biri, sürekli hareket eden zinciri taşır, diğeri ise troleylere destekler. Trolleyler zincir tarafından itilirler ama 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 yüklemekten süreçlere nakliyede, süreç arası boşluklarda kullanılabilir.

Bu sistemlerin diğer bir avantajı da, askı gruplarının esnekliğidir. Örneğin bir yükleme veya boşaltma istasyonunda zincir ve askı grupları ilerlerken tek bir askı grubu durdurulup işlem basitleştirilebilir. Şekil 5.2’de görüldüğü üzere askı grupları biriktirilebilir. Boyama sistemlerinde farklı süreçler ve renkler uygulandığında bu özellik büyük önem kazanır.



Şekil 4.2 Power+free tip Konveyör Uygulaması

#### 4.1.1.3 Ceraskal ile taşıma

Daldırma sistemlerinde uygulama sahası bulunan bir manüel taşıma sistemidir.

#### 4.1.1.4 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.

#### 4.1.1.5 Manüel sistemler

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

#### 4.1.1.6 Yer konveyörü

Parça veya parçanın yüklendiği araba, yere döşenmiş, tahrikli bir zincir tarafından çekilir.

### 4.2 Yüzey Hazırlama Üniteleri

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

- Fosfat Tüneli ( Püskürtme ile yapılan yüzey hazırlama )
- Yüzey Hazırlama Kabini ( Püskürtme uygulaması )
- Yüzey Hazırlama Banyoları (Daldırma uygulaması )
- Kurutma fırını

#### 4.2.1 Fosfat Tüneli (Püskürtme ile yapılan 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. Buharlaşan 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 diğerk bir fonksiyonel eleman grubu da vestibüllere yerleştirilen fog-jetlerdir. Bir püskürtme bölümünden diğerkine 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.

#### **4.2.2 Yüzey Hazırlama Kabini ( Püskürtme uygulaması )**

Püskürtme tatbikatının bir diğerk şeklinin uygulandığı ünedir. Çalışma şekli, buhar jeneratörüne irtibatlandırılmış bir veya iki tabanca vasıtasıyla atomize edilen solüsyonun parça üzerine püskürtülmesini sağlayan ve konveyör veya manüel sistemlerde kullanılabilen bir ünedir.

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 birlikte dışarı atılan hava telafi edilmeye çalışılır.

#### **4.2.3 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 kullanılır 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.

#### **4.2.4 Kurutma fırınları**

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

Fırınların ısıtılmasında ısı jeneratörü, kaynar su veya buhar ile beslenen batarya veya ısı ihtiyacının düşük olması halinde elektrikli ısıtıcı rezistanslar kullanılır. Hava, fırın faydalı hacminden ayrılmış farklı bir bölmede bulunan ısıtıcı üniteye ısıtılır ve merkezkaç vantilatörler vasıtasıyla fırın faydalı hacmi boyunca uzanan kanallara basılır. Kanallardaki ayarlanabilir damperler ile de parçalar üzerine üflenerek mekanik ve termik olarak kurutma işlemi tamamlanır.

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

- Sürekli Fırınlar
- Kutu ( box ) tipi fırınlar
- Sundurma (canopy) tipi fırınlar olmak üzere gruplandırılırlar.

#### **Sürekli Fırınlar**

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 giriş ve çıkışına konulan merkezkaç vantilatörler yardımıyla bir hava dolaşımı yapılarak fırın içerisindeki sıcak havanın dışarıya kaçması önlenir ve dolayısıyla da bu bölgelerden ısı kaybı minimuma indirilmiş olur. Ancak geçiş yapmakta olan parçanın genişliği 100 mm. veya daha az olduğu takdirde, ısı kaybının ihmal edilecek derecede düşük mertebede kaldığı ve dolayısıyla hava perdesine gerek duyulmadığı bilinen bir uygulamadır.

Sürekli fırınların bir diğer tipi de drying – blowing fırınıdır. Bu tipler parça yüzeylerinin düz ve basit olduğu hallerde kullanılırlar. Diğer fırınlardan farkı üfleme hızının yüksek oluşu ve giriş ve çıkışta hava perdesi olmamasıdır. Ayrıca bu fırınlarda hava üfleme şeklinden dolayı

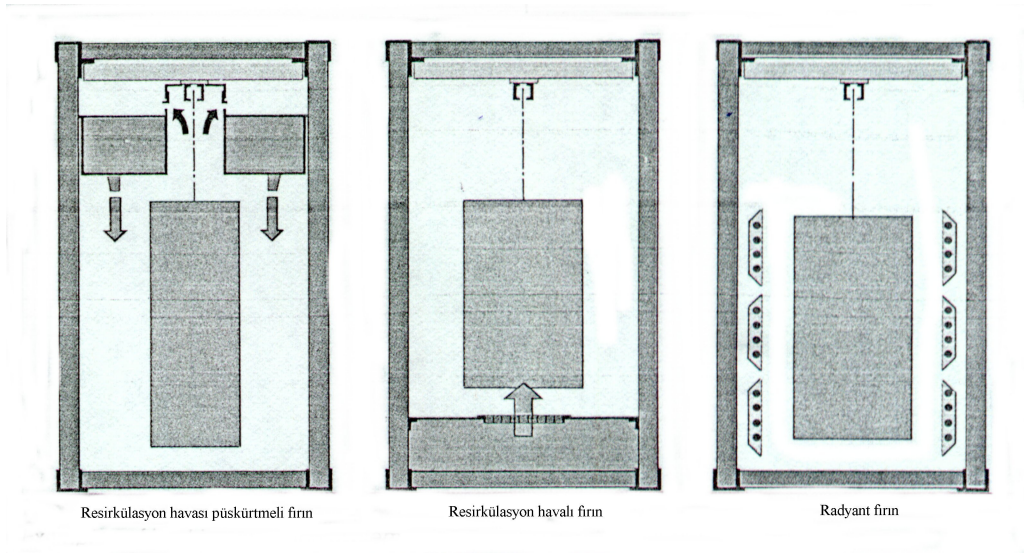
fırının bir geçişli olması gerekmektedir. Drying – blowing fırınlar, konveyör hızının yüksek olduğu hallerde fırın boyunu kısaltmaları sebebiyle tercih edilirler.

### **Kutu ( box ) tipi fırınlar**

Arabalı veya raylı sistemlerde kullanılırlar. Üfleme şekline göre değişik tipleri mevcuttur. Sürekli fırınların kurulamadığı, değişik ebatlı ya da düşük sayıdaki imalatlarda tercih edilirler.

### **Sundurma (Kanopi) tipi fırınlar**

Hava perdesi kullanılmayan durumlarda (toz boyanın tahrip olabilmesi) fırın bir platform üzerine kurulur. Konveyör hattı fırın girişinden hemen önce yükselmeye başlar ve fırın öncesinde oluşturulan kapalı alanda fırın yüksekliğine ulaşır. Bu aşamada ısı geçişini önleyici plakalar mevcuttur. Bu sistemde fırın havasının dışarıya kaçışı verimli bir şekilde engellenmiş olmaktadır. Ayrıca üfleme kanallarının fırın girişine çok yakın konulmasına dikkat edilir.



Şekil 4.3 Kurutma fırınları uygulama şekilleri.

### 4.3 Boyama Üniteleri

Uygulamanın daldırma veya püskürtme oluşuna göre,

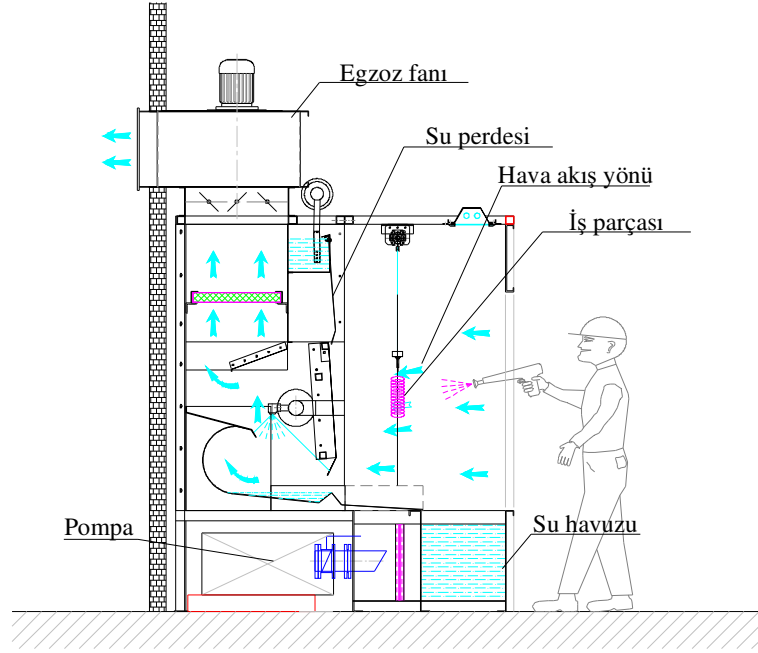
- Su Perdeli Boya Kabinleri
- Kuru Filtreli Boya Kabinleri
- Down-Draft Tipi Boya Kabinleri
- Otomatik (Disk) Boyama Kabinleri
- Daldırma Boya Tankı
- Toz Boyama Kabinleri

#### 4.3.1 Su Perdeli Boya Kabinleri

Püskürtme uygulamalı sistemlerde en çok kullanılan ünedir. Püskürtülen boya fazlası, kabinin arka tarafında devamlı olarak dolaştırılan bir su perdesi tarafından taşınırken, püskürtme sonucu boya zerrecikleri ile yüklenen çevre havası bir vantilatör yardımıyla emilerek dışarı atılır. Vantilatörün emişinden önce, bir toplayıcı üzerine yerleştirilmiş bulunan nozullardan geçiş yapmakta olan hava üzerine su püskürtülerek bir ön yıkama yapılır. Dolaştırılan su, boya zerrecikleriyle kirlendiğinden, her ne kadar filtre ediliyor ise de, zamanla değiştirilmelidir.

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.

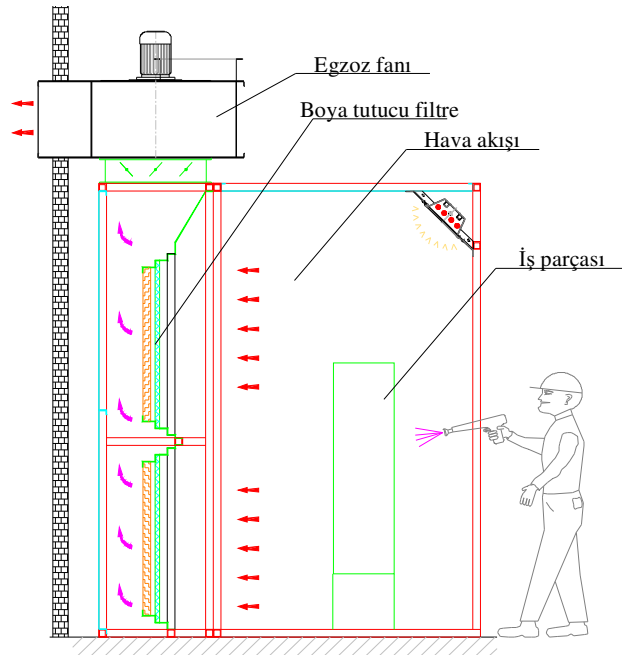
Su havuzunun yapısına göre de farklı tiplerde imal edilirler. Su havuzunun öne doğru uzantılı olarak inşa edildiği tip ve su havuzunun saç kasa içerisinde zeminde açılan beton havuza yerleştirildiği tip ve su havuzu olarak sadece zeminde açılan beton havuz kullanılan tip olarak üçe ayrabiliriz. Su havuzu öne doğru uzantılı tipte zeminde boya toplanması önlenmiş olur. Diğerinde ise su havuzu saç kasa içerisinde zeminde açılan bir beton havuz içine yerleştirilir ve uzantı kısmında ızgara bulunur.



Şekil 4.4 Su perdeli yaş boya kabini prensip resmi.

#### 4.3.2 Kuru Filtreli Boya Kabinleri

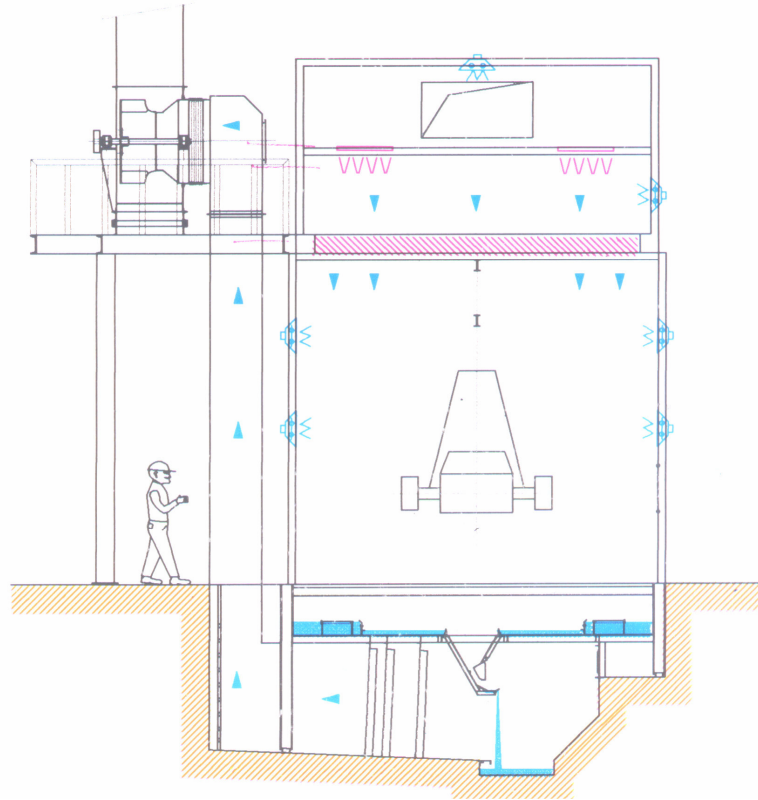
Prensip olarak su perdeli boya kabinlerindeki hava emiş tiplerine benzer şekilde çalışır, ancak filtreleme kuru filtre ile yapılır. Genellikle boyanacak parça sayısının az olduğu düşük kapasiteli tesislerde kullanılır.



Şekil 4.5 Kuru filtreli yaş boya kabini prensip resmi.

### 4.3.3 Aşağıya doğru hava emişli (Down-Draft) 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 4.6 Down draft tipi yaş 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.

#### 4.3.4 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.

#### 4.3.5 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 aksenel 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.

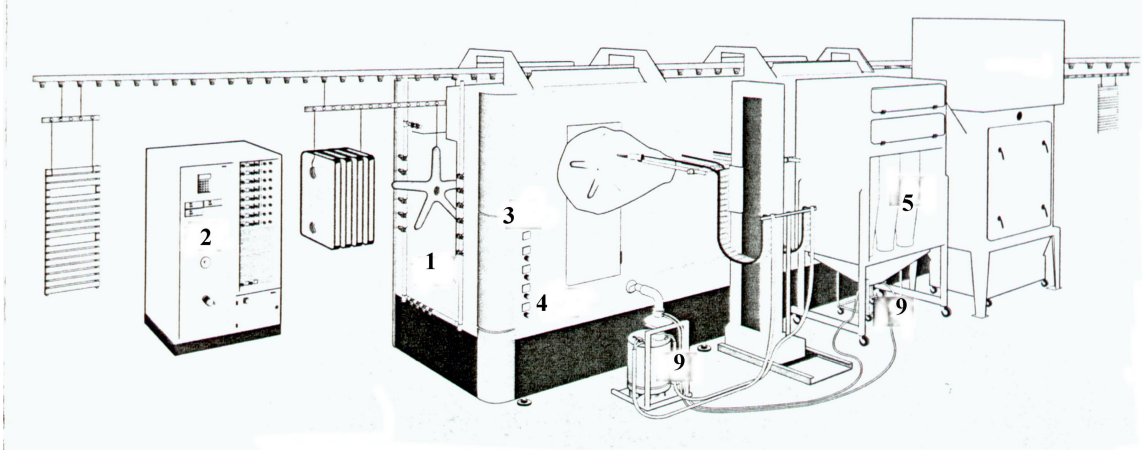
#### 4.3.6 Toz Boyama Kabinleri

Bir toz boya kabini iki genel amacı sağlamalıdır. İlki, toz ve hava karışımının minimum patlama konsantrasyonuna ulaşmasını engelleyecek miktarda, kabinde yeterli havayı sağlamaktır. İkinci olarak da, bu karışımdan toz boyayı ya yeniden kullanılacak ya da gerektiği gibi uzaklaştıracak şekilde ayırmaktır.

İlk toz dönüşüm sistemli kabinler gürültülü siklonlu kabinlerdi. Dolayısıyla bu sistem konvansiyonel ya da siklon sistemler olarak adlandırılır. Bu sistemler bugün de geniş bir kullanım alanına sahip olmakla beraber, ihtiyaçlar doğrultusunda farklı sistemler de geliştirilmiştir.

Toz boya kabini, toz boya uygulama prosesinin gerçekleştirildiği bir karkas sistemidir. Bu kabin iskeletine bir geri dönüşüm sistemi de dâhildir. Bu geri dönüşüm sisteminde yer alan

fan vasıtasıyla kabin dışından hava emişi gerçekleştirilerek malzemeye yapışmayan boyanın kabin dış ortamına yayılması önlenir. Ayrıca emilen hava içerisinde yer alan toz partikülleri bir merkezi toz toplama ünitesine gelir. Buradan tekrar toz boya tabancasına beslenerek boyanın neredeyse tamamının kullanılması sağlanmış olur. (Şekil 5.6)



Şekil 4.7 Toz boya kabini prensip resmi

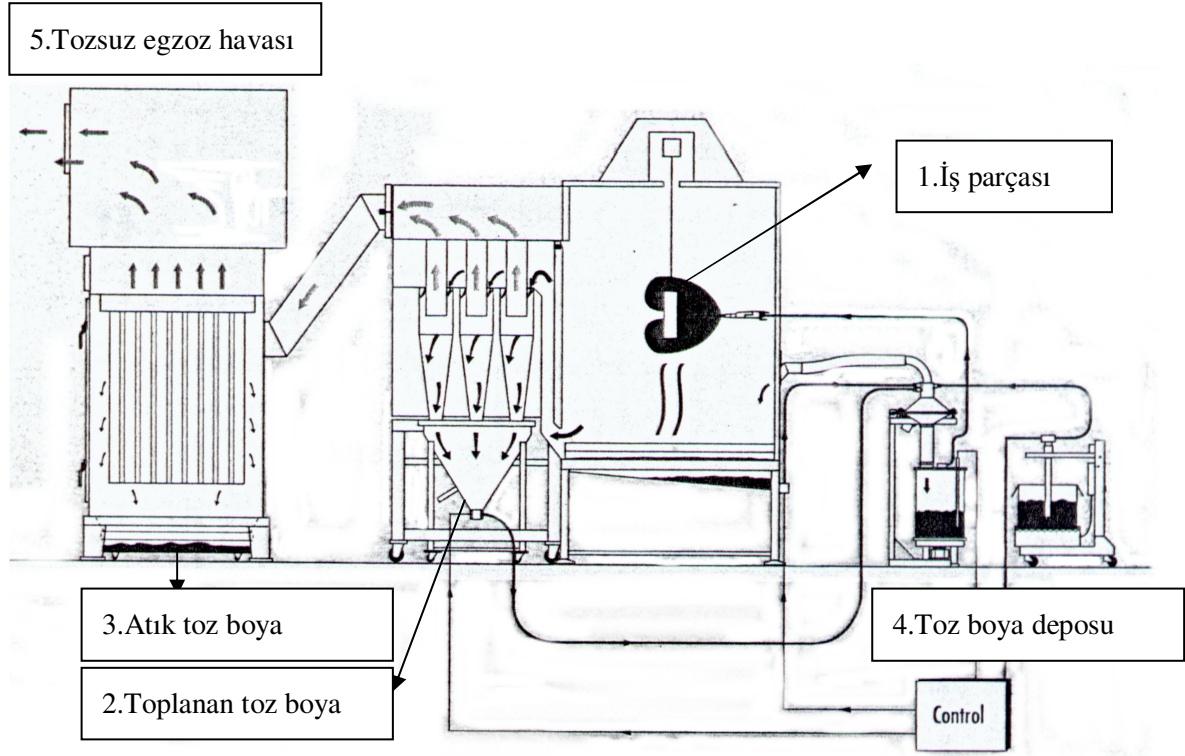
Bu sistemlerin en basit şekli, durağan bir ürüne bir operatör vasıtasıyla toz boya uygulanması şeklinde olabilir. Diğer tip tasarımlarda ise iş parçaları kabin içerisinden geçirilir ve bu esnada ihtiyaca bağlı olarak karşılıklı iki operatör, otomatik uygulama ya da her ikisinin kombinasyonu şeklinde oluşturulur. En uygun toz boya uygulama sisteminin belirlenmesinde, boyanacak parça özellikleri, renk değişim sıklığı, bitirme kalitesi gibi önemli rol oynayan başlıca etkenleri göz önünde tutmaktadır. Çoklu siklonlu tip toz boya kabin sistemi, sık renk değişimlerinin gerektiği durumlarda en verimli çalışma şeklidir. Tek renk ya da çok az renk değişimleri söz konusu olduğunda filtreli kabinler tercih edilir.

Boyama esnasında kabin tabanında biriken toz boya kabine monte edilen motor redüktör tahrikli toz süpürme sistemi ile kabinin iki uç kısmında bulunan toz toplama bölgesine toplanır buradan akışkan yatak ve enjektörler vasıtası ile toz boya geri kazanılarak taze boya ile karışımı sağlanmaktadır. Bu şekilde kabin zemininde toz birikmesi de önlenmiş olmaktadır.

#### **Çoklu siklonlu toz boya kabini çalışma prensibi**

Tabancalardan çıkan toz boyanın bir kısmı iş parçasının (1) üzerine kaplanır, parça üzerine tutunamayan tozlar emiş fanı vasıtasıyla önce çoklu siklon grubuna gelir. Buradan tutulan tozlar (2) çoklu siklon grubunun altında toplanarak toz boya kovaasına transfer edilerek(4) toz

boya tabancasına ulaşır. Çoklu siklonda tutulamayan toz boya partikülleri (3) ikinci kademede bulunan teflon tip filtrelerden geçerek buradan tutulur. Fan çıkışına konan nihai filtrelerden geçen hava (5) ortama tozsuz olarak verilir. (Şekil 5.7)

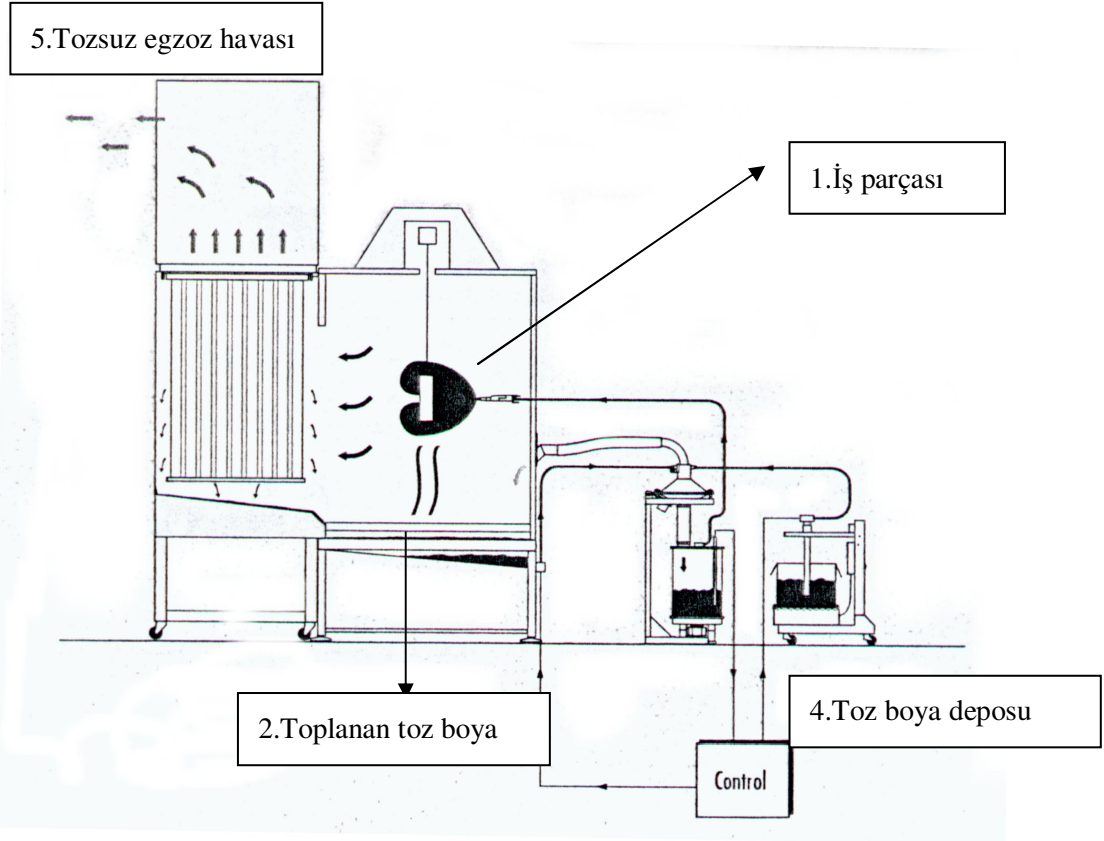


Şekil 4.8 Çoklu siklonlu toz boya kabini hava- boya akış şeması

Teflon filtreler otomatik olarak azami  $6 \text{ kg/cm}^2$  basınçta ters yıkama havası ile belli zaman aralıklarında temizlenir. Filtrelerden dökülen toz boya filtre odası tabanında birikir ve zaman zaman temizlenir. Jet darbe tesiri yapmak üzere kabinin arka tarafında selenoit valfler ve ventüriler bulunmaktadır. Filtrelerin belli zaman aralıklarında temizlenmesi zaman röleleri ile sağlanmaktadır.

### Filtreli toz boya kabini çalışma prensibi

Tabancadan çıkan toz boyanın bir kısmı iş parçasının (1) üzerine kaplanır. Parça üzerinde tutunamayan tozlar emiş fanı tarafından emilerek filtreye gelir. Toz boya filtrenin üstünde kalır, temizlenen hava fan tarafından emilerek nihai filtrenin üzerinden ortama egzoz(4) edilir. Böylece %100 yakın verimle toz boya tutulmuş olur. Filtreler otomatik olarak  $6 \text{ kg/cm}^2$  basınçta ters yıkama havası ile belli zaman aralıklarında temizlenir.



Şekil 4.9 Filtreli toz boya kabini hava- boya akış şeması

Bu ters hava filtrenin üzerine biriken boya tozlarını darbe tesiri ile filtreden uzaklaştırarak toz toplama (2) haznesine dökülmesini sağlar. Filtrelerin belli zaman aralıklarında temizlenmesi zaman röleleri ile sağlanmaktadır. Boya kabininden ve taze toz boya deposundan gelen toz boya mini siklondan geçer ve elekte elenen karışım toz boya deposuna (4) gelir, buradan enjektörlerle toz boya tabancaları beslenir. (Şekil5.8)

## 5. KATAFOREZ KAPLAMA SÜRECİNİN İNCELENMESİ

### 5.1 Giriş

Üretilen, tüketici ya da sanayi kullanımı pek çok metal eşya boyanmaktadır. Bu boya filmi sadece dekoratif amaçlı olabileceği gibi, çoğu durumda malların hizmet/servis süresini de geliştirmektedir.

Boya filmi uygulamasından önce, metal yüzeyler yüzey ön hazırlama işlemi görürler. Yüzey hazırlama işleminin amaçları;

- metal iş parçasını temizlemek,
- boyanın iş parçası üzerine tutunmasını yükseltmek,
- iş parçası ile boyanın reaksiyonunu azaltmak (özellikle galvanizli yüzeylerde)
- korozyon dayanımını geliştirmektir.

Kataforez kaplama öncesi tipik bir yüzey hazırlama prosesi aşağıdaki adımları içerir.

- Yağ alma (bir veya daha fazla adımda)
- Durulama
- Aktivasyon
- Fosfat kaplama
- Durulama
- Pasivasyon
- D.I. durulama

## 5.2 Kaplama Öncesi Kimyasal Yüzey Hazırlama

Metalik malzemeler, özellikle çelik başta otomotiv ve beyaz eşya endüstrisi olmak üzere imalat sanayinde çok önemli bir konumda bulunmaktadır. Çünkü çelik, bu araçların ve makinelerin, hem üretiminde hem de kullanımında gerekli olan birçok özelliğin optimum kombinasyonuna sahiptir. Çelik ayrıca form verme, birleştirme ve montaj için güvenilir ve gelişmiş süreç teknolojilerine sahip olması, basma ve çekme gerilmesine, darbelere, sürtünmeye ve sıcaklığa yüksek dayanımı ve diğer malzemelerle mukayese edildiğinde avantajlı bir maliyet/fayda oranına sahiptir. Genel bağlamda form verme ve imalat süreçlerinde, kimyasal yüzey hazırlama çok önemli bir rol oynar. Belli işletimsel safhaları kolaylaştırmada veya bütünüyle mümkün yapmakta ve bitmiş ürün üzerinde bazı özel işlevleri gerçekleştirilmede görev alır.

İletken yüzeyler için boya öncesi yüzey hazırlama süreçleri seri boyama işlemlerinin ilk günlerinden beri uygulanmaktadır. Boyama işlemi yapılmış ürünlerde daha yüksek kalite elde etmek ve dayanıklılığı ile hizmet süresini arttırmak için dönüşüm kaplamaları sürekli geliştirilmiştir. 1960'larda ise elektro kaplama geliştirildi ve kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta anodik elektro kaplama prosesi ile başlanmış, aynı dönemde dönüşüm kaplama prosesi de benzer şekilde gelişim göstermekteydi. Normal çinko teknolojisi 1970'lerin ortasında son teknoloji ürünü sayılmaktaydı. Sonrasında, katodik elektro kaplama prosesi ihtiyaçlarını karşılamak üzere düşük çinko fosfat teknolojisi geliştirildi. 90'lı yıllarda, iş parçalarında alüminyum alaşım ve çinko kaplı çeliklerin pazara girişi düşük fosfat teknolojilerini değiştirdi. Farklı tiplerde metal iyonlarının asidik ortamda dengeye yakın tutularak, işlem görece metal iş parçası üzerinde çökmesi ile sağlanması olarak açıklanan dönüşüm kaplamalarının temelleri, sabit kaldı. (fosfat solüsyonundaki PH değişikliği ile)

## 5.3 Dönüşüm kaplamaların tipleri

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 Fosfatlama
- Çinko fosfatlama
- Mangan fosfatlama

Demir fosfatlama, 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 (sürfaktan), çoğunlukla, temizleme ve fosfatlama işlemlerinin bir adımda gerçekleştirilmesi için, demir fosfatlama çözeltilerine eklenir. Bu işlem, çözelti kompozisyonuna, sıcaklık ve uygulama metoduna bağlıdır.

Çinko fosfatlama 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 çözümünün kimyasal düzenlemesine ve işletme şartlarına bağlıdır.

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

Demir ve çinko fosfatlama sprey ya da daldırma yöntemleriyle gerçekleştirilir. Mangan fosfatlama ise sadece daldırma tekniği kullanılarak gerçekleştirilir.

## **5.4 Kimyasal Yüzey Hazırlama Adımları**

### **5.4.1 Yağ alma**

Yağ alma yüzey hazırlama prosesinin ilk adımlarında gerçekleştirilir. Yüzeyin temizliği sonraki adımların hepsini etkilediğinden, boya öncesi hazırlığın en önemli safhası olarak düşünülebilir. Yağ alma işlemi önceleri çok farklı yöntem ve ürünlerle gerçekleştirilmiş olsa da günümüzde çevresel endişeler sebebiyle sadece sulu çözeltiler yaygın olarak kullanılmaktadır. Temiz yüzey, yüzeyde hiç bir şekilde yağ, gres ve her türlü kirleticilerden arındırılmış yüzeydir. Yeterli metal temizliğini belirlemenin en kolay ve gelenekselleşmiş yolu, iş parçası yüzeyinde su taneciklerinin yüzeyde birbirinden ayrılarak bombe yapması ve parçanın kurummasının gözlenmesidir. Bu gözlemin, fosfatlama öncesi son durulama çıkışında yapılması uygun olup, aktivasyon ve fosfatlama işlemlerinde yüzeyin tamamen ıslatılacağından emin olunabilir. Bu da kataforez kaplama öncesi herhangi bir iz ve kusur olmaksızın bir biçimli bir yüzey hazırlamaya imkân tanır.

Sulu kimyasal temizleme karmaşık bir mekanizma ile görev yapar.

- Islatma - Yüzey aktif maddeler metal yüzeyindeki yüzey gerilimini düşürürler.
- Emülsiyonlaştırma – Aynı ıslatıcı yüzey aktif madde ile gerçekleştirilir. Sulu çözelti içinde yağ damlacıklarının kararlı bir asılmasının yaratılmasıdır.
- Sabunlaşma - Şimdiye kadar mevcut yağlı asidik kirler ile alkali temizleyen bileşenlerin tepkisi, temizlemede yardım eden sabunlarla sonuçlanır.
- Çözündürme - Çözülebilir kirlerin basit ayrılması.
- Çıkarma – Yüzey aktif madde aktivitesi ile kirin yüzeyden ayrılması.
- Mekanik etki – Sprey basıncı ya da karıştırma yardımı ile kirlerin fiziksel olarak metal yüzeyinden uzaklaştırılması.
- Sekestrasyon – Özellikle sertliği yüksek suda bulunan temizleme işlemini güçleştiren tuzların etkinliğini giderme.
- Deflokülasyon – Kir, çözünür ve yığılma ve tortulaşmayı engellemek için kararlı bir dağılımı sürdürmek için asılı kalır.

Uygun temizleyici seçiminde çeşitli faktörler göz önüne alınır. Başlıcaları, uygulama şekli, kirler, solüsyon sıcaklığı ve temizlenecek olan metal olarak sayılabilir.

Temizleyicinin püskürtme ile veya daldırma ile uygulandığı önemlidir. Püskürtme temizleyici kullanıldığında köpürtücü yüzey-aktif madde içermemesi veya formülasyonunda köpük giderici bulunmalıdır. Yine püskürtme temizlemenin çarpma etkisi, temizleyici verimliliğinde önemli bir artış sağlar. Daldırma tip temizleyicilerde, çarpma etkisi olmadığından, daha yüksek konsantrasyon ve sıcaklıklarda çalışılır. Buna rağmen püskürtme temizlemede de bazı sınırlamalar vardır. Askıya asılması zor küçük parçaların püskürtme esnasında tankın içine düşmesi gibi sebeplerden püskürtme basıncı genellikle 2 bar'ın altında tutulur. Püskürtme uygulaması, daha çok borulama, yeter kapasitede bir pompa, dağıtım boruları ve birçok püskürtme memesi gerektirir. Bu ekipmanlar da sık bakım, günlük ve haftalık temizlik ve kontroller gerektirir. Sıcaklığı muhafaza etmek için de daha çok enerji gerektirir.

Daldırma temizlemenin kesin avantaj ve dezavantajları vardır. Karmaşık geometrili parçalar daldırma ile temizlemeye daha uygundur. İç yüzeylerdeki kirler ve malzeme talaşları daldırma yöntemi ile daha rahat çıkartılır ve yıkanır. İlave olarak, tesisat daha basittir. Dezavantajları tank ölçüleri ve fiziksel etki olmamasıdır.

Metal malzemelere uygulanacak temizlik malzeme üzerindeki kirler ile de önemli oranda ilgilidir. Bunun anlamı, üretim proseslerinin kontrolü, bu proseslerde kullanılan malzemelerin

özellikleri, malzemenin bekleme süresi kontrolü, malzemenin temizliğini etkileyebilir. Bazı ağır şekillendirme süreçleri, örneğin tel ve boru şekilli parçalar uzaklaştırılması zor malzemeler kullanılmaktadır. Başarılı bir çıkarma işlemi için, sıklıkla daha yüksek sıcaklık, alkalilik ve konsantrasyon gereklidir. Bazı yağlar ve gresler fazladan tedbirler gerektirir. Eğer metal parçalar oksitlenmesine müsaade edilirse veya uygun olmayan yağlarla reaksiyona girerse, temizlenmesi çok zor yüzeyler yaratılmış olur. Bu şartlarda, zorlu bir durum var ise, genellikle hat dışı bir ön temizleme ile pas alınmalı veya tepkenler giderilmelidir. Genellikle, üretim süreçlerinde kolayca uzaklaştırılabilecek yağların kullanılması en iyisidir. Yüzey işlem öncesi kısa süreli bekleme boyunca korozyonu önleyebilmeli ve depolama operasyonlarında ilk giren ilk çıkar prensibi uygulanabilmelidir.

### **Genel uygulama**

Yağ alma işlemi tek bir adımda gerçekleştirilebileceği gibi çoklu adımlarda uygulanabilir. En basit düzenleme bir yağ alma banyosunu takiben bir durulama banyosu, ardından ön işlem (fosfatlama), ikinci bir durulama ve dinginleştirme (pasivasyon) şeklindedir. Genellikle püskürtme uygulaması 1–3 dakika arasında uygulanır. Daldırma uygulama ise 3–6 dakika arasında uygulanır. Durulama banyosu öncesi bir damlama bölgesinde (yaklaşık 15–45 sn.) toplanan kimyasal kendi banyosuna geri döner. Tipik banyo sıcaklığı 55–65 °C arasındadır.

Çoğu yüzey işlem hattında birbirini izleyen iki yağ alma banyosu bulunur. Bu parça temizliği için uygulama süresini arttırdığı gibi, kapasite artışı gerektiğinde hat hızını arttırma, bakım için daha fazla esneklik gibi yararlar sağlar. Mesela banyo yenileme zamanlarında ilk yağ alma banyosu atılır, ikinci yağ alma banyosu ilk banyoya basılır. Sadece ikinci banyo yeniden kurulur.

Diğer bir popüler uygulama ise, özellikle otomotivde, başlangıçta püskürtme bir yağ almayı takiben daldırma yağ ama uygulanmasıdır. Bu uygulama ile ağır kirler ilk banyoda püskürtme uygulaması verimliliği ile uzaklaştırılacak ve ikinci daldırma banyosu daha temiz kalacak, iç yüzeyler ile görünmeyen yüzeyler de temizlenmiş olacaktır. Bu uygulama sonrası kataforez banyosunun metal parçalarından ve diğer kirleticilerden korunmasına da yardımcı olacaktır.

### **Banyo kontrolü**

Aktif yağ alma tankını korumak istenen kaliteye ulaşmanın anahtarıdır. Banyo bakımı çeşitli kontrolleri ve sistemin genelini anlamayı gerektirir. İşlem gören yüzey metrekaresi ve banyo solüsyonuna giren yağ/kir miktarı, bakım gerçekleştirme zamanı konusunda ön görüye yardımcı olur.

Temizleme kalitesini sağlamak için başta banyo sıcaklığı sağlanmalıdır. Isıtma çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir ancak sıcaklık kontrolü bir kaç dereceden fazla değişkenlik göstermemelidir.

Tabii ki tüm ekipmanlar doğru düzgün çalışma için düzenli olarak kontrol edilmelidirler. Pompalar düzgün çalışmalı, püskürtme memelerinde akış serbest olmalı, pompa filtreleri akış düzenini bozmamak için düzenli temizlenmelidir.

Temizleyici kimyasalın etkinliği ise asit-baz titrasyonu ile kontrol edilir. Bunun için banyodan alınan bir miktar solüsyon bir indikatör (genellikle Fenolftalein) ile titre edilir.

Alternatif olarak iletkenlik ölçümü ile kontrol da yapılmaktadır. Ancak banyo kirliliği arttıkça iletkenlikte artmaktadır. Bu metodu kullanmak için bu hususa dikkat edilmelidir.

#### **5.4.2 Durulama**

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 kirliliği 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/lt.nin altında ve sülfat (SO<sub>4</sub>) konsantrasyonunun 40 mg/lt.nin 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 deiyonize su olmalı ve klorür konsantrasyonunun 50 mg/lt.nin altında olmalıdır.

Pasivasyondan banyosundan gelebilecek kirleticilere karşı pasivasyondan sonra da bir durulama banyosu kurulması gereklidir. Bu durulama banyosunda kullanılacak su kalitesi deiyonize su olmalı ve klorür konsantrasyonunun 50 mg/lt.nin altında olmalıdır.

### 5.4.3 Aktivasyon (Yüzey iyileştirme)

Çinko fosfatlama prosesi gelişmiş boya tutunmasını sağlamak için fosfat öncesi küçük ve sıkı kristaller oluşumu sağlayan etkili bir iyileştirme banyosuna ihtiyaç duyar.

Aktivasyon kimyasalları genellikle titanyum tuzunun jelâtinimsi süspansiyonları olup, kullanıma bağlı olmaksızın zamanla özelliğini yitiren malzemelerdir. Dolayısıyla, devamlı besleme ile banyo etkinliği korunmaktadır.

Aktivasyon banyosu, deiyonize su ile hazırlanmalı veya 50 mg/lt.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 bardır.

### 5.4.4 Fosfatlama

Fosfatlama uygulaması, fosfat bileşimi içeren bir kaplama oluşturmak için, metallerin fosfat içeren asidik çözeltiler ile işlem görmesini kapsar. Kimyasal olarak, fosfatlama prosesleri iki tipe ayrılır. Birincide, metal iyonları iş parçası malzemesinden elde edilir. Bu tip kristalsiz fosfat ya da yaygın adıyla demir fosfat olarak adlandırılır. İkinci tipin sürecinde ise farklı olarak kaplama için metal iyonları fosfat banyosundan sağlanır. Bunlar da çinko fosfat prosesi olarak adlandırılmakta olup, sadece çinko ya da çinko ile beraber nikel, mangan, kobalt 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 spreynin olarak uygulanabilmesi uygun hızlandırıcılar geliştirilmesi ile mümkün oldu.

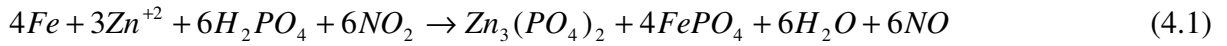
#### 5.4.4.1 Çinko Fosfatlama Süreci

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. İş parçası olarak geniş çeşitlilikte malzemeler işlem görebilir. Örneğin; galvanize, alüminyum ve DKP malzemelere uygulanabilir. Temel olarak bir çinko fosfat banyosu aşağıdaki bileşenleri içerir.

- Çinko, nikel, mangan, kobalt gibi asit içinde çözülmüş bulunan çeşitli metal iyonları.
- Fosforik asit
- Sodyum nitrat, nitrik asit gibi oksidanlar. (Hızlandırıcılar)

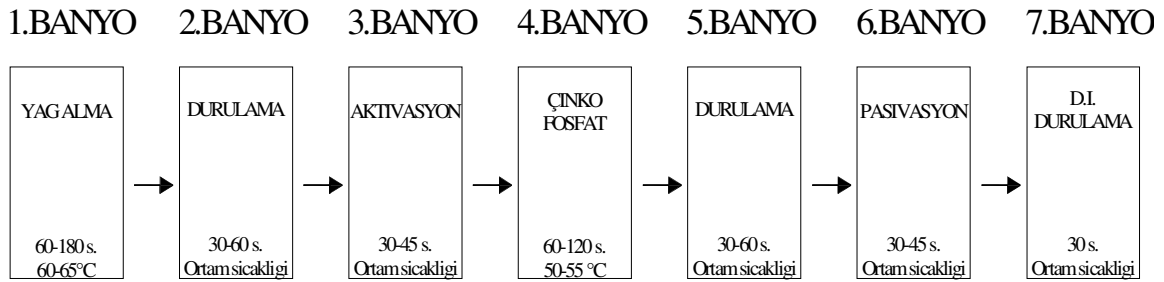
Çinko fosfat banyosunda aynı anda gerçekleşen reaksiyonları bir araya getirdiğimizde çelik için genel formül aşağıdaki gibi olacaktır.



Nikel, kobalt, mangan gibi diğer metal iyonları, tüm yüzey boyunca kaplamanın bir parçası olurlar. Bu metal iyonları, çinko ( $Zn^{+2}$ ) iyonunun birisinin yerini alarak  $Zn_2Me(PO_4)_2$  oluşturur. Burada Me, bu metal iyonlarını ifade etmektedir.

Çinko fosfatlamada banyo kontrol parametreleri demir fosfatlamaya kıyasla daha sık izlenmelidir. Bunun sebebi çözelti içerisindeki çözülebilir metal fosfatların, kaplamanın bir parçası olmasıdır. Çinko fosfat banyosu için yapılan kontroller, serbest asit, toplam asit ve hızlandırıcı ölçümünü içerir.

Bu kontroller oldukça basit ve doğru olmasına rağmen, fosfat kaplamalar bu şekilde tamamen karakterize edilemezler. Görünüm, kaplama ağırlığı, gözeneklilik (porozite) ve kristal büyüklüğü gibi özellikler, sistem performansını tanımlamayı birleştirir. Bu faktörlerin başlı başına ölçümleri, kaplamanın etkinliği ile ilgili yeterli bilgi sağlamaz.



Şekil 5.1 Tipik çinko fosfatlama hattı sıralaması

Yukarıdaki şema tipik bir çinko fosfatlama sürecinin sıralamasını göstermektedir. Uygulamalarda, kaliteyi artırmak ve maliyetleri azaltmak için ilave banyolar kullanılarak süreç genişletilebilir. Detayları daha sonra incelenecek olan tesiste;

- İlave durulama banyoları kullanılarak, hem durulama kalitesi arttırılmış, hem de ters akış sistemi (kademeli) kullanılarak, su tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Bu ilave durulama banyoları hem yağ alma hem de fosfatlama sonrası eklenmiştir.
- İlave temizleme zamanı sağlamak ve yağ alma banyosunun ömrünü uzun tutabilmek amacıyla önüne bir ön yağ alma banyosu kurulmuştur.
- Bu tesiste tüm adımlar sprey uygulanır. Karmaşık geometrili iş parçaları söz konusu olduğunda sprey uygulama ile beraber daldırma banyolarda bir arada kullanılabilir.

#### 5.4.5 Pasivasyon

Bir metal yüzeyi, bir dönüşüm kaplamasını aldıktan sonra, tepkimeye girmemiş dönüşüm kaplama kimyasallarını çıkarmak için durulanır ve pasivasyon ve/veya son durulama uygulanır. Yüksek kaliteli bir fosfatlama üretmekte son adım, etkili bir son- durulama uygulamaktır. 1944 yılında, A. Douty ve G.C. Roming (ABD Patent. 2,403,426; Fransız Patent. 922,745), alkali metallerin asit fosfatlarını içeren çözeltilerde, daha kesin ifadeyle banyoların PH'ının 4,7 – 6,5 arasında sağlanmasıyla metallerin işlem görmesini tavsiye etmişlerdir. Bu krom içeren çözeltiler veya krom içermeyen proses teknolojileri kullanarak, metal yüzeyindeki fosfat kaplamayı mühürlemek ve/veya pasivize etmek için yapılır. Pasivasyon uygulaması, pasivasyon olmayan hatlarla kıyaslandığında, korozyon ve nem dayanımında 2 ila 10 kata kadar artış sağlayabilir.

Ünite yüzey alanı başına kaplamanın ağırlığı, işlem zamanıyla, banyonun sıcaklık ve düzenlemesi ile ve baz metalin yüzeyinin durumu ile değişir. Genellikle 0,5–1 g/m<sup>2</sup> değerleri elde edilir. Kaplama rengi ölçüde açık bir şekilde mavi, mavi yeşilin orta gölgeleriyle grimsiden mavi tonlara geniş bir aralıkta değişir. Daldırma işlemlerde, çok ufak serbest asitliğin, fosforik asit eklenmesi ile sürdürülmesi tavsiye edilir. Sprey sistemlerinde ise pH hassas bir şekilde dengelenmelidir.

Son yıllarda, pasivasyon banyolarında krom içermeyen ürünler geliştirdi. Bunun başlıca sebebi, bu yeni malzemelerin atıklarından kurtulma ve krom ile ilişkili potansiyel sağlık tehlikelerini bertaraf etmesidir.

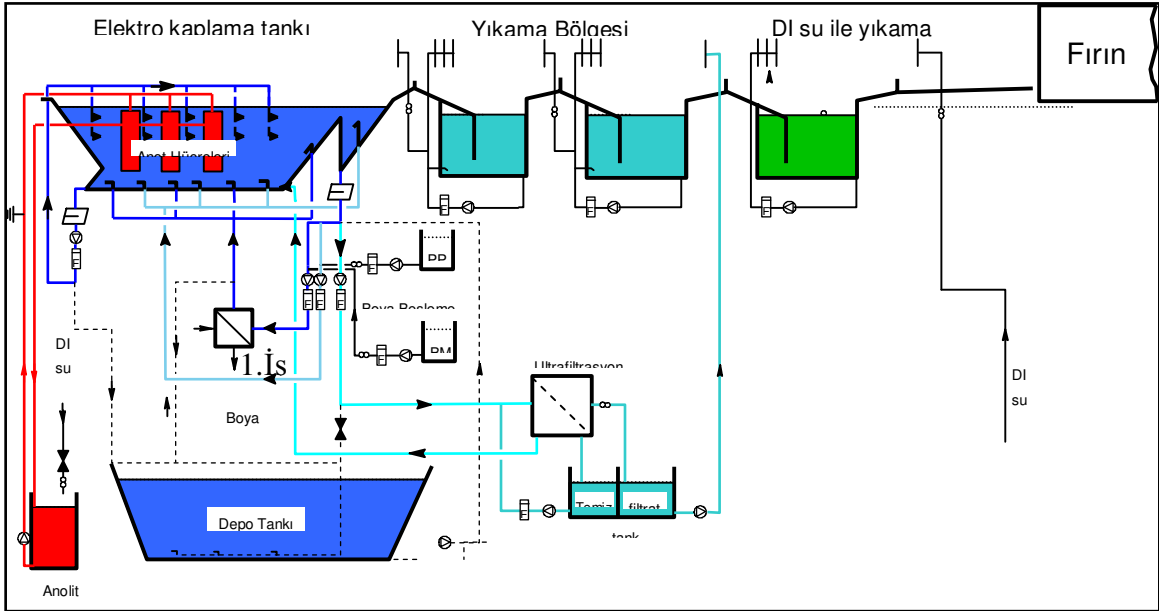
Pasivasyon süreci tamamlandıktan sonra, işlem gören metal yüzeyi, uygun şekilde durulanmalıdır.

### 5.4.6 Deiyonize /Ters Geçişim (Osmoz) Durulama

Yüzey hazırlama hattında yer alan son adım deiyonize (DI) veya ters osmoz su ile durulama işlemidir. Bu işlemin amacı, iş parçası yüzeyindeki sert/kireçli su tuzlarını uzaklaştırmak ve boyama işlemine hazır hale getirmektir. Boyama işleminde (kataforez boya) boya filmi içinde ve dışında dolaşan su bu tuzlarla birleşerek kabarma etkisi yaratmak için saklanır ve bu sert su tuzlar ilerde korozyon için ortam yaratır. Uygulamada, taze DI su ile durulama için 1–10 mikrosiemens/cm, hemen önünde yer alan devridaim çalışan DI banyosunda ise 10–50 mikrosiemens/cm iletkenlik değerleriyle çalışılır.

### 5.5 Elektro Kaplama (Kataforez)

Elektro kaplama süreci, iş parçalarını kaplamaya hazırlamak için, önce yüzey temizliğinin yapılarak bir dönüşüm kaplaması ile işlem görmesiyle başlar. Daha sonra iş parçaları iş parçası ve bir karşı elektrot arasında doğru akım uygulanan bir boya banyosuna daldırılır. Boya, elektrik alan ile parçaya doğru çekilir ve parça üzerine kaplanır. Daha sonra boyana parça banyodan 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 5.2)



Şekil 5.2 Kataforez kaplama süreci.

### 5.5.1 Elektro kaplama (Kataforez) Tankı

Kataforez tankı boya katı maddelerinin deiyonize su içinde yayıldığı bir havuz görevi görür. İşletme şartlarında genellikle katı madde oranı %10–20 arasındadır. Tankta boya partiküllerine elektrik yükü iletilmiş olup, iş parçası zıt yük ile bağlanmıştır. Mıknatıslardaki gibi zıt yükler birbirini çeker, iş parçasına doğru çekilen boya partikülleri bir film tabakası oluşturur. Bu durumda oluşan izolasyon katmanı ile boya kaplaması meydana gelir. Kaplamanın voltajı ile oynayarak izolasyon etkisini yenmek suretiyle kaplama kalınlığı kontrol edilir.

İşlem görecekt maksimum iş parçası ölçülerine göre optimum bir boyutlandırma yapılmalıdır. Aynı zamanda iş parçalarının tankın içinde yer alan anotlara olan yakınlığı da kaplama süresini ve etkinliğini etkileyen bir faktördür. Bu şartlarda yaklaşık 3 dakikalık bir daldırma sürecinde istenen kaplama gerçekleştirilebilir. Yine kataforez tankı ne kadar küçük tasarlanabilirse, tanktaki boyanın çevrimi geliştirilmiş olacaktır.

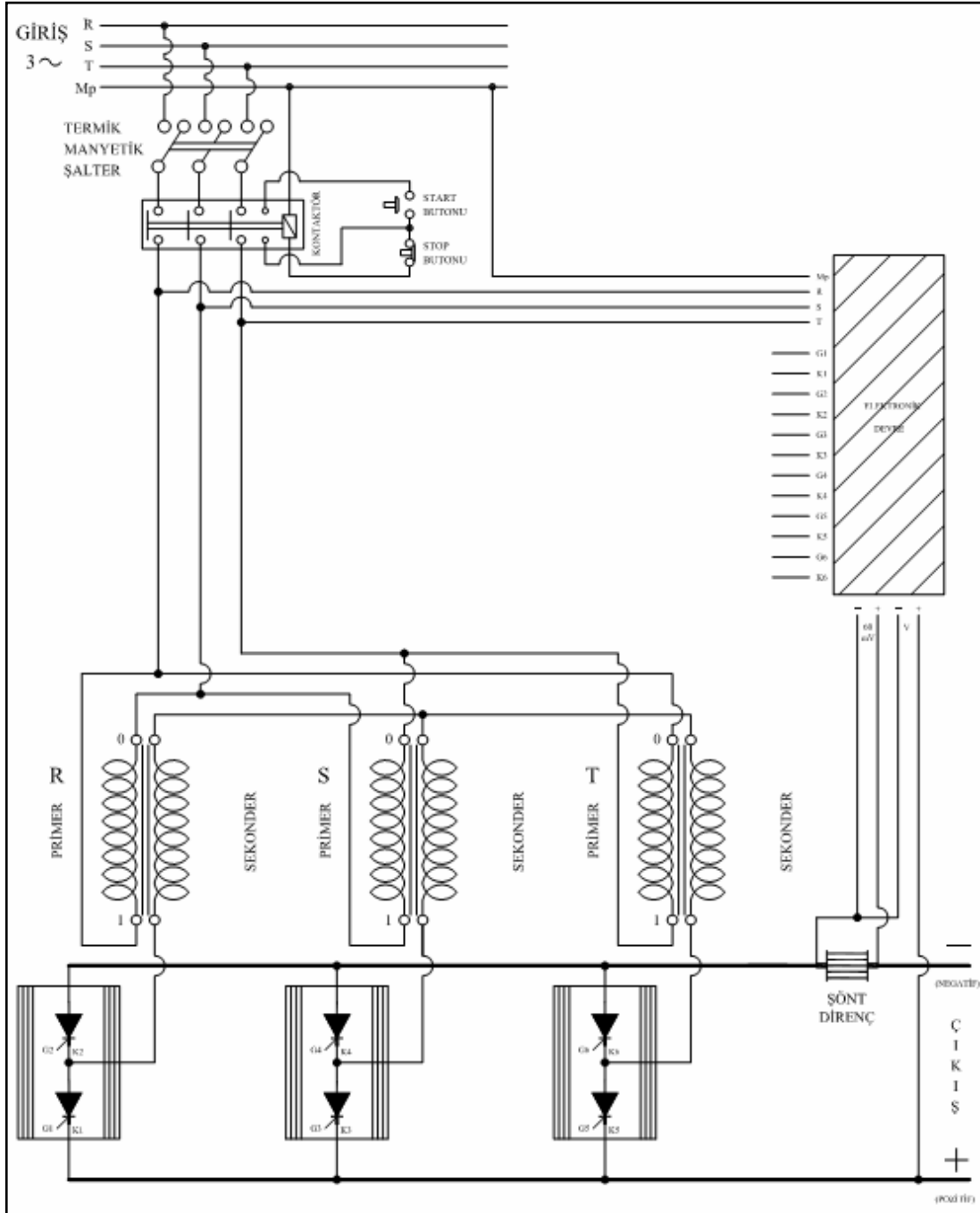
Kataforez tankı genellikle uygun maliyeti, dayanıklılığı ve uzun ömürlü olması sebebiyle siyah çelik sacdan imal edilir. Elektro kaplama prosesi elektriksel bir uygulama olduğundan tankın iç yüzeyinde kimyasallara dayanıklı izoleli bir katman oluşturulmalıdır. Bunun için genellikle cam elyaf takviyeli polyester kullanılır. Kataforez boyalara ait PH değerleri 4,5 – 6 arasında olup oldukça aşındırıcıdır. Bu yüzden tesisatta paslanmaz ve PVC malzemeler kullanılır.

### 5.5.2 Redresör (Doğrultmaç)

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 varyaklı sistemlerin aksine günümüzde daha hassas ve doğru değerlerde çalışma imkânı sunan tristör kontrollü redresörler kullanılmaktadır. Tristör, kontrollü yarı iletken bir anahtarlama elemanıdır. Kısaca anot-katot arasındaki iletimi, bir kapı ucu tetiklemesiyle sağlayan elektronik devre elemanıdır.

Genellikle redresörde iki ölçü aleti bulunur. Voltmetre, kataforez boyanın iş parçasına kaplanması için uygulanan potansiyel voltajı gösterir. Ampermetre ise tankın içindeki iş parçalarının çektiği akımı gösterir. Kataforez boya için kullanılan redresörlerde genellikle yüksek ve düşük voltaj, yüksek akım ve rampa kontrolü ayarlarının kontrol altında tutulması gereklidir.

Redresörlerde diğer önemli bir hususta, dalgalılık faktörüdür. Alternatif akımı, doğru akıma çevirdiğimizde elde edeceğimiz gerilim pil, akü gibi doğru akım kaynaklarının vermiş olduğu kadar kararlı olmaz, gerilimde belirli değerler arasında dalgalanmalar olur. İşte bu dalgalanma miktarına dalgalılık faktörü denir. Dalgalılık faktörü ne kadar düşük olursa o kadar ideal bir akım elde edilmiş olur. Dalgalılık yüksek olduğunda kaplama verimliliğini ve kaplama kalitesini düşürür. Bu gerilimi azaltmak ve %5 değerini geçmemesini sağlamak için redresör imalatçıları kondansatörler kullanırlar.



Şekil 5.3 Redresör bağlantı şeması

### Redresör Hesabı

Redresörün çıkış bakır bara kalınlığı mm<sup>2</sup> başına en fazla 2 Amper çekilebilecek şekilde tercih edilmelidir. Yani 200 Amper'lik bir redresörün çıkış bakır bara kesiti  $200\text{Amper}/2\text{Amper}/\text{mm}^2 = 100 \text{ mm}^2$  (20 mm x 5 mm) olmalıdır.

Giriş kablosu da uygun güçte seçilmelidir. Örneğin; 400 V / 200 A redresörün gücü, çalışma gerilimiyle akımının çarpımı olan 80 kVA' dır (80.000 VA). Giriş kablo kalınlığı ona göre olmalıdır.

Kataforez uygulamalarında çalışma voltajı istenen kaplama kalınlığına göre değiştiğinden genellikle 400 V çıkabilecek kapasitede redresörler seçilir.

Yine kataforez tankına dalan iş parçası yüzey alanı hesaplanarak gerekli akım ihtiyacı belirlenir. Konveyörlü sistemlerde herhangi bir anda tankta bulunabilecek maksimum iş parçası yüzey alanı m<sup>2</sup> başına 8-10 A ile çarpılarak toplam akım hesaplanır. (Örneğin; dalan yüzey  $20 \text{ m}^2 \times 10 \text{ A}/\text{m}^2 = 200 \text{ A}$  lik redresör seçilir.)

### 5.5.3 Anolit Sirkülasyon Sistemi

Elektrolit sıvı, deiyonize 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. Bünyesine kattığı çözücülerin iletkenliği arttıran özelliği nedeniyle tanka geri dönen solüsyonun iletkenliği otomatik olarak ölçülür. İletkenlik değeri yüksek set değerine ulaştığında (yaklaşık 1000–1500µS), otomatik olarak tank içindeki sıvı tahliye edilir ve yine otomatik olarak anolit tankının deiyonize su besleme vanası açılarak tank yeniden doldurulur. Böylece düşük iletkenlikteki (5–20 µS) deiyonize su ile tankın iletkenlik değeri düşürülerek tanktaki çözücü miktarını kontrol etme görevini sağlıklı şekilde yerine getirmesi sağlanır.

Anolit membranlar içerisinde minimum 3 mm et kalınlığında AISI316L kalite paslanmaz

boru malzemedan anot hücre metalleri yer alır. Bunlar banyoda karşı elektrot görevi görmekte olup, tanka dalan iş parçası yüzey alanı ile belli bir oranda hesaplanarak yerleşimi yapılır. Bu oran anot / katot oranı olarak adlandırılmakta olup genel olarak 1/4 ile 1/12 arasında değişmektedir. Üretim kapasitelerine bağlı olarak bu metallerin kalınlığı azalır, yüzeyinde korozyon ve çözünme meydana geldiğinde derhal yenilenmelidir. Anolit sistem;

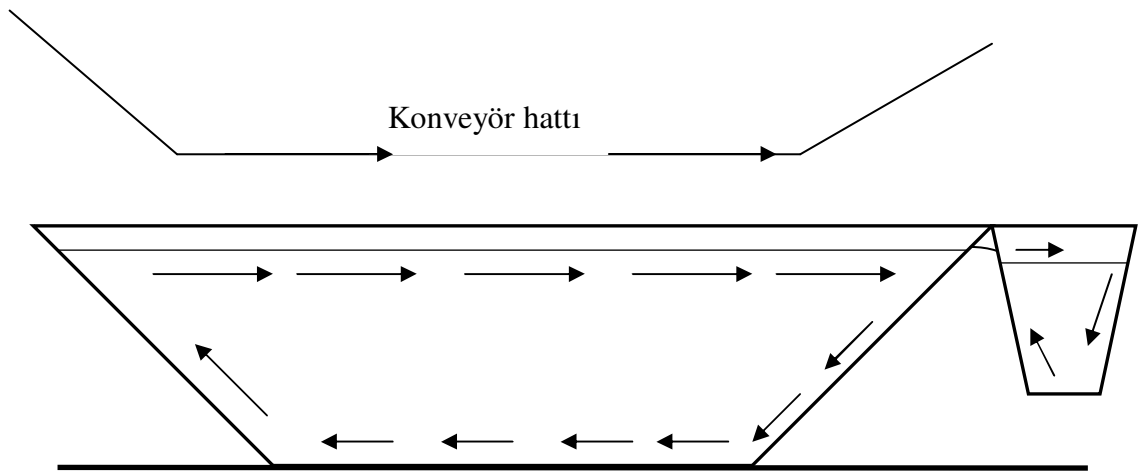
- Kataforez banyosundan asit anyonlarının uzaklaştırılmasını düzenler.
- Banyo içinde karşı elektrot görevi görür.
- Elektrotların yıkanmasını ve soğutulmasını sağlar.

#### 5.5.4 Boya Sirkülasyonu

Kataforez tankında bulunan boya aralıksız olarak devran ettirilir. Bu uygulamanın üç ana amacı;

- Boya katı maddelerinin banyoda asılı kalmasını sağlamak,
- Banyonun filtre edilmesini sağlayarak, yabancı maddelerden arındırmak,
- Pompalar ve kaplama prosesi nedeniyle oluşan ısının yayılmasını sağlamaktır.

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.

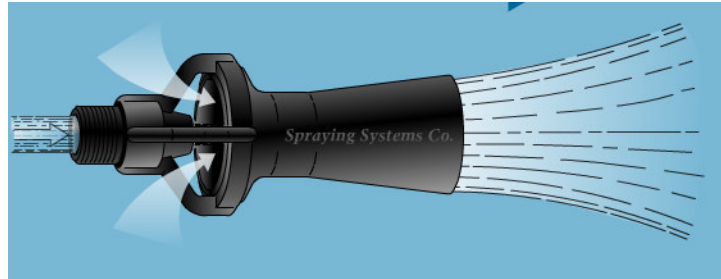


Şekil 5.4 Kataforez tankında boyanın hareketi

Yüzeydeki akış hızının malzeme hareket hızından yüksek olması ise tank yüzeyinde köpüksüzlüğün sağlanması için önemlidir. Aksi takdirde banyo yüzeyinde bulunan köpük

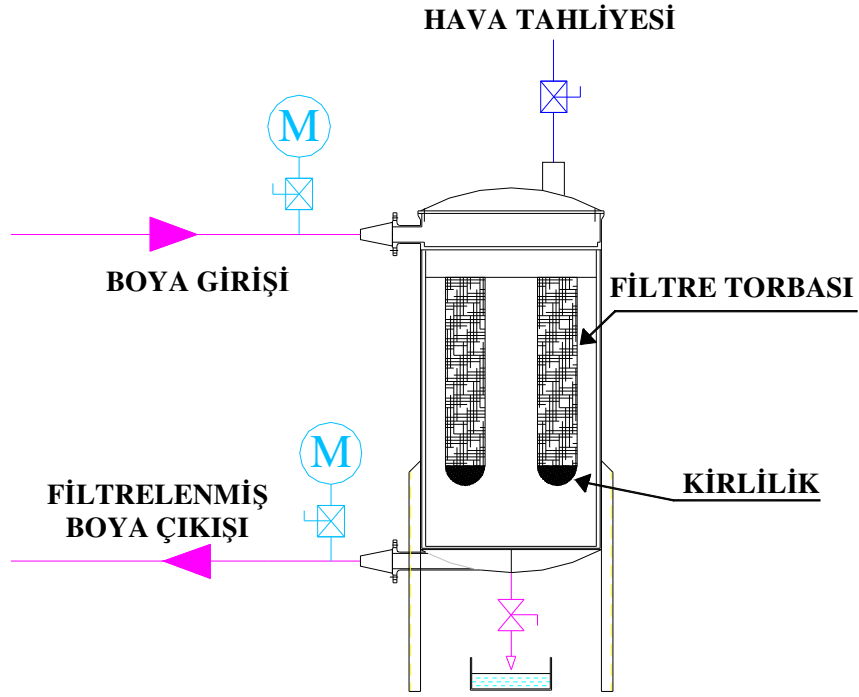
boyunca tanka giren parçalar fırınlandığında köpük içinde hapsolan hava kabarcıkları yüzeyde kusur yaratır. Köpük kontrolü, pompa emişinde hava girişinin önlenmesi ve yüzeyde tank girişinden itibaren yüzey hareketi ile sağlanır. Yine köpük ve seviye kontrolü için ana tank ile pompa emişi arasında banyo hacminin %10'u kadar hacimde bir taşkan tesis edilir. Boya katı maddelerinin banyoda asılı kalması tanktaki boyanın saatte bir kere devir etmesi ile sağlanabilmesine rağmen, tank devridaim oranının saatte en az dört 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.

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.



Şekil 5.5 Yüksek verimli Püskürtme memesi (Eductor)

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

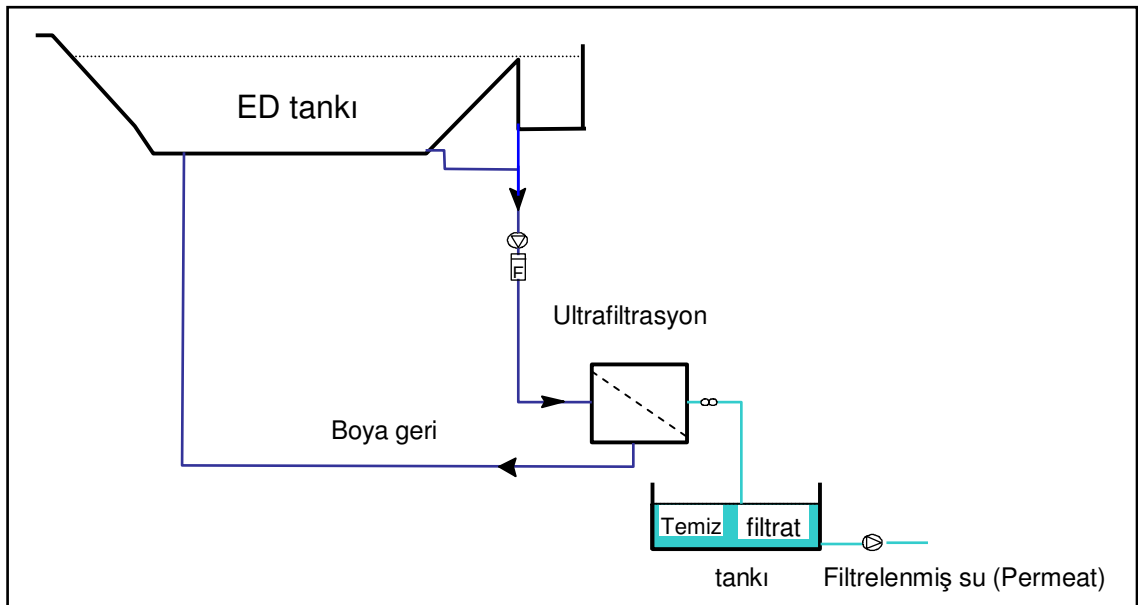


Şekil 5.6 Boya filtrasyonu prensip resmi.

### 5.5.5 Ultrafiltrasyon Sistemi

Ultrafiltre elektro kaplama sürecinin zaruri ve bütünleyici bir parçasıdır. Sistemin amacı,

- Boya tankında, yüzey işlemden taşınan çözülebilir kirleticilerin düzeyinin kontrol edilmesi,
- Banyodan iş parçası üzerinde kaplama etkisi dışında taşınan boyanın yıkanarak geri kazanılmasıdır.



Şekil 5.7 Elektro kaplama uygulamasında ultrafiltrasyon sistemi.

### 5.5.5.1 Ultrafiltrasyon Prensibi

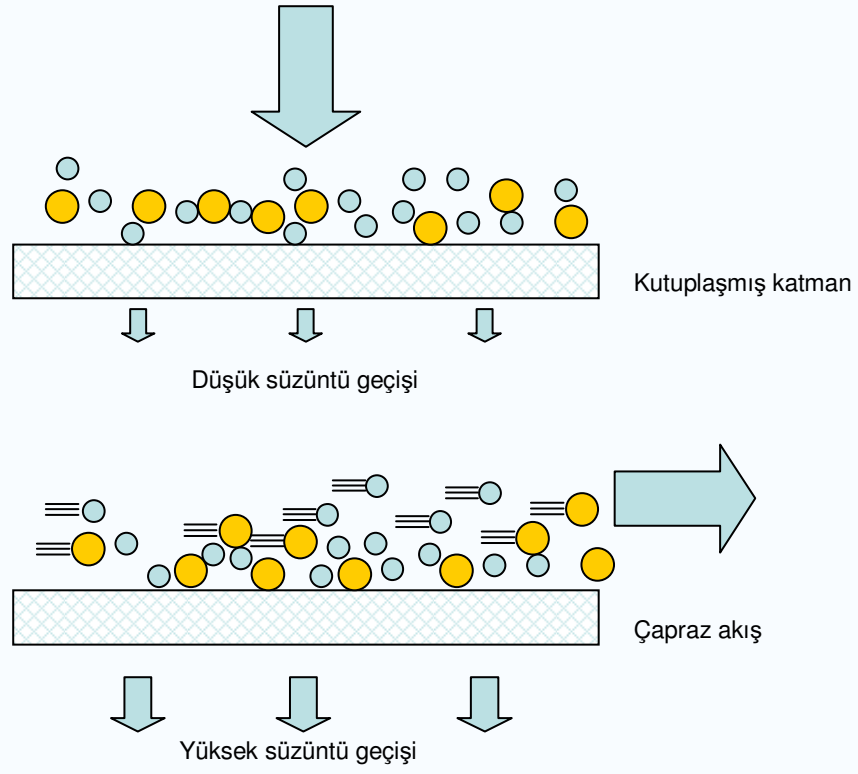
Ultrafiltrasyon bir büyüklüğü geçirmeyen, basınçla yürüyen küçük gözenekli, yarı geçirgen membranlarla uygulanan bir ayırma işlemidir. Bu endüstriyel süreç düşük pompalama basıncındaki (3,5-6 bar) sıvılardan su ve çözülmüş tuzları ayırtmada kullanılır. Büyük çözülmüş molekülleri ve koloidal partikülleri tutarak, su, tuzlar, çözücüler ve diğer küçük moleküllerin geçmesine izin veren, ince, yarı geçirgen, polimerik membran bu sürecin gerçekleşmesini sağlar. (Şekil membran) Ultrafiltrasyon kesiksiz çalışan, düşük basınçlarda işletilebilen, çözeltiyi süzünü (permeate) ve konsantre (concentrate) olarak iki akıma ayıran bir işlemdir. Ultrafiltrasyon 0,01 – 0,1 µm arası moleküllerin filtrasyonunda kullanılır.

Çizelge 5.1 Ultrafiltrasyonun diğer filtrasyon sistemleri ile mukayese tablosu

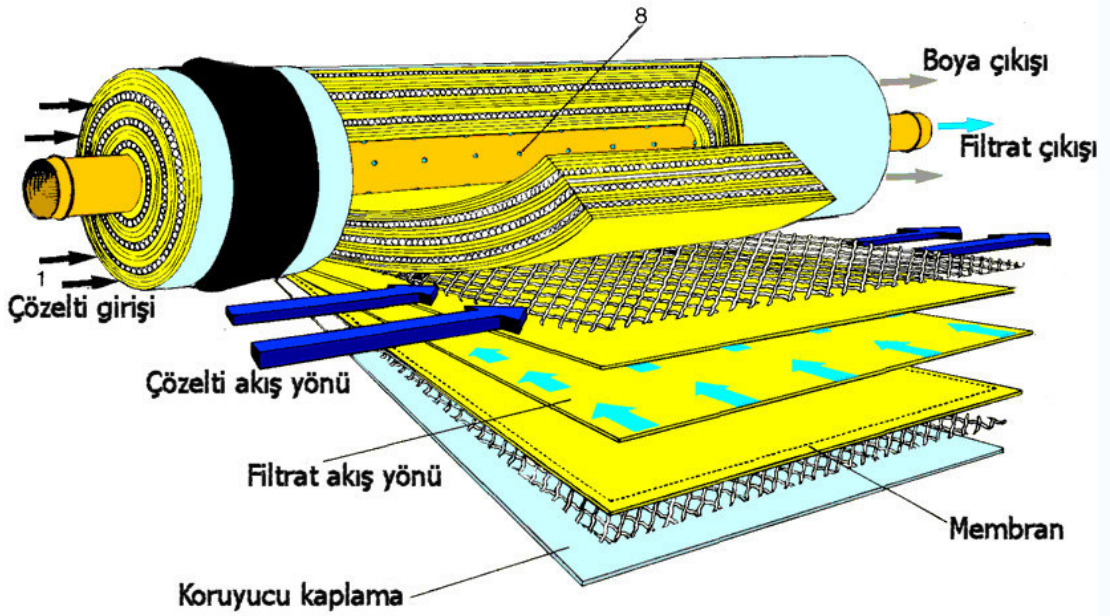
| FP | Filtrasyon          | 1 – 1000 µm arası     |                 |
|----|---------------------|-----------------------|-----------------|
| MF | Mikrofiltrasyon     | 0,1 – 1 µm arası      |                 |
| UF | Ultrafiltrasyon     | 0,01 – 0,1 µm arası   | Büyük moleküler |
| NF | Nanofiltrasyon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

Elektro kaplama boya sistemlerinde, ultrafiltrasyonla gerçekleştirilen süzünü, su, boya çözücülerini 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.

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



Şekil 5.8 Membran yüzeyinde akış



Şekil 5.9 Spiral tip membran görünüşü.

### 5.5.5.2 Ultrafiltre Temizleme

Ultrafiltre sistemindeki membranlar, süzüntü akı oranı membran temiz iken alınan debinin %70'ine düştüğü zaman kimyasal olarak temizlenmelidir. Kirlilik bu safhaya ulaştığında temizleme işlemi yapılmadığında, yani akı %70'in daha da altına düştüğünde yapılacak temizlik, membranın temiz iken verdiği akı değerine ulaştırmayacaktır.

Temizlemede kullanılan kimyasal kullanılan boyaya, membrana ve karşılaşılan kirlilik/bozulmaya bağlı olarak değişir. Ayrıca, ultrafiltre temizliği, koruyucu bakım amacıyla tesisin çalışmadığı, yaz ve kış tatillerinde, boyanın ana tanktan depo tankına transfer edildiği durumlarda da temizlenmelidir. Katodik boyalarda temizleyici asidik, anodik boyalarda ise temizleyici bazik esastır. Temizleme işlemi aşağıdaki adımları içerir.

- Ultrafiltre sistemine boya beslemesi kapatılır.
- Ultrafiltre sistemindeki boya ana boya tankına gönderilir.
- Ultrafiltre sistemi deiyonize su ile bir süre durulanır.
- Temizleme çözeltisi hazırlanır ve ısıtılır(gerekli ise)
- Temizleme çözeltisi membranda dolaştırılır.
- Temizleme sonrası çözelti drenaja boşaltılır.
- Ultrafiltre sistemi deiyonize su ile tekrar durulanır.
- Sistem boya ile tekrar devreye alınır.
- İlk üretilen süzüntü (filtrat) bir süre durulama sistemi yerine drenaja verilir.

Çizelge 5.2 Ultrafiltre temizlemede kullanılan temizleyiciler

| Temizleyici | Amaç  | İçerik  | Uygulama süresi | Açıklama  |
|-------------|---|---|-----------------|---|
| CPC-1       | Normal kirlilik(her 3-6 ayda bir temizleme)                                     | %10 Bütil glikol<br>%5 laktik asit<br>%2,5 E5726<br>%73 DI su           | 10–12 saat      | CPC–5 uygulamasına alternatiftir.                       |
| CPC–2       | Şiddetli kirlilik (sıcaklığı yüksek boya veya membran içerisinde bekleyen boya) | %10 Bütil glikol<br>%5 Laktik asit<br>%85 DI su                         | 12 saat         |   |
| CPC–3       | Fosfattan gelen kirlilik için sıklıkla temizleme                                | %10 Bütil glikol<br>%5 Laktik asit<br>%85 DI su                         | 12 saat         |   |
| CPC–4       | Fosfattan gelen kirlilik için sıklıkla temizleme                                | %5 Asetik Asit<br>%95 DI su   | 3 saat          | CPC–3 uygulamasından daha ucuz ve daha az etkili        |
| CPC–5       | Normalden şiddetliye tüm kirliliklerde  | %1 Bütil glikol<br>%2 Glikol asetat<br>%3 Formik asit<br>%0.5 Z Katkısı | 2–4 saat arası  | Temizleyiciler için, hızlı, ucuz, etkili ve yeni formül |

### 5.5.6 Banyo sıcaklık kontrolü

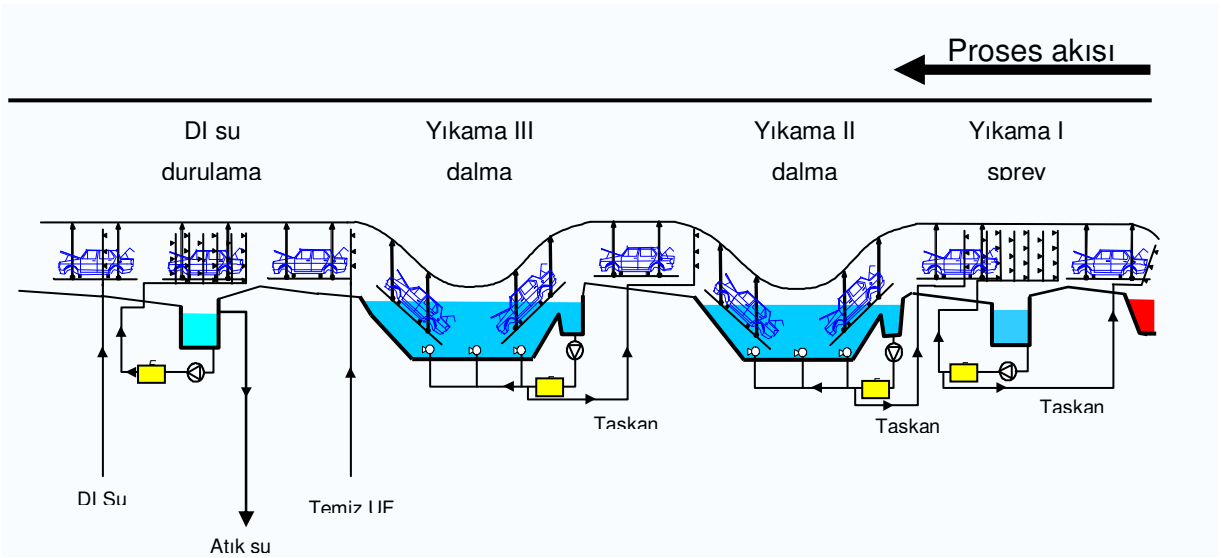
Elektro kaplama tankında ısı oluşturan iki kaynak vardır. Biri sirkülasyon pompaları, diğeri de elektro kaplama uygulamasının kendisidir. Banyo sıcaklığındaki sapmalar film kalınlık ve yüzey görünümünü etkiler. Özellikle sıcaklık yükselmesi film kalınlığını ve boya tüketimini artırır. Düşük sıcaklık ise boya filmi oluşumunu engeller. Elektro kaplama esnasında banyo sıcaklığının 28-32<sup>0</sup>C arasında olmasının sağlanması gerekir. Bunun için genellikle bir su soğutma grubu veya su soğutma kulesi kullanılarak boyayı soğutmada kullanılacak soğutulmuş su elde edilir. Isı transferi, plakalı tip ısı değiştirici kullanılarak sağlanır. Değişmeyen banyo sıcaklığının sağlanması, boya filmi oluşumu, banyo kararlılığı ve ultrafiltre performansı kontrolü açısından hassas önemdedir. Çinko fosfatlamada kullanılan ısı eşanjörünün aksine, bu uygulamada ısı eşanjörünü temizleme ihtiyacı kıyaslanamayacak kadar yüksek periyotlardadır. Çünkü elektro kaplama banyosunda bulunan çözücüler, eşanjör plakasının boya tarafını temiz tutar. Eğer ısı transferi kaybı olursa bu plakalı eşanjörün soğuk su dolaşan tarafında çözünen minerallerin plaka yüzeyinde birikmesinden kaynaklanabilir.

### 5.5.7 Kaplama sonrası Durulama

Kaplama sonrası iş parçası üzerinde elektriksel olarak tutunmayan boyanın uzaklaştırılması sağlanır. Bu sürüklenen boya, banyodakine göre daha yoğun bir kıvamdadır. Kapalı devre durulama sisteminde boya katı maddeleri iş parçasından uzaklaştırılır ve boya tankına geri gönderilir. Bu uygulama ile elektro kaplamada boya kullanımı son derece verimli hale gelmekte, tipik olarak %99'a varan transfer verimliliklerinde işletilmektedir. Kaplama sonrası durulama bölümü bir kaç adımda gerçekleştirilir.

#### 5.5.7.1 Tank çıkışı durulama

İş parçası (askı grubu) kaplama tankından ilk çıktığında, tankın üzerinde yer alan tekli bir püskürtücü meme (nozül) grubu ile yıkanır. Devridaimli yıkamanın yükünü azaltmak için hemen taşkanın üzerinde uygulanır. Bu nozül grubu, yıkama bölgesindeki birinci yıkama tankı pompasından alınan üzerinde bir akış metre ve vana bir kol ile beslenir. Akış metrede ayarlanması gereken debi, ultrafiltrede üretilen süzüntü debisinin %80 gibi ayarlanmalıdır. Kullanılan nozullar 0,5 bar basınçta 1–6 lt/dakika debi verebilen geniş açılı (85<sup>0</sup> – 115<sup>0</sup>) arasından, iş parçası da dikkate alınarak seçilir.



Şekil 5.8 Otomotiv sektöründe kaplama sonrası yıkama hattı.(1998, BASF Coatings AG)

### 5.5.7.2 Ultrafiltre 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 hattı çıkışında, ultrafiltrede üretilen filtrat ile beslenen bir nozul grubu ile de yıkanır. Bu bölüme verilen filtrat 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 sistemi olarak adlandırılır.

### 5.5.7.3 Deiyonize 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 taşıyarak 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 duşu adı verilen yaklaşık 1 dakika boyunca basınçlı havanın malzeme üzerine üflendiği sistemler kullanılır.

## **5.6 Boya Pişirme**

### **5.6.1 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 (Şekil 4.8) veya kızılötesi ısıtma şeklinde olabilir.

### **5.6.2 Uygulama Şekli**

Endüstride kurutma işlemi kesikli ya da sürekli olarak yapılır. Kesikli kurutmada, kurutulacak nemli madde işlemde önce kurutucuya yerleştirilir. Belli bir süre içinde kurutucuda bırakılarak kurumaya sağlanır. Bu zamanda cihaza sıcak hava veya baca gazları sevk edilmelidir. Sürekli kurutucularda nemli madde kurutma cihazına sürekli olarak gönderilir. Cihaz içinde sıcak hava veya sıcak baca gazları ile temas geçirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilir. Elbette ki küçük miktarların kurutulması söz konusu ise kesikli kurutma sisteminden yararlanılır. Kurutulması gerekli miktarlar büyükse sürekli çalışan kurutma sistemlerinden yararlanmak gereklidir. Büyük miktarda madde kurutulacaksa, madde genel özellikleri ve rutubet derecesi yönlerinden homojenlik göstermekte ise, sürekli kurutma sisteminin kullanılması daha uygun olur.

① Isı Jeneratör Hücresi

② Brülör

③ Hava Perdesi

④ Fırın Gövdesi

⑤ Sirkülasyon Fanı (Vantilatör)

⑥ Brülör Egzost Bacası

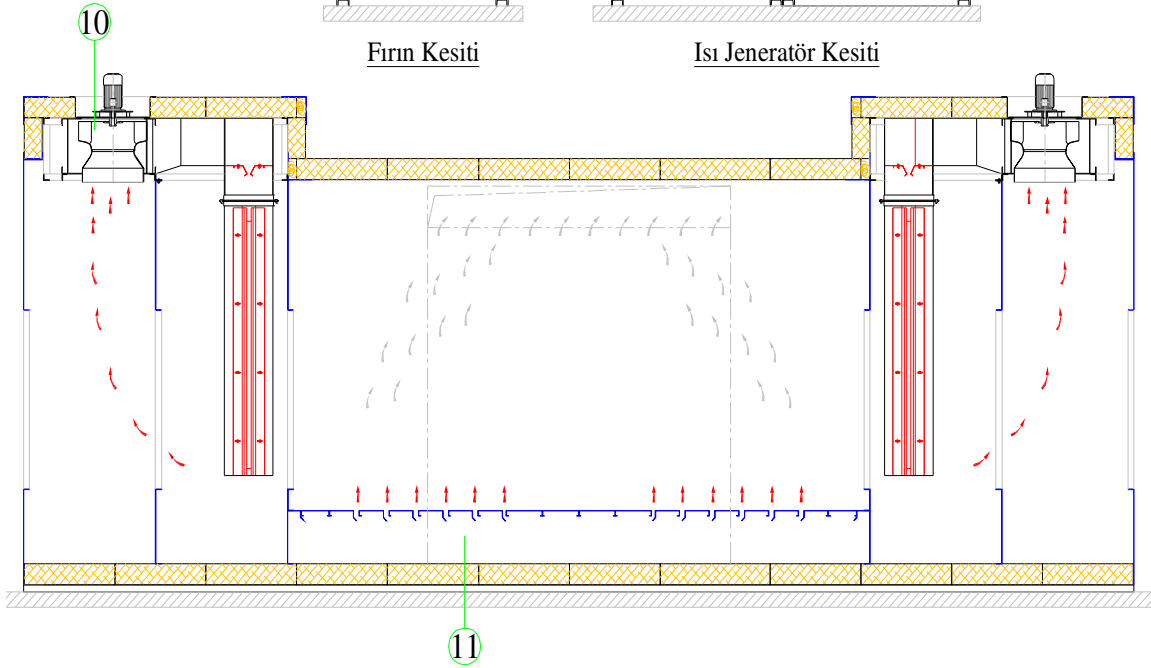
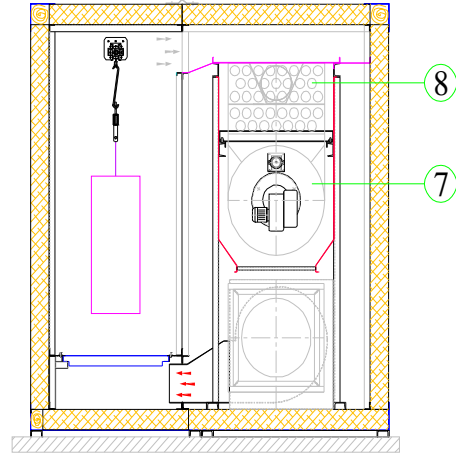
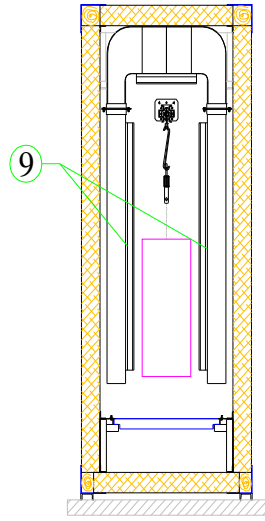
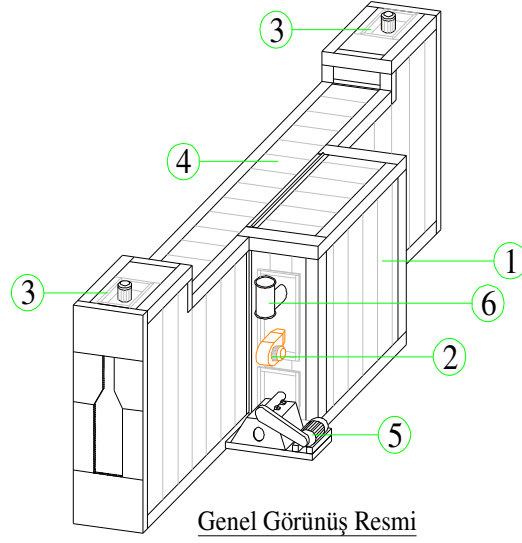
⑦ Cehennemlik

⑧ Duman Boruları

⑨ Hava Perdesi Kanalları

⑩ Hava Perdesi Fanı

⑪ Üfleme Kanalları



Şekil 5.9 Konveksiyonlu endirekt ısıtmalı sürekli tip boya pişirme fırını prensip şeması.

### 5.6.3 Kurutmada Enerji ve Kütle Dengesi

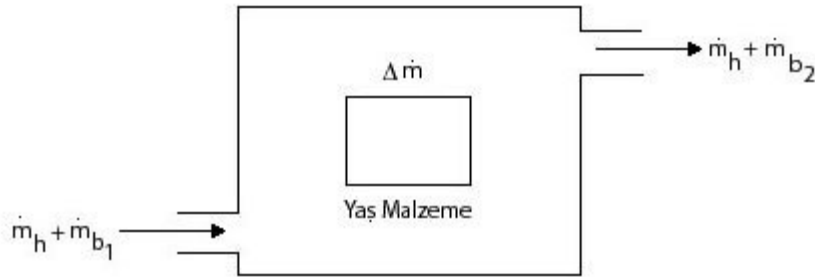
Belirli şartlardaki bir malzemenin istenilen değere kadar belirli zamanda kurutulması uygulamada çok önemlidir. Kurutma işlemi için sisteme enerji vermek gerekir. Kurutulacak malzemeye verilecek olan ısı enerjisinin ve buna bağlı olarak malzeme bünyesinden alınan buhar miktarının hesaplanması gerekir. Kurutmada bu büyüklükler, kullanılan havanın ve kurutulan malzemenin kurutucuya giriş ve çıkış koşullarına göre, kurutucu için, kütle ve enerji dengesi yazılarak hesaplanır (Kudra ve Mujumdar, 2002).

### 5.6.4 Kütle Dengesi

Kurutucuları, çalışma rejimi bakımından sürekli ve kesikli kurutucular olarak iki sınıfta inceleyebiliriz. Bu çalışmada yapılan kurutma; sürekli kurutma olup çalışma şekli Şekil 4.9'de şematik olarak gösterilmiştir.

Süreksiz kurutmada, kurutma süresince kurutucudan  $m_h$  kadar kuru hava geçer. Giriş havasında çözücü buharı olmadığı için  $m_{b1}$  değeri sıfırdır. Bu hava kurutucuya çıkışta  $m_{b2}$  kadar sıvı buharı götürecektir. Bu süre içerisinde kurutulacak malzemenin miktarında  $\Delta m$  kadar azalma olur. Boyanın kurutulması sırasında dışarıdan alınan kurutma havasındaki su buharı oranı kurutma esnasında boyalı yüzeylerde zararlı etkileri olabileceğinden dolayı normal şartlardaki havanın neminin oldukça alt seviyelerinde bulunduğu kurutma havasıyla beraber iç ortama giren su buharı miktarı ihmal edilebilecek düzeydedir. Kurutucuda basınç ve sıcaklığın sabit kaldığı kabul edilirse kütle dengesi (4.2) deki gibi olur.

$$m_{b1} - m_{b2} = -\Delta m \quad (4.2)$$



Şekil 5.10 Süreksiz kurutucuda madde akışı (Mujumdar, 1995)

### 5.6.5 Enerji Dengesi

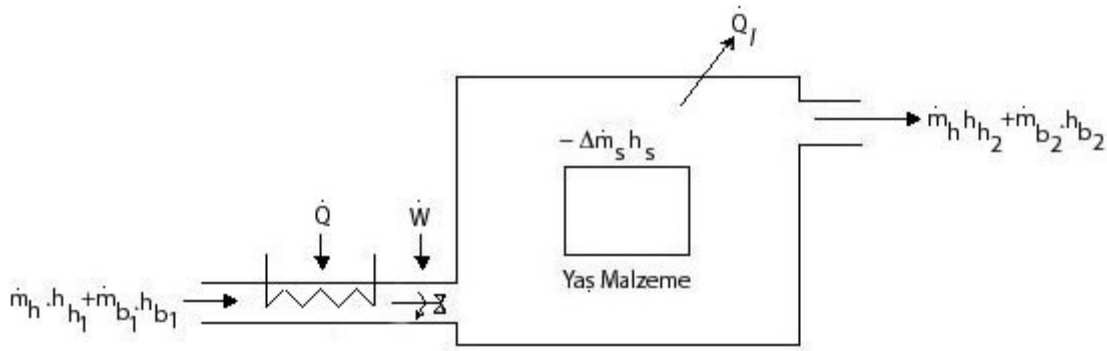
Termodinamiğin I. yasasına göre, bir sistem sınırları içinde bulunan madde topluluğunun enerji değişmesi, sistemin çevresiyle yaptığı ısı ve iş alışverişlerinin cebirsel toplamına eşit olur. Buna göre kurutma işleminde enerji dengesi;

$$\Sigma Q + \Sigma W = \Sigma E_2 - \Sigma E_1 - \Delta E \quad (4.3)$$

şeklinde yazılır.

Sistemin enerji değişimini hesaplayabilmek için kurutucuya giren ve çıkan maddelerin entalpilerini bilmek yeterlidir. Kurutma olayına giriş ve çıkıştaki kinetik enerji değişimi ihmal edilir. Şekil 4.10 'daki sürekli kurutucuda, kurutma havasına  $Q$  ısısının verildiği, havanın hareketini sağlamak için fan kullanılarak  $W$  işi yapıldığı ve çevreye olan ısı kayıplarının  $Q_l$  olduğu kabul edilirse, enerji dengesi (4.4) deki şekilde yazılır.

$$Q + W - Q_l = m_h (h_{h2} - h_{h1}) + m_{b2} . h_{b2} - m_{b1} . h_{b1} - \Delta m_s . h_s \quad (4.4)$$



Şekil 5.11 Süreksiz kurutucuda enerji akışı (Mujumdar, 1995)

Kurutucuda sıcaklıkların sabit kalınca sistemin enerji değişmesi, malzemeden çekilen  $\Delta m_s$  kadar sıvının ısısına, yani  $\Delta m_s . h_s$  'e eşit olur.

### 5.6.6 Boya Kurutma Prosesi

Otomotiv yan sanayide çok farklı boyalar kullanılmaktadır ve boya uygulamalarından sonra kurutma gerekmektedir. Kurutma işlemi, dayanıklı ve koruyucu bir film oluşmasını sağlamak, kısa zamanda diğer işlemlere geçişi sağlamak ve çözücü çıkışını kontrol etmek 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.

### 5.6.7 Boyaların Kuruma Prensibi

Boya filminin kuruması boya içeriğindeki bağlayıcının yapısı nedeniyle farklı mekanizmalar ile olur. Bu mekanizmalar termoplastik reçineler, çapraz bağlanan termoset reçineler, kendiliğinden oksidasyonla çapraz bağlanan reçinelerdir. Kuruma olayı, boya tabakasından çözücünün buharlaşmasını ve kurutulan tabakadan çözücü buharının ayrılmasını içerir. Buharlaşma endotermik bir prosestir. Isı sisteme kondüksiyon, konveksiyon, radyasyon ya da bunların birkaçı ile sağlanır. Bu proses makroskobik dengeler kullanılarak modellenir. Boya tabakasının birim alanı içinde toplam enerji akışı ( $q_t$ ), kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşınım) ve radyasyon (ışınım)'dan sonuçlanan akışların toplamıdır.

$$q_t = q_{\text{kondüksiyon}} + q_{\text{konveksiyon}} + q_{\text{radyasyon}} \quad (4.5)$$

Bazı uygulamalar için kondüktif ve radyoaktif ısıtma yararlı tekniklerdir. Konvektif ısıtma, çözücü buharlaşması için gerekli enerjiyi sağlamada yeterli değildir. Ancak konvektif kurutma boya tabakası yüzeyinden çözücü buharının uzaklaşmasını sağlayan tek ısıtma biçimi olması nedeniyle yaygın olarak kullanılır.

$$\text{Konvektif ısıtma hızı} = q_{\text{konvektif}} = k.A.\Delta T$$

$$\text{Çözücü buharlaşma hızı} = Q / \lambda$$

Genelde, kuruma prosesi üç adımda özetlenebilir; doymamış bileşenlerin oksitlenmesi (birleşen peroksit yapıların oluşumu), bu birleşebilen bileşenlerin polimerizasyonu, koloidal sistemlerin tekrar düzenlenmesi ve jelleşmesi şeklindedir. Kendiliğinden oksidasyon reaksiyonu kabaca yaş boya uygulandıktan sonra oldukça hızlı gerçekleşir ve zamanla bu hızın azalmasına rağmen, kaplamanın ömrü boyunca devam eder.

### 5.6.8 Pişme süresi

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. Kaynaklı kalın iş parçaları pişme sıcaklığına çıkarabilmek için ilave süreler gerekir. Kalın parçalar için nihai tasarım öncesi denemeler yapılmalıdır. İş parçaları şekli içerisinde sıvı hapsolmayacak şekilde tasarlanıp, askıya asılmalı, ya da pişirme fırınına girmeden önce bu birikintiler uzaklaştırılmalıdır. Fırından

egzoz edilen hava, pişme esnasında salınan uçucu maddeleri ortamdaki uzaklaştırabilecek kapasitede olmalıdır, aksi takdirde pişmesinde ve nihai görüntüsünde olumsuzluklar yaratabilir. Egzoz edilecek uçucu miktarı kullanılan kaplama ürününe bağlı olarak değişir.

Pişme süresi, boya tedarikçisi tarafından, uygun sıcaklık ve bu sıcaklıkta kalma süresi olarak belirtilir. Bunun yanında, aşağıdaki parametreler de fırın tasarımı yapılmadan önce belirlenmelidir.

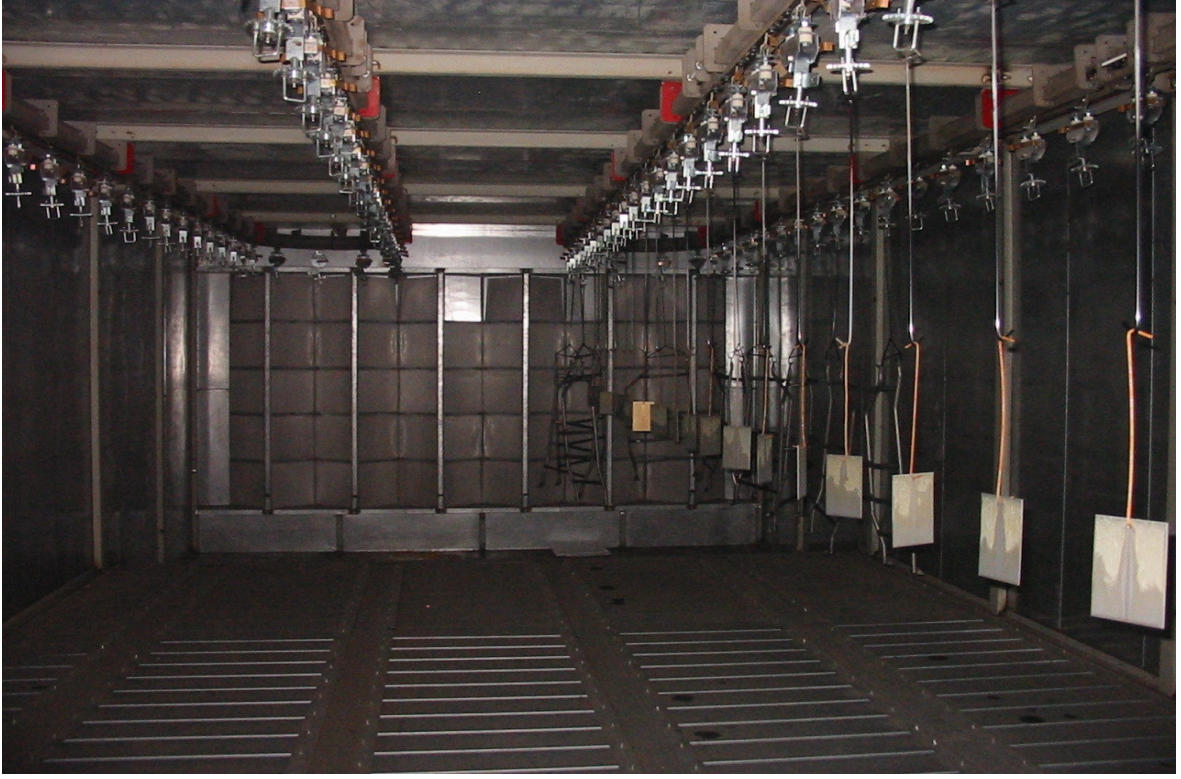
- Hat hızı
- Ürün ebatları
- Askılama aralığı
- Ürün ağırlığı/taşıyıcı (konveyör) ağırlığı

#### **5.6.9 Pişirme Fırını Unsurları**

Konveksiyonlu fırınlar, konveksiyonla ısı transferini kullanmakta olup, enerji kaynağı olarak da, gaz, elektrik ya da buhar kullanılır. Termal enerjinin endirekt transfer şekli olup, ısıtılan taşıyıcının (genellikle hava) sirkülasyonu ile sağlanır. Konveksiyonlu pişirme fırınları en yaygın kullanılan tip olup, uygulama yapılan tesiste de kullanılmıştır. Hava hızı ve türbülans ne kadar fazla ise, ısı transferi de bir o kadar yüksektir.

Fırında ısıtılan havanın sıcaklığı, boya firmasının belirtilen iş parçası pişme sıcaklığından biraz yüksektir. (Yaklaşık 10–20 °C) Genellikle uygulamalarda boyaya da bağlı olarak fırın hava sıcaklığı 180–200 °C arasında ayarlanır. Isı transfer katsayısı 2.500–10.000 Kcal/saat.m<sup>2</sup>.°C arasında olabilmekte, kızılötesi fırınlara nazaran düşük kalsa da üniform ısı ve sıcaklık dağılımında çok daha öndedir.

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 tasarlanmalı, ısıl genleşmelerde fırının çalışabilmesi için bağlantılarda yarıklı delikler açılmalıdır.



Şekil 5.12 Pişirme Fırını İçeriden Görünüşü.

Isıyı muhafaza etmek için, uygun izolasyon malzemesi ile oluşturulmuş paneller kullanılarak sistem çevrelenmelidir. Bu paneller, 700–800 mm genişliğinde, 150<sup>0</sup>C ve üzeri için 150 mm kalınlığında 50–80 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu elyaf malzemenin iki sac levha arasına yerleştirilmesi ile teşkil edilirler. Ek yerleri, birbirine geçmeli şekilde düzenlenerek hem montaj kolaylığı sağlar, hem de ısı köprüsünü minimize etmek için kanallar oluşturur.

Fırın köşeleri için ise serbest izolasyon malzemesi kullanılarak ısı kayıpları minimize edilir ve üzeri dış karkas tabir edilen sac paneller ile kapatılır. Isı kayıplarını karşılamak için bunlar yeterli olmayıp, tüm ek yerleri ısıya dayanıklı sızdırmaz conta kullanılarak mastiklenir.

Fırın gövdesinde iş parçalarının girip çıkması için bırakılan açıklıklar için ise eğer fırın bir platform üzerinde ise, alttan giriş-çıkış oluşturularak, doğal bir izolasyon ortamı oluşturulabilir. Bu uygulama oldukça verimlidir. Eğer fırın açıklıkları fırın kenarlarında ise, ısıyı kaçırmamak için mekaniksel olarak çalışan hava perdeleri teşekkül edilmelidir.

Hava perdelerinde bağımsız fan grubu kullanılabileceği gibi, fırın sirkülasyon havasından da istifade edilerek, fırın açıklıklarına basılmalıdır. Ayrıca ısı kaybını minimize etmek için fırın havasından egzoz edilen hava ile fırın ortamı negatif basınçlı hale getirilmelidir.

Isıtıcı ünite olarak, direk veya endirekt ısıtılmalı sistemler kullanılabilir. Kullanılan boya ve kaplama malzemesi özelliğine bağlı olarak tercih edilirler. Direk ısıtma 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.

Isıtıcıyı boyutlandırmak için (iş parçasını istenen sıcaklığa çıkarmak ve o sıcaklıkta muhafaza edebilmek için) fırına verilmesi gerekli ısı kayıplarını hesaplarken aşağıdaki hususlar dikkate alınır. Buna göre de ısıtıcı ve brülör kapasitesi belirlenir.

- Fırın duvar panellerinden radyasyonla ısı kaybı
- İş parçasının aldığı ısı
- Konveyör ve askıların aldığı ısı
- Hava perdesinden ve açıklıklardan kaybedilen ısı
- Fırına alınan taze havaya verilmesi gereken ısı

Fırın havasının egzoz edilmesi öncelikle güvenli bir ortam yaratmak içindir. Fırınlarda çalışma esnasında daimen 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, yağ ve toz boyalarda da aynı şekilde geçerlidir.

## 6. TERMODİNAMIĞİN BİRİNCİ YASASI

Termodinamiğin birinci yasası bir sistemde enerjinin bir şekilden diğerine dönüşümü ile ilgilidir ve bu dönüşümler sonucunda sistemin toplam enerjisinin değişmeyeceğini ifade eder. Bu yasada dolaylı olarak belirtilen enerjinin korunumu ilkesidir. Bu yasaya göre enerji yoktan var, vardan da yok edilemez, ancak şekil değiştirebilir. Bizde bundan (enerji dönüşümlerinden) faydalanarak ısıyı hareket ediyor ve cisimleri hareket ettiriyoruz. Buhar makineleri, diğer ısı üretim makineleri ve yakıtlı motorlar hepsi bu yasanın öngördüğü şekilde enerjinin işe dönüştürülmesinden faydalanarak çalışmaktadır.

Termodinamik sistemlerin analizinde sistem sınırlarını belirlemek çok önemlidir, belirlenen sistem sınırına göre, sistem kapalı sistem veya açık sistem olarak incelenebilmektedir. Sistem sınırlarının uygun bir şekilde seçilmesi hesapların basitleştirilmesini sağlamaktadır. Temel olarak, sistem sınırları içerisinde sistem içine veya dışına kütle transferi oluyorsa sistem, "açık sistem" olarak tanımlanır, olmuyorsa sistem "kapalı sistem" olarak tanımlanmaktadır.

Şimdi sırasıyla kapalı ve açık sistemler için birinci yasa ifadesinin en genel haliyle analizlerini gerçekleştirelim.

### 6.1 Kapalı Sistemler İçin Birinci Yasa Analizi

Bu çalışmanın tamamında kontrol hacmine giren ısı pozitif, giren iş negatif, kontrol hacminden çıkan ısı negatif, çıkan iş pozitif işaretli olarak kabul edilecektir.

Termodinamiğin birinci yasasının genel ifadesi;

$$\partial Q - \partial W = \Delta E \quad (6.1)$$

1 denge halinden 2 denge haline geçerken herhangi bir kapalı sistem için termodinamiğin birinci yasa ifadesi;

$$\int_1^2 \partial Q - \int_1^2 \partial W = E_2 - E_1 \quad (6.2)$$

$$Q_{1,2} - W_{1,2} = (U_2 - U_1) + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) \quad (6.3)$$

şeklindedir.

Birinci yasa açısından, ısı ve iş birbirinden farklı değildir. Bununla birlikte, daha sonraki bölümde analiz edilecek olan ikinci yasa açısından, ısı ve iş birbirinden oldukça farklıdır.

## 6.2 Açık Sistemler İçin Birinci Yasa Analizi

Yaptığımız çalışma gereği açık sistemleri sürekli akışlı sürekli açık sistemler olarak kabul ederek analizlerimizi bu varsayım üzerinden gerçekleştireceğiz. Sürekli akışlı sürekli açık sistemde akışkanın kontrol hacminden sürekli bir akışı söz konusudur. Akışkanın özellikleri kontrol hacmi sınırları içinde, bir noktadan diğerine değişiklik gösterebilir. Zaten tanım içinde geçen sürekli sözcüğüyle zamanla değişmeyen anlamı belirtilmektedir. Sürekli akışlı açık sistemlerle ilgili aşağıdaki yargılarda bulunulabilir;

- Kontrol hacmi içerisinde yeğin ve yaygın hiçbir özellik zamanla değişmez. Böylece kontrol hacminin, kütlesi, hacmi ve toplam enerjisi, sürekli akışlı sürekli açık sistemlerde sabit kalır. Bu yargının bir sonucu olarak ta, hacim sabit olduğundan bu sistemlerde sınır işi de sifıra eşittir.
- Kontrol hacminin sınırlarındaki hiçbir özellik zamanla değişmez. Bu nedenle giren ve çıkan akışkanların özellikleri zamana göre sabittir.
- Sürekli akışlı sürekli açık sistemlerin çevresiyle ısı ve iş etkileşimi zamanla değişmez. Bu nedenle sistemin birim zamanda çevresiyle yaptığı ısı alışverişi veya birim zamanda yaptığı iş sabittir.

### 6.2.1 Süreklilik Denklemi

Denklem 5.4 'de en genel haliyle açık sistemler için süreklilik ifadesi verilmiştir.

$$\sum_{giren} \dot{m} - \sum_{çıkık} \dot{m} = \frac{\partial m}{\partial t} \quad (6.4)$$

Yukarıdaki eşitliğin sol tarafı kontrol hacmi içerisindeki kütle transferini, sağ taraf ise kontrol hacmi içerisindeki kütle miktarı değişimini ifade etmektedir. Sürekli-akışlı-sürekli-açık sistemlerde süreklilik ifadesi kütle korunumu ilkesi olarak adlandırılır. Sürekli-akışlı-sürekli-açık sistemlerde kontrol hacmi içerisindeki toplam kütle zamanla değişmez. Bu kütle korunumu ilkesinin bir gereğidir. Bu durumda kütle korunumu ilkesi gereğince, kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekmektedir. Buna göre Sürekli-akışlı-sürekli-açık sistemlerde süreklilik yasası;

$$\sum_{giren} \dot{m} - \sum_{çıkık} \dot{m} = 0 \quad (6.5)$$

şeklini alır.

### 6.2.2 Açık Sistemler İçin Birinci Yasa Genel İfadesi

Açık sistemlerde birinci yasa ifadesinin en genel hali;

$$\sum_{giren} \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) - \sum_{çıka} \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) + \dot{Q} - \dot{W} = \frac{\partial E}{\partial t} \quad (6.6)$$

şeklindedir. Bu eşitliğin sol tarafı kontrol hacmi içindeki enerji transferini, sağ taraf ise kontrol hacmi içindeki enerji miktarı değişimini ifade eder. Sürekli-akışlı-sürekli-açık sistemlerde kontrol hacmi içerisindeki enerji miktarı değişimi sıfırdır. Buna göre, sürekli akışlı-sürekli-açık sistemler için termodinamiğin birinci yasası;

$$\sum_{giren} \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) - \sum_{çıka} \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) + \dot{Q} - \dot{W} = 0 \quad (6.7)$$

şeklini alır.

## 7. OTOMATİK KONTROL

Kontrol işlemlerine günlük hayatın hemen her anında rastlanır. Bilinçli ya da bilinçsiz olarak kontrol işlemleri uygular, kontrol işlemleri içinde davranırız. Kontrol işlemlerinin birçoğu otomatik olarak insan girişimi olmadan gerçekleştirilir. Örneğin merdiven otomatığı, ilgili alanlardaki aydınlatma sisteminin çalışmasını ve belli bir süre sonra kendi kendine kapanmasını sağlar. Termosifon, şofben ya da fırın sıcaklığının belirli bir değer etrafında tutulması, su basıncının hidrofor sistemleri yardımıyla ayarlanması ve yine depo seviyelerinin şamandıralı açma kapama vanaları ile kontrolü günlük hayatta her zaman çevremizde görebileğimiz benzer uygulamalardır. İnsan bedeninde ise fazla miktarda, daha karmaşık ve oldukça hassas kontrol işlemleri gerçekleşmektedir. Fizyolojik kontrol olarak ta adlandırılabilir bu işlemlerden ilk akla gelenleri belirtmek gerekirse:

Kandaki şeker konsantrasyonunun sağlıklı insanlarda her zaman sabit belli bir değerde tutulması (ki bu sistemin bozulması diyabet olarak adlandırılmaktadır).

Vücut sıcaklığı çevre sıcaklığının artması durumunda terleme (sıvı buharlaşmasının soğutma etkisiyle) yoluyla, çevre sıcaklığı azaldığı zaman ise kıl dibi kaslarının kasılması (ürperme) daha da ötede kasların titremesi vasıtasıyla vücutta üretilen ısı ile çevre sıcaklığının değişmelerine karşı kontrol edilir.

Göze giren ışık şiddetinin göz bebeğinin (pupilla) açılıp kapanması ile ayarlanır. Acı duyulduğu zaman geri çekilme refleksi, göz kas koordinasyonu (yazı yazma ), uyuma ve uyanık kalma süreleri (biyolojik saat), hareket miktarı ile kalp atışlarının doğru orantılı olması, insan vücudunda örnek verilebilecek başlıca fizyolojik kontrol örnekleridir.

Toplumsal yaşamı doğrudan etkileyen konularda da kontrol uygulamalarına rastlanır:

Fiyat artışları (enflasyon), pazardaki talebin azaltılması veya paranın değerinin artırılması ile kontrol edilebilir. Para değerini artırmak için piyasadaki para miktarı ve kontrol edilebilen harcamalar azaltılabilir. Talebi azaltmak için ise kişilerin harcama güçleri kısıllanabilir (sıkı para politikası). Bir diğer örnek; bir bölgenin ekonomik gelişmesinin kontrolü için verilebilir. Ekonomik gelişmeyi hızlandırmak için, o bölgeye yatırım ve nitelikli insan gücü akışını sağlamak gerekir. Bu da, özendirici (teşvik, prim, yan ödenek gibi) ya da zorlayıcı (rotasyon, mecburi hizmet gibi) önlemlerle sağlanabilir.

Kontrol işlemlerinin yukarıdaki örneklerdeki benzer yanlarından faydalanarak kontrol ve otomatik kontrol kavramları için şu genel tanımlamalar yapılabilir.

**Kontrol: İncelenen** davranışların belirli istenen değerler etrafında tutulması veya istenen değişimleri göstermesi için yapılanlar, genel anlamda kontrol işlemini tanımlarlar.

**Otomatik Kontrol: Kontrol** işlemlerinin, kontrol edilmek istenen olay etrafında kurulmuş bir karar mekanizması tarafından, doğrudan insan girişimi olmaksızın gerçekleştirilebilmesidir.

Kontrol işlemlerinin belirlenmesi ve otomatik kontrol mekanizmalarının kurulması, öncelikle bu işlemleri gerektiren amaçların ve istenen davranışların kesin biçimde tanımlanmasını, buna bağlı olarak da, olayların olduğu ortamın, olayların sebep-sonuç ilişkilerinin ve davranış özelliklerinin incelenmesini gerektirir. Otomatik kontrol, özellikle mühendislik sistemlerinde giderek daha çok önem kazanmaktadır. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir.

1 Otomatik kontrol, insanları monoton tekrarlı işlerden kurtararak zekâ ve düşünebilme yeteneklerini daha iyi kullanabilecekleri işlere yönelmelerini sağlar.

2 Otomatik kontrol, insanın fizyolojik yeteneklerini aşan (çok hızlı, çok hassas, yüksek kuvvetler gerektiren ve tehlikeli gibi) uygulamalarda insanın hâkimiyetini kolaylaştırır.

3 Otomatik kontrolün mühendislik sistemlerinde kullanılması, gerek teorik tasarım gerekse gerçekleştirme ve uygulama bakımından daha sade, daha esnek, kolayca ayarlanabilen ve yüksek verimli çözümlere imkân vermektedir.

4 Bilgisayarların mühendislik uygulamalarında yaygın biçimde kullanılması, kontrol yöntemlerinin daha etkin olarak uygulanmasına yol açmıştır.

Günümüzde en basit uygulama alanlarından en karmaşık endüstriyel tesis uygulamalarına kadar her yerde yaygın olarak kullanılan otomatik kontrol sistemleri; temelde tüm fiziksel ve kimyasal değişkenlerin insan gücüne bağlı olmaksızın denetlenmesi ve kontrol altında tutulması amacına hizmet eder.

Domestik veya endüstriyel ortamda gerçekleştirilmiş bir otomatik kontrol sisteminden;

- Sistemin güvenliği ve kararlılığını sağlaması
- Kolay anlaşılır, tamir edilebilir ve değiştirilebilir olması
- Sistemin performansını istenen düzeye çıkarması
- Yatırım ve işletme maliyeti açısından ucuz olması istenir.

Sistem elemanlarının seçimi ve ayarı bu ilkeler doğrultusunda yapılır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu koşulların gerçekleştirilmesi için kontrol edilecek sistemin yapısının ve dinamik

özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir.

## 7.1 Otomatik Kontrol türleri

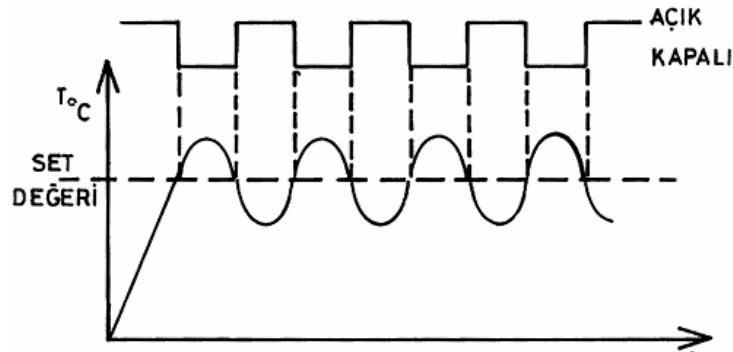
Otomatik kontrol döngüsünde kontrol edici blok yerine yerleştirilecek herhangi bir kontrol cihazı set değeri etrafında çalışması gereken hassasiyette sistemi kontrol etmelidir. Prosesin gerektirdiği hassasiyetle çalışacak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol formları vardır. Bunlar

- Açık-kapalı (on-off) kontrol
- Oransal kontrol (P)
- Oransal + Integral kontrol (P+I)
- Oransal + Türevsel kontrol (P+D)
- Oransal + Integral + Türevsel kontrol (P+I+D)
- Zaman oransal (time proportioning) kontrol formlarıdır.

### 7.1.1 İki Konumlu kontrol (Açık-kapalı kontrol)

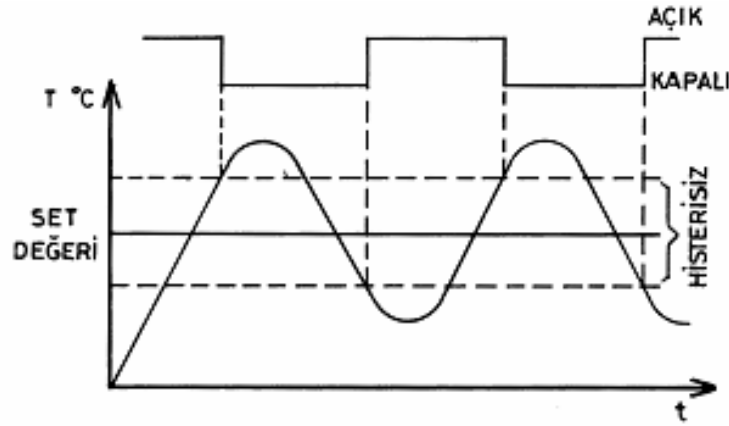
Açık-kapalı kontrol cihazı set değeri üstünde veya altında ayar değişkenini açar veya kapar. Kontrol cihazının çıkışı iki konumludur; ya tamamen açık ya da tamamen kapalıdır. Örneğin ayar değişkeni elektrik enerjisi olan sistemde kontrol cihazı, set değerinin altında elektrik enerjisini sisteme tamamen verir, set değerinin üstünde ise tamamen keser veya tam tersi düşünülebilir.

Açık-kapalı kontrolde kontrol altında tutulan değişken örneği sıcaklık, sürekli salınım halindedir. Set değerinin etrafında salınır. Bu salınımda tepeden tepeye değişim ve salınım sıklığı proses karakteristiklerine bağlıdır. Şekil 6.1'de açık-kapalı kontrol cihazı ile kontrol edilen bir sistemin sıcaklık zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 7.1 Açık kapalı kontrol

Ancak pratikte, endüstriyel sistemlerde bu tip ideal bir açık-kapalı kontrol sistemi kullanılmaz. Prosesteki bozucu faktörler ve elektriksel gürültü nedeniyle, set değeri geçişleri bu şekilde tek noktada olacak olursa sistem osülasyona geçer ve devamlı set değeri etrafında sık aralıklı açma kapama yapar. Özellikle bu durum son kontrol elemanlarının çok kısa sürede tahrip olmasına sebep olur. Bu durumu önlemek için set değeri geçişlerinde "histerisiz" ya da sabit band oluşturulur. Şekil 6.2’de sabit bantlı açık-kapalı kontrol eğrisi görülmektedir.



Şekil 7.2 Sabit bantlı açık-kapalı kontrol eğrisi.

Bu eğriden de anlaşılacağı üzere sıcaklık yükselirken, set değerini geçtiği anda enerji kesilmez, belli bir değer kadar yükselir ve o sabit değerden sonra kapanır. Sıcaklık düşmeye başlar, set değerine geldiği anda enerji açılmaz, set değerinin etrafında sabit bir sıcaklık bandı vardır. Bu bandın genişliği ya da darlığı tamamen prosesin gerektirdiği kadar olmalıdır.

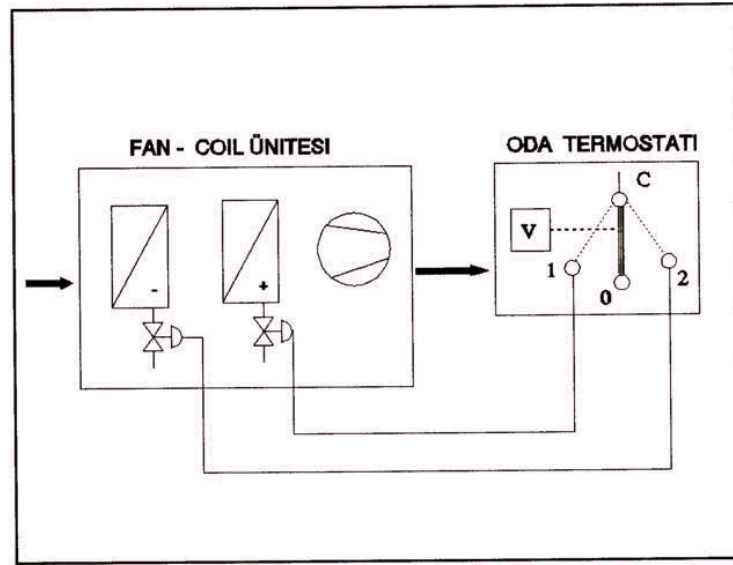
### 7.1.2 Yüzer Kontrol

İki konumlu kontrol ile oransal kontrol arasında bulunan bu kontrol türü, üç konumlu (yüzer) olarak ta bilinmektedir. İki konumlu kontrolden farklı olarak son kontrol elemanına üç türlü kumanda uygulanabilir; aç-sabit kal-kapa. Bu kontrol şeklinde sistemde istenen ayar değeri yakalandığına, servomotor o anda bulunduğu konumda hareketsizdir. İstenen ayar değerlerinin belli bir miktar dışına çıktığında ise servomotor oluşan farkı düzeltmek üzere açma ya da kapama yönünde hareket eder. Yavaş hareket eden bir servomotor kullanılması ile sistemin herhangi bir kısmı yükte çalıştırılması mümkün olmaktadır. Bu sayede iki konumlu kontrolde oluşan sağınımlar çok daha aza indirgenmiştir. Servomotorun hızı önemlidir. Çok yavaş bir servomotor ile sistemdeki ani değişikliklere uyum sağlama şansı kalmayacaktır. Servomotorun çok hızlı olması ise, iki konumlu kontrole yol açar, yani kısmi yüklerde çalışma mümkün olmaz. Bu tip kontrolün daha gelişmiş bir çeşidi ise şu şekilde

çalışmaktadır. Servomotorun hareket hızı istenen ayar değerinden uzaklaştıkça artmaktadır. Özellikle hızlı tepki veren sistemlere uygun bu uygulamada çok hassas bir kontrol sağlamak mümkün olmamaktadır.

Bu kontrol türünü daha iyi anlatabilmek için; ısıtma ve soğutma serpantini ele alınarak, bu serpantin girişlerinde ayrı ayrı on-off selenoit vanaları olan bir fan-coil ünitesi incelenecektir.

Kontrol elemanı olarak oda termostatı nihai kontrol elemanı için ise iki adet selenoid vananın bir bütün olduğu kabul edilerek örnek incelenmiştir.



Şekil 7.3 Yüzer kontrole örnek ısıtma soğutma uygulaması.

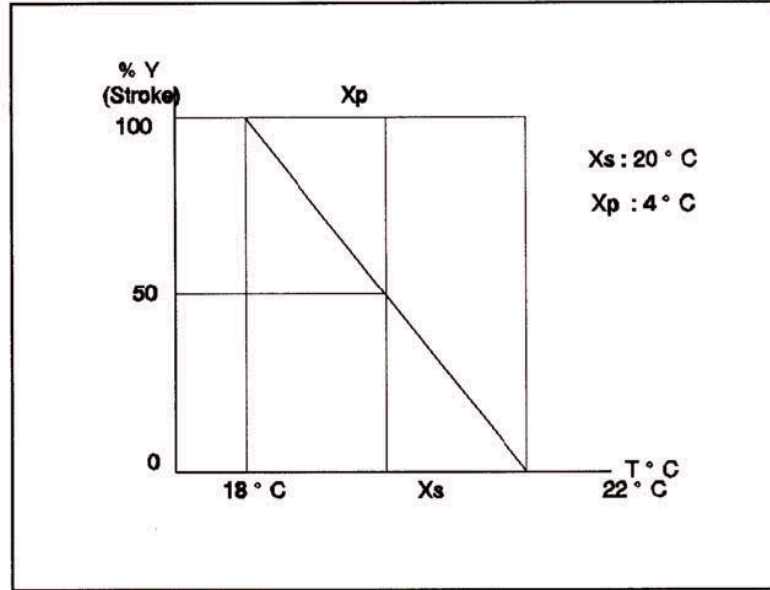
Oda termostatının ayar değerinin ( $X_s$ )  $20^{\circ}\text{C}$  ve fark aralığının ( $\Delta t$ )  $2^{\circ}\text{C}$  olduğunu kabul edelim. Oda sıcaklığı  $18^{\circ}\text{C}$ 'ye gelene kadar oda termostatı kontağı C- 1 konumunda kalır ve ısıtıcı selenoid vanası (S1) açık konumunu sürdürerek mahal havası sıcaklığını arttırma yönünde davranır.

Mahal sıcaklığı değeri  $18^{\circ}\text{C}$ 'ye eriştiğinde, termostat kontağı C-O konumuna gelir ve bu konumda S1 ısıtıcı selenoid vanası kapalı konuma gelir. Sistem yüzüne bağlı olarak mahal havası sıcaklığı artarak  $21^{\circ}\text{C}$ 'ye eriştiğinde termostatın kontağı C-2 konumuna gelir ve bu konumda S2 soğutucu selenoid vanası açık konuma gelerek mahal havası sıcaklığını düşürme yönünde davranır. Bu hareket şekli sistem çalışma periyodu içinde aynı şekilde tekrar eder.

Oda termostatı kontağının C-O konumunun olduğu süreç ölü bölge olarak tanımlanır. Ayar değeri ( $X_s$ ) genellikle bu ölü bölge ortasında yer alırken, fark aralığı ( $\Delta t$ ) ölü bölge altında ve üstünde yer alır.

### 7.1.3 Oransal kontrol

Oransal kontrol cihazı prosesin talep ettiği enerjiyi sürekli olarak ayar değişkenini ayarlayarak verir. Gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge vardır. Elektrik enerjisi kullanılarak ısıtma yapılan bir proseste, oransal kontrol cihazı ısıtıcının elektrik enerjisini prosesin sıcaklığını set edilen değerde tutabilecek kadar, prosesin gereksinim duyduğu kadar verir.



Şekil 7.4 Oransal kontrol cihazı transfer eğrisi.

Nihai kontrol elemanının hareket boyunu (stroke) değiştirerek kullanılan enerjinin %0'dan %100'e kadar ayarlanabilmesi için gerekli kontrol edilen değişkendeki (sıcaklık, basınç vb.) sapma miktarı Oransal band olarak tanımlanır. Genel olarak oransal band kontrol cihazının kontrol skalası (span) değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri (Xs) etrafında eşit olarak yayılır.

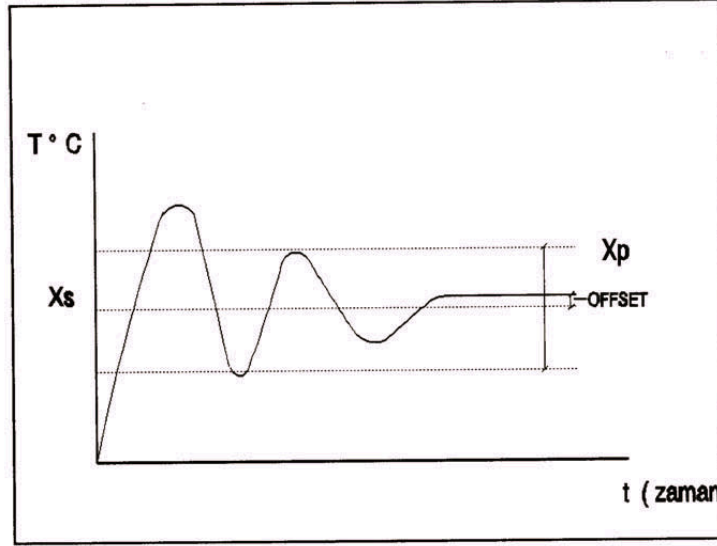
Şekil 6.4'te şematik olarak gösterilmiş transfer eğrisi üzerinden, ayar değerinin (Xs) 20°C ve oransal band (Xp) değerinin 4°C olduğu ters hareketli bir oransal kontrol sistemini inceleyelim. Sıcaklık değerinin 18°C olduğu noktada nihai kontrol elemanı konumu %100 pozisyonundadır. Nihai kontrol elemanı, sıcaklık değerinin ayar değeri ile eşit olduğu noktada %50 pozisyonundadır. Sıcaklık değerinin 22°C olduğu noktada ise nihai kontrol elemanı %0 pozisyonuna gelir. Bir oransal kontrol cihazının fonksiyonunu;

$$V_p = K_p \cdot e + V_o \quad V_p = \text{Kontrol cihazı çıkışı}$$

$K_p$ = Oransal kazanç

$e$ = Hata sinyali veya offset

$V_o$ =Offset düzeltme parametresi formülüyle de ifade edilebilir.



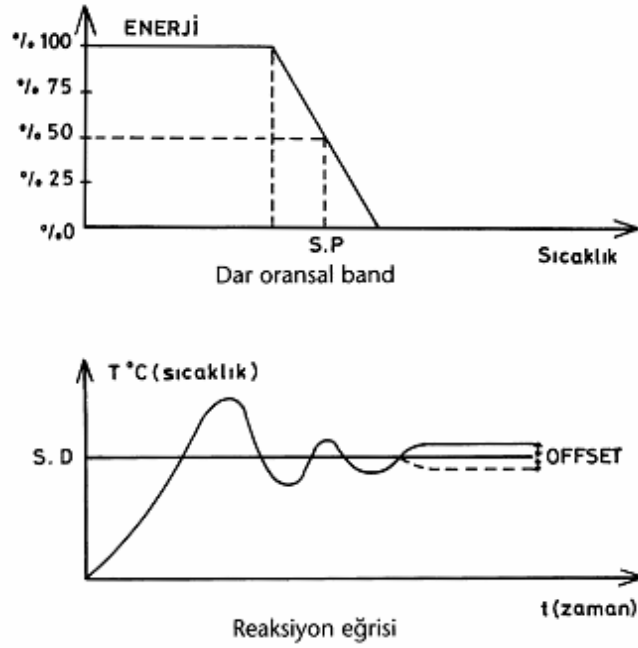
Şekil 7.5 Oransal band ve reaksiyon eğrisi.

Şekil 6.5'te sembolize edilen oransal kontrol reaksiyon eğrisinden de gözüktüğü gibi; set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı değer arasındaki farka **sapma (off-set)** denir. Sapmayı azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak oransal band küçüldükçe, iki konumlu (on-off) kontrole yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir ve sistem dengeye oturamaz.

Geniş seçilmiş bantta, küçük oranda enerji artışı büyük sıcaklık artışına sebep olur veya küçük oranda enerji düşüşüne sebep olur. Şekil 6.6'te seçilen dar oransal bantta ise küçük bir sıcaklık artışı veya düşüşü sağlamak için büyük oranda enerji düşüşü yapmak gerekir. Bu bandı giderek daraltıp sıfırlayacak olursak, bu takdirde oransal kontrol cihazı açık kapalı kontrol cihazı gibi çalışacaktır. "Oransal band" birçok proste tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı proseslerde "kazanç" tanımı kullanılmaktadır. Oransal band ve kontrol cihazı kazancı arasındaki bağlantı aşağıdaki gibidir.

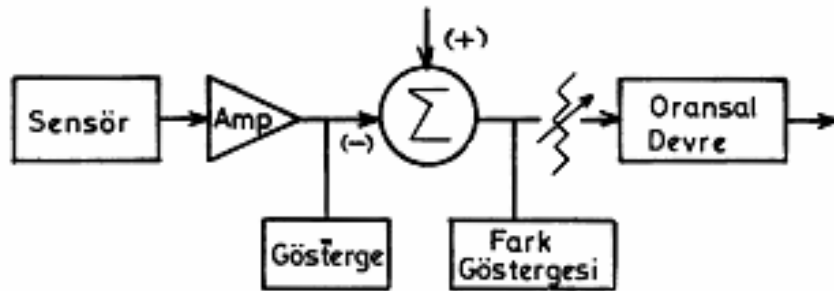
$$\text{Kazanç} = \% 100 / \% \text{ Oransal Band}$$

Böylece görüldüğü gibi oransal band daraldıkça kazanç artmaktadır.



Şekil 7.6 Dar oransal band ve reaksiyon eğrisi.

Oransal kontrolü blok şemalar ile açıklayacak olursak, şekil 6.7'de görüldüğü üzere, bir algılayıcı yardımıyla algılanan sıcaklık sinyali ortam sıcaklık kompensasyonu yapıldıktan sonra yükseltici bir devreden geçerek set değeri ile karşılaştırılır. İki arasındaki fark alınarak hata değeri veya fark değeri bulunur. Eğer bu değer pozitif ise proses, set değerinin altındadır. Negatif ise set değerinin üstündedir. Fark sıfır ise proses set değerindedir.



Şekil 7.7 Oransal kontrol blok şeması.

Fark değeri oransal kontrol devrelerinden geçerek uygun çıkış formuna gelir. Fark değeri sıfır olduğu anda oransal çıkış %50'dir. Yani set değerinde çalışıyor demektir. %50'lik çıkışı koruyup prosesi tam set değerinde tutmak zordur. Denge durumuna gelinceye kadar sıcaklık değişimi olması, hatta sıcaklık değeri ile set değeri arasında belli bir fark kalması oransal

kontrolün en belirgin özelliğidir. Set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı sıcaklık arasındaki farka off-set denir. Off-set'i azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi oransal band küçüldükçe, açık-kapalı kontrolle yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir. Geniş oransal bantta off-set'in büyük olacağı düşünülerek prosese en uygun oransal bandın seçilmesi gerekir. Şekil 6.5 ve şekil 6.6, geniş ve dar oransal bandın göreceli karşılaştırılmasıdır.

Sıcaklık yükselir, bir kaç kere set değeri etrafında salınım yaptıktan sonra set değerinin üzerinde veya altında sabit bir sıcaklık farkı ile gelip oturur. Off-set artı veya eksi olabilir.

Bir proseste tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra örneğin artı oluşan off-set değeri proseste birkaç küçük değişiklik olması ile eksi değere gidebilir veya artı olarak yükselebilir.

#### 7.1.4 Oransal + İntegral Kontrol

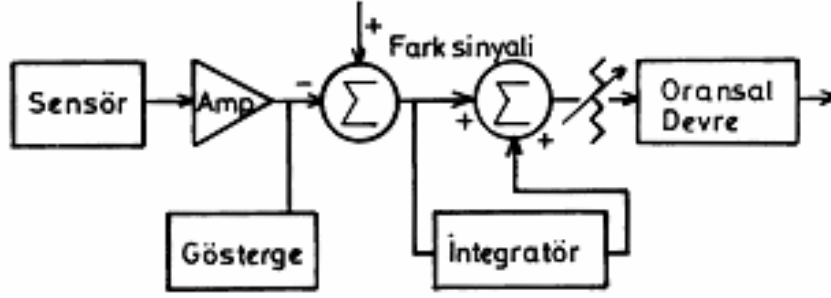
Oransal kontrolde oluşan off-set, manüel veya otomatik olarak kaldırılabilir. Otomatik resetleme için kontrol cihazı, elektronik integratör devresi kullanılır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasında fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal band kaydırılmış olur. Matematiksel olarak formülize edersek;

$$V_p = K_p \cdot e + K_i \int e \cdot t + V_o \quad V_p = \text{Kontrol cihazı çıkışı}$$

$$K_i = \text{İntegral kazanç}$$

$$t = \text{Zaman}$$

Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses sıcaklığı set değerine oturtulur. İntegratör devresi gerekli enerji değişikliğine set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark kalmayınca kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde bazı değişiklikler olup, sıcaklık değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkiyi gösterir. Şekil 8.8'de oransal+integral kontrol formu blok şema halinde verilmektedir. Ayrıca off-seti kalkmış reaksiyon eğrisi de verilmektedir.



Şekil 7.8 Oransal+integral kontrol blok şeması.



Şekil 7.9 Oransal+integral kontrol reaksiyon eğrisi.

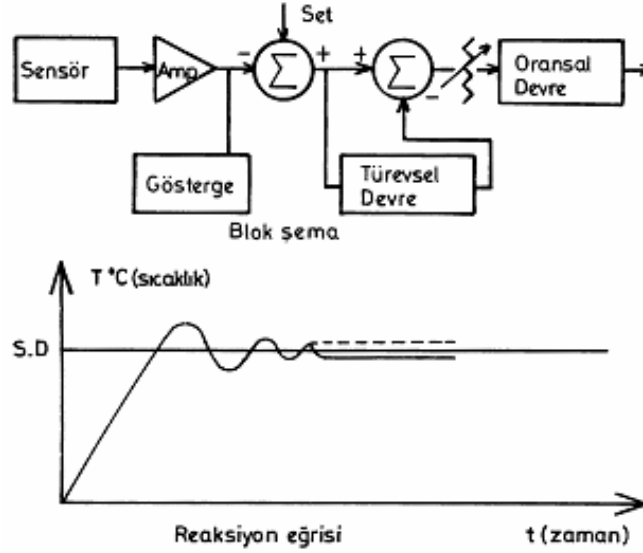
Oransal+integral kontrolün en belirgin özelliği sistemin sıcaklığı ilk başlatmada set değerini geçer, önemli bir miktar yükselme yapar (overshoot). Set değeri etrafında bir-iki salınım yaptıktan sonra set değerine oturur.(Şekil 8.9)

### 7.1.5 Oransal + Türevsel Kontrol

Oransal kontrolde oluşan off-set oransal + türevsel kontrol ile de kaldırılmaya çalışılabilir. Ancak türevsel etkinin asıl fonksiyonu overshoot-undershoot'ları azaltmaktır. Overshoot ve undershootlar azalırken bir miktar off-set kalabilir. Oransal+Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyali, elektronik türev devresine gider.

Türevi alınan fark sinyali tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur. Şekil 8.10, blok şema haline oransal + türevsel kontrolü göstermektedir. Ayrıca Şekil 8.9'de göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir. Görüldüğü gibi overshoot ve undershootlar daha azdır. Türevsel etki düzeltici etkisini hızlı bir şekilde

gösterir. Banyo tipi proseslerde yani daldır-çıkar gibi uygulamalarda hızlı değişimlere ayak uydurmak üzere PD seçilebilir. Sürekli tip uzun süreli fırın ya da proseslerde ve off-set arzu edilmeyen hallerde PI tip seçilebilir. Uygulayıcı, birçok faktörü göz önüne almalıdır.



Şekil 7.10 Oransal+türevsel kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi.

### 7.1.6 Oransal + integral + türevsel kontrol

Kontrolü güç, karmaşık sistemlerde oransal kontrol, Oransal+Türevsel, Oransal+integral kontrolün yeterli olmadığı proseslerde Oransal+İntegral+Türevsel kontrol tercih edilmelidir. Kısaca bu kontrolü tanımlayacak olursak; oransal kontrolde oluşan off-set oransal+integral kontrol ile giderilir. Ancak, meydana gelen overshoot'lar bu kontrole türevsel etkinin de eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir veya tamamen kaldırılır.

PID kontrolü matematiksel olarak formüle edersek;

$$V_p = K_p \cdot e + K_i \int e \cdot \Delta t + K_d \Delta e / \Delta t + V_o$$

$K_d$  : Türevsel Kazanç

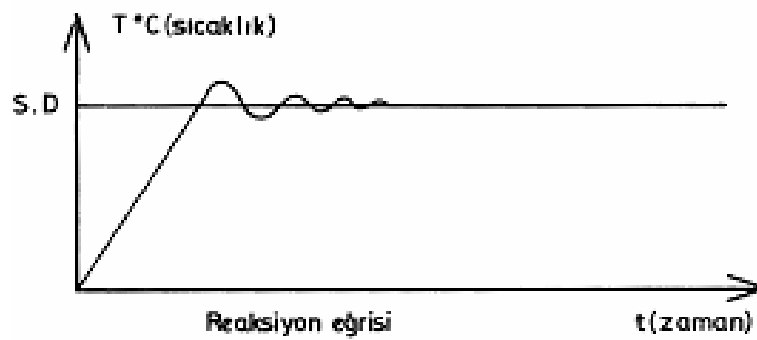
$\Delta e / \Delta t$  : Hatanın Türevi

Esas amacı ayar değeri ile ölçüm değeri arasındaki hatayı sıfıra indirmek ve bu sayede istenilen değere ulaşmak olan tüm kontrol türlerinde; Oransal (P), integral (I), Türev (D) parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine;

- Minimum zamanda

— Minimum üst ve alt tepe (overshoot ve undershoot) değerlerinden geçerek ulaşmasını sağlarlar. İntegral ve türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tip kontrol cihazları ile kurulan sistemlerde de dengeye ulaşmak mümkündür . Ancak sadece P'nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde az da olsa set değeri ile kontrol edilen değer arasında sıfırdan farklı + veya - değerinde ve de sıfıra indirilmeyen bir sapma mevcuttur. Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın ilavesi sapmayı ortadan kaldırmaya yöneliktir. Diğer bir deyişle P+I türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında sistem dengeye oturduktan sonra sapma oluşması söz konusu değildir. İntegral etki sapmayı sıfıra indirirken sisteme faz gecikmesi katarak sistemin kararlılığını azaltır. Bununla beraber İntegral zamanının çok kısa olması prosesin osülasyona girmesine neden olabilir . P+I denetim mekanizmasına D ilavesi ise set değerine ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yaramaktadır. Diferansiyel etki sisteme faz avansı getirir ve sistemin kararlı hale gelmesinde yardımcı olur. Böylece büyük orantı kazançları elde edilebilir. Fakat büyük nakil gecikmeleri olan sistemlerde diferansiyel etkinin önemi çok azalır.

Şekil 8.11'da Oransal+İntegral+Türevsel kontrolün diğer şekillerde verilen reaksiyon eğrilerine göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir. Dikkat edilecek olursa diğerlerine nazaran hemen hemen yok denecek kadar az overshoot ve undershoot ve off-set kaldırılmış durumdadır. P ,I, D parametrelerinin iyi ayarlanıp ayarlanmamasına bağlı olarak elde edilen kontrol eğrisi değişebilir.

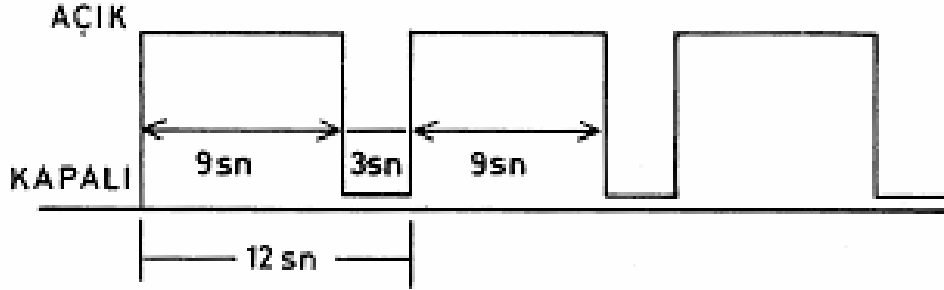


Şekil 7.11 Oransal + İntegral + türevsel kontrol reaksiyon eğrisi.

### 7.1.7 Zaman Oransal Kontrol

Oransal kontrol formları içinde özellikle elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerde en yaygın kullanılan kontrol formlarından olan zaman oransal kontrolde enerji yüke belli bir periyodun

yüzdesi olarak verilir. Şekil 8.12'de görüldüğü gibi 12 saniyelik bir periyotta sisteme 9 saniye enerji veriliyor, 3 saniye kesiliyor. Bunun anlamı sisteme 12 saniyelik periyodun %75'inde enerji veriliyor, %25'inde kesiliyor demektir.



Şekil 7.12 Zaman oransal kontrol.

Bu tip çıkış en uygun biçimde, son kontrol elemanı kontaktör veya triak, tristör olan proseslerde görülür. Triak, tristör son kontrol elemanı olarak kullanıldığı zaman enerji kesilip verme süreleri çok küçük aralıklara kadar indirilebilir. Bu süre 50 Hz'lik şehir gerilimi periyodu altında düşecek olursa rasgele bir ateşleme, güç problemleri doğuracaktır. Bu yüzden, ateşleme sıfır geçişlerinde yapılır.

## **7.2 Kontrol Sistemleri İçin Enerji Kaynakları**

Kontrol sistemleri; havalı,elektrik,elektronik,hava akımı,hidrolik,kendi kendine çalışabilen veya bunlardan bazılarının kombinasyonundan oluşur.

### **Havalı Sistemler**

Havalı sistemler, kontrol ve hissedici sinyallerinin 20 psi'den daha düşük basınçlı hava ile oluşturulduğu sistemlerdir. Kontrolör çıkış basıncındaki değişiklikler, kontrol edilen son elemanda bu pozisyon değişikliğine karşılık gelen bir pozisyon yaratır.

### **Elektrikli Sistemler**

Elektrikli sistemler, reosta veya köprü devrelerinin akım veya voltaj dengesinin değişmesi ile çalışan veya duran bir kontrol temin eder. Bu sistemler hat besleme voltajı olarak alternatif akım kullanır.

### **Elektronik Sistemler**

Bu sistemler; kontrol ve hissedici sinyallerinin düşük akım veya voltaj ( 24V veya daha düşük) değerlerinde taşındığı, elektronik bir devre tarafından kuvvetlendirilerek son kontrol işlevini yapan servo mekanizmalara iletildiği sistemlerdir.

### **Hava Akımı Sistemleri**

Hava akımı sistemleri, kontrol sinyali üreten mekanizmalar gibi davranan statik basınç sinyallerinin dışındaki hava akımı dinamiğini kullanır. Düşük güvenilirliği yüzünden kullanılabilirliği kalmamıştır.

### **Hidrolik Sistemler**

Bu sistemler, hava yerine sıvı veya yağ kullanan ve yapısı havalı sistemlerle benzer olan sistemlerdir. Hidrolik kontrol ve tahrik üniteleri günümüzde HVAC teknolojisinde kullanılmamaktadır.

### 7.3 Kontrol Sistemi Parçaları

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi temel bir kontrol sisteminin en önemli parçası olan hissetme/ölçme elemanları, sistemlerin otomatik kontrolünde çok önemli bir görev yüklenirler.HVAC kontrol sisteminde bu kritik sorumluluğu taşıyan ölçüm elemanlarının performansları aşağıda bahsedilen başlıca tanımlarla ifade edilir.

Hata : Ölçme sisteminden elde edilen değer, ölçülmesi gereken doğru değerden farklıdır.

Doğruluk : Ölçüm elemanının, ölçülen fiziksel büyüklüğün doğru değerini belirleyebilme kabiliyetidir.

Kesinlik : Aynı koşullar altında aynı büyüklüğün ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliğidir. Ölçümün kesinliği, burada bir büyüklüğün ölçülen değerlerinin, ortalama değer civarındaki dağılımın izafi yoğunluğunu tanımlamak için kullanılmıştır. Bu yüzden bir ölçümün kesinliği ; doğruluğundan çok tekrarlanabilirliği ile ilişkilidir.

Hassasiyet : Ölçüm elemanının ölçek faktörünü belirleyen özelliğidir. İstenilen değerde çıkış sinyali üretebilmek için gereken minimum giriş sinyali büyüklüğü olarak ta ifade edilebilir.

Belirsizlik : Hata için belirlenen bir değer olup, ölçme elemanı ile ölçüm yapıldığında hatanın ne olacağını belirler.

Hissedici Elemanlar: Hissedici eleman, kontrol edilen fiziksel değişimdeki değişiklikleri ölçen ve kontrolörün kullanması için orantılı etki veya sinyal üreten aygıtlardır.

#### 7.3.1 Sıcaklık Hisseden Elemanlar

Sıcaklık değişimini algılayan elemanın değişimi fiziksel olarak algılanabilmeli ve ölçülebilmelidir. Bu, ölçüm cihazını belli özelliklere göre üretmekle veya bir sıcaklık standardına bağlı olarak ayarlamakla sağlanır.Kullanıcıların standart sıcaklık ölçümlerine uyum sağlamalarına yardımcı olabilmek için uluslararası ağırlık ve ölçüm komitesi (CIPM), 1990 Uluslar arası Sıcaklık Cetvelini benimsemiştir. Sıcaklık hisseden elemanlar genelde şunlardan oluşurlar : (1) bimetal bir şerit, (2) farklı metallere yapılmış bir rot ve tüp, (3) uzak ampullü veya ampulsüz conta bir körük veya (4) elektriksel bir eleman.(5) İçi sıvı doldurulmuş cam tüp-termometre.

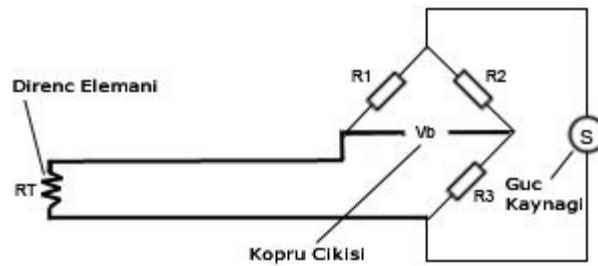
1 Bimetal eleman, farklı iki metalin birlikte eriyip kaynaşmasından elde edilen iki ince şeritten oluşur. Her iki malzemenin farklı termal genişleme katsayıları olduğu için, sıcaklık değiştiğinde eleman eğilir ve pozisyonda bir değişim meydana getirir. Bimetalik termometre

yaklaşık sıcaklık ölçümü için kullanılır. Ölçüm aralığı  $-20/660$  C olan bu ölçüm cihazlarının belirsizliği yüksektir ve gecikmeli oldukları için uzaktan kullanıma uygun değildir.

2 Rot ve tüp eleman, içerisinde, bir ucu tüpün altına takılı düşük genleşmeli rot bulunan yüksek genleşmeli metal tüpten oluşur. Tüp, sıcaklıktaki değişimle rotun serbest ucunun hareket etmesine sebebiyet vererek uzunluğu değiştirir.

3 Contalı körük eleman, havası boşaltıldıktan sonra ya buharla-gazla ya da sıvıyla doldurulmuştur. Sıcaklık değişimleri, gaz veya sıvı basıncında veya hacmindeki değişimlere sebebiyet verir. Bunun sonucu olarak ta kuvvet veya hareket miktarında bir değişim meydana gelir. Uzak ampullü eleman, kılcal tüp vasıtasıyla ampul veya kapsül takılı contalı körük veya diyaframdır; bütün sistem buhar-gaz veya sıvıyla doludur. Ampuldeki değişimler, kılcal tüpler vasıtasıyla körük veya diyaframa iletilen basınç veya hacim değişimleriyle sonuçlanır.

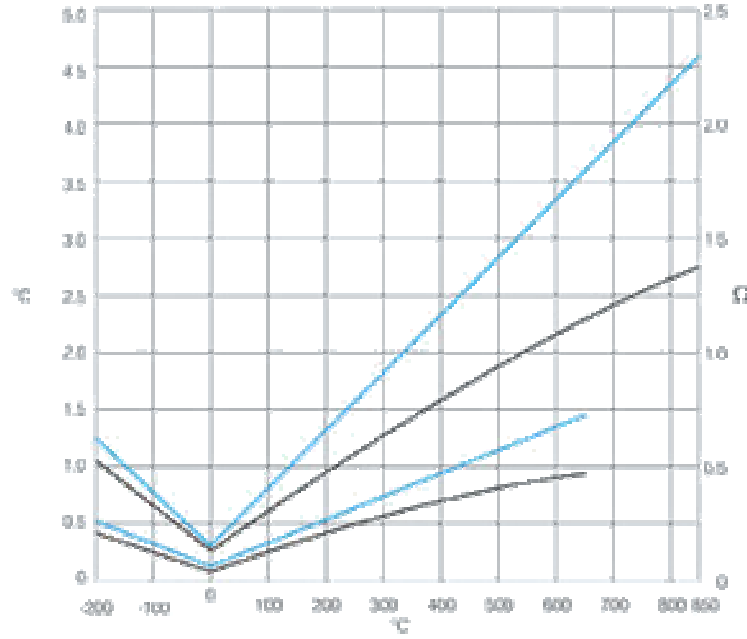
4 Rezistans eleman, sıcaklık değişimine göre değişen elektrik rezistanslı telden yapılmıştır. Tipik olarak platin, rodyum-demir, nikel, nikel-demir, tungsten veya bakırdan yapılırlar. Bu cihazlar, basit devre yapılarına, yüksek doğrusallığa, duyarlılığa ve mükemmel kararlılığa sahip oldukları için ısıtma ve soğutma sistemlerinin otomatik kontrolünde oldukça yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bu malzemelerin seçimi, sıcaklık aralığı, korozyon korunumu, mekanik kararlılık ve maliyet kriterleri göz önüne alınarak gerçekleştirilir. Uygulamada en çok kullanılan malzemeler nikel ve platin'dir.  $0^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 100 ohm ya da 1000 ohm direnç veren ince filmlili sıcaklık ölçerler oldukça yaygındır.



Şekil 7.15 Rezistans termometre devre elemanları konfigürasyonu.

1000ohm direnç daha düşük dirençler gibi çok iyi doğrusal olma yeteneğine sahiptirler ve ayrıca onlardan daha düşük saflıkta oldukları için daha ucuzdurlar. Buna rağmen aynı boyutlu duyar elemanlar için direnç değerinin küçük olması zaman sabitinin küçülmesine buna bağlı olarak ta tepki süresinin kısalmasını sağlar. Termistör, sıcaklık değişimiyle elektriksel rezistansı değişen özel bir çeşit yarı iletken malzemelerin

(çoğunlukla metal oksitler), dirençleri sıcaklık ile büyük değişim gösterirler ve bu değişim genellikle artan sıcaklık ile direncin azalması şeklindedir. Yarı iletken malzemeden elde edilen bir termistör elemanı, bacaklar ile bir galvanometreli köprü devresine bağlanabilir ve kalibre edilebilir. Bu ölçme yönteminin kolaylık, hassaslık ve hızlılık gibi üstünlükleri vardır. Termistörler, çoğunlukla, termo eleman ile sıcaklık ölçümlerinde referans sıcaklığının ayarlandığı elektronik sıcaklık ayarlama devrelerinde veya hassasiyeti büyük olan ve sınırlı çalışma aralıklarına sahip uygulamalarda kullanılırlar. (örnek: split klima sistemi).



Şekil 7.16 Rezistans termometre direnç grafiği.

Termo eleman, birbirine bağlı uçları arasında sıcaklık değişiminin fonksiyonu olarak değişen voltajın meydana geldiği iki farklı metalin birleşmesidir. Tellerin yapılmış oldukları malzemelere ve birleşme noktasının bulunduğu ortamın sıcaklığına bağlı olarak teller arasında bir elektromotor kuvveti oluşur. Sıcaklık ölçümlerinde termo elemanların platin/nikel dirençli ölçüm cihazlarına göre kesinlikleri daha azdır. Düşük maliyetleri, kullanım kolaylıkları ve orta dereceli güvenilirlikleri ile termo elemanların kullanımları oldukça yaygındır. Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılanları Bakır&Konstantan (T) ve Demir&Konstantan (J) 'tır.

5. Sıcaklıkla değişim gösteren her cihaz, gerçekte bir termometredir, ancak termometre terimi çoğu zaman sıcaklığı gösteren içi sıvı doldurulmuş bir cam tüp için kullanılır. Sıvılı termometreler, ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme endüstrisinde birçok uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu kullanımlardan bazıları, soğutucu ve ısıtıcı akışkan sıcaklıkları ve hava sıcaklıkları gibi ısıtma soğutma sistemlerinde kullanılan akışkanların

sıcaklıklarının belirlenmesidir. Yüksek doğruluk ve düşük maliyetlerinden dolayı cıvalı cam termometrelerin sıcaklık ölçümlerinde kullanımı oldukça yaygındır. Fakat gazlardaki ölçümlerde, doğruluk ısı ışınımdan etkilenir. Teorik ölçüm aralıkları  $-38/550\text{ C}$ 'dir.

### 7.3.2 Nem Hisseden Elemanlar

Nem hisseden aygıtlar genelde şunlardır:

- 1 Higroskopik: boyutsal veya şekilsel değişerek mekaniksel bir sapmaya sebebiyet veren (saç, ahşap, kâğıt veya hayvan zarı gibi organik malzemeler ve naylon gibi yapay malzemeler)
- 2 Elektriksel elemanın higroskopik yapısından dolayı karakteristiğinde (rezistans veya kapasitans) değişime sebebiyet veren.

### 7.3.3 Basınç Hisseden Elemanlar

Basınç hisseden elemanlar, basınç aralığına bağlı olarak iki genel sınıfa ayrılabilirler.

- 1 Basınç veya vakum değerleri  $\text{kg/cm}^2$  veya  $\text{mmHg}$  ( $\text{mm civa}$ ) cinsinden ölçüldüğünden, eleman, genelde körük, diyafram veya Bourdon tüpüdür. Ölçüm elemanının bir tarafı atmosfere açık olabilir ki bu durumda eleman, atmosferik seviyenin üstündeki veya altındaki basınçlara cevap verir. Fark basınç elemanının, iki basınç aralığındaki farka cevap verebilmesi için her iki tarafla da bağlantısı vardır.
- 2 Genelde, su sütunu cinsinden ölçüldüğünden hava kanalındaki statik basınç gibi düşük basınç veya vakum için ölçüm elemanı, yağ içerisine daldırılmış ters bir bell, geniş esnek bir diyafram veya bir metal köruktür. Orifislerle bağlantılı olarak kullanıldığında, eleman diferansiyel tiplerden bir tanesidir. Pitot tüpleri ve benzer aksesuarlar statik basınç ölçümü için kullanıldığı gibi akış, hız veya sıvı seviyesini ölçmek için de kullanılabilir.

### 7.3.4 Su Akışını Hisseden Elemanlar

Su akışını hisseden elemanlar, çeşitli temel hissetme prensiplerini ve aşağıdaki aygıtları kullanabilirler: orifis plakası, Pitot tüpü, ventüri, akış nozulları, türbin metre, manyetik akış ölçer ve vorteks geçirmeyen akış ölçer.

Bunların her birisinin ölçüm aralığı karakteristikleri, hassasiyeti ve karmaşıklığına bağlı olarak değişen ve farklı durumlar için kullanılmasını uygun kılan maliyetleri vardır. Genelde, fark basınç tipli aygıtlar (orifis plakaları, Pitot tüpleri, ventüriler ve akış nozulları) basit ve fiyatları makuldür fakat ölçme sahası sınırlıdır. Bu elemanların hassasiyetleri, uygulama ve

kullanım şekline bağlıdır. Türbin, manyetik veya vorteks geçirmeyen akış ölçerler kullanılarak daha sofistike akış hissedilmesi demek daha pahalı fakat iyi ölçüm aralığına sahip olmak demektir. Bu yüzden, ölçüm yapabilen akışın tamamında hassas değerler elde edilir.

### **7.3.5 Diğer Hissedici Elemanlar**

Yangın algılama veya duman yoğunluğu, iç hava kalitesi, rüzgâr yönü/şiddeti, iletkenlik, seviye, mahal meşguliyeti, spesifik yerçekimi, akım, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO) vb. değerleri ölçme gibi başka amaçlar için kullanılan hissedici elemanlar, ısıtma, havalandırma veya hava şartlandırma sistemlerinin komple kontrolü için çoğu kez gereklidir.

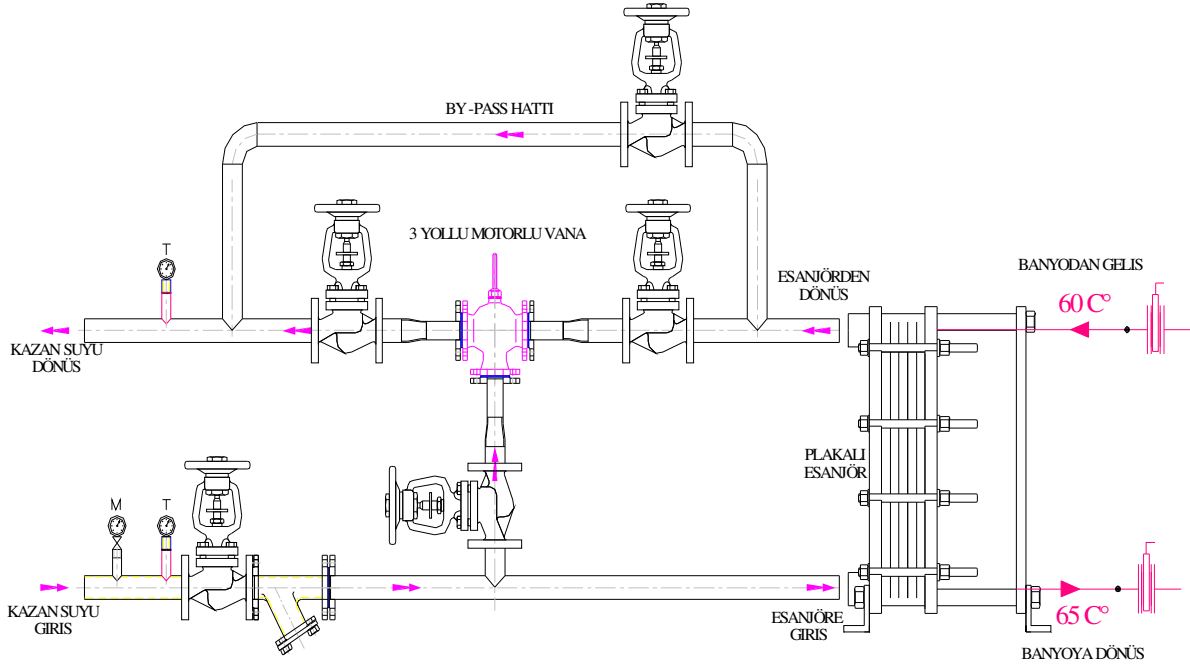
## **7.4 Otomatik Kontrol Vanaları Uygulamaları**

Otomatik kontrol sistemlerinin en önemli elemanları olan motorlu vanaların kendilerinden beklenen görevi tam olarak yerine getirebilmeleri için, hidronik devre içindeki yerlerinin ve boyutlarının doğru olarak belirlenmiş olması gerekmektedir. Isıtma ve havalandırma sistemlerinde bulunan ısıtıcı ve soğutucu ünitelerin ısı ihtiyaçları, bu ünitelerin hizmet ettiği mahallerin değişen ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarına bağlı olarak sürekli değişirler. Bu ise, ısıtıcı veya soğutucu üniteden geçen suyun (akışkanın) debisinin veya sıcaklığının aynı şekilde sürekli değiştirilmesini gerektirir. Debi veya sıcaklık değiştirme işlemleri, hidronik devre üzerinde yer alan iki, üç veya dört yollu motorlu vanalarla sağlanır. Aşağıda yer alan tüm örneklerde üç yollu vanalar karıştırıcı vana olarak kullanılmıştır. Bilindiği gibi üç yollu motorlu vanalar hem karıştırıcı hem de ayırıştırıcı olarak kullanılabilirler. Üç yollu motorlu vananın ayırıştırıcı olarak kullanılması halinde; vana tapasının (plug) her iki nihai pozisyonuna (tam açık ve tam kapalı) yaklaşması ile birlikte vanadaki akışın yaratacağı büyük basınç kayıpları, tapa üzerinde vuruntular ve aşınmalar meydana getirmektedir. Bu olayları engelleyebilmek ve büyük fark basınç değerlerini kontrol edebilmek için yüksek torklu servomotorlar kullanılmak zorunludur. Üç yollu motorlu vanaların karıştırıcı olarak kullanılması halinde; vana tapasının herhangi bir pozisyonunda tapa üzerine gelen kuvvetler birbirlerini dengeleyecek ve servomotor sadece vana için kabul edilmiş fark basınç düşümü değerini kapabilme durumunda kalacaktır. Bu özellikten dolayı yüksek basınç farkı olan hidronik devrelerde üç yollu vanalar karıştırıcı olarak kullanılırlar. Üç yollu motorlu vanalar buhar ve gaz dışındaki tüm akışkanlar (sıcak su, soğuk su, kızgın su, kızgın yağ vb sıvılarda) için kullanılırlar. İki yollu motorlu vanalar, ağırlıklı olarak debi kontrolünün zorunlu olarak yapıldığı buhar ve gaz benzeri akışkanlar için ve ister değişken debili ister sabit debili sirkülasyon pompaları ile birlikte kullanılırlar.

### 7.4.1 Üç Yollu Vana ile Akışkan Debisi Ayarlanması

Ana sistemdeki akışkan (su) debisi kaba olarak sabit olup, yükteki akışkan debisi değişkendir. Debi değişimleri ana sistemdeki basınç koşullarını değiştirmez fakat yükteki sıcaklık koşullarını etkiler.

Bu sistem kullanılarak, kazanda üretilen sıcak suyun en efektif şekilde kullanılması sağlanmaktadır.



Şekil 7.17 Üç yollu motorlu vana ile sıcaklık kontrolü uygulaması tesisat devresi.

## 8. KATAFOREZ KAPLAMA TESİSİNDE YER ALAN SİSTEMLERİN ANALİZİ

Bu çalışma kapsamında, Bosal Mimaysan Gebze fabrikasında 2007 yılında fabrikası ile birlikte yeni kurulan kataforez boya tesisinde yer alan kaplama öncesi yüzey hazırlama, kaplama ve pişirme süreçlerindeki ısı hesap ve analizler yapılmıştır. Firmada, önceden sadece toz boya uygulaması bulunmakta olup, müşterilerinin kataforez boya istekleri, fason kaplama yapan yerlere ürünlerin gönderilmesi suretiyle karşılanıyordu. Kataforez boya için müşterilerin artan talepleri firmayı yeni fabrikasındaki yatırımı esnasında yüksek olduğu düşünülen yatırım maliyeti nedeniyle kararsız bıraktı. Dolayısıyla, hem mevcut müşterilerin ürünlerinin toz boya yapılabilmesi, hem de yeni müşterileri potansiyelini değerlendirebilmek için kataforez boya uygulanabilmesi için tesis, her iki uygulamayı da gerçekleştirecek şekilde projelendirildi. Bu sistemin termodinamik analizinin yanında, sonraki bölümde irdelenen yatırım ve işletme maliyetleri analizi de firmaya bu kararı vermesinde yön belirleyici olmuştur.

Sürecin tüm adımları ve sistem hesapları 3 ana kısımda incelenecektir.

- Yüzey hazırlama bölümü
- Kataforez boya kaplama bölümü
- Fırınlama bölümü

### 8.1 Sistem Tespiti

Boyama tesislerinin genellikle kendi başlarına bir komple olmaktan ziyade mevcut tesisleri tamamlayıcı bir alt komple oldukları düşünülerek hareket edilmelidir. Diğer bir deyişle, bir boyama tesisi, kapasite tayini, ihtiyaç gösterdiği güç kaynaklarının tespiti, kurulacağı sahanın tespiti, vb. gibi ön şartlar açısından bir parçası olacağı ana tesisten ayrı düşünülemez. Bu sebeple sağlıklı bir projelendirme yapılabilmesi ve uygulama sonrası tamiri güç hataların önlenmesi bakımından öncelikle tesis tasarımı için gereken donelerin karakterleri incelenmelidir.

#### Kapasite tayini

Kurulma aşamasında, tesiste işlem göreceği parça veya parçaların

- Miktar / Zaman olarak (kg/h, adet/h, adet/yıl vb.) ifadesi
- Çeşitleri ve toplam içerisindeki oranları

- İşlem görecek yüzey / kısımların tespiti
- Senelik çalışma günleri, günlük çalışma saatleri ve kaç vardiya olarak çalışıldığı
- Otomasyon derecesi

### **Tesisin kurulacağı saha**

Tesisin yerleştirileceği sahanın bir alan olarak değil de bir hacim olarak bilinmesi mutlaka gereklidir. Ayrıca, boya tesislerindeki bazı ünitelerin zemin-altı çalışmaları gerektirdiği düşünülerek zeminin bu çalışmalara uygun olup olmadığı bilinmelidir. Tesisin yükleme-boşaltma noktalarının, ana tesisin genel imalat akış şemasına ters düşüp düşmediğinin de incelenmesi gerekir. Tesiste gerekebilecek gaz, buhar, sıcak su, elektrik, basınçlı hava tedarik edecek yardımcı tesislerin bulunup bulunmadığı ve ihtiyaç duyulan kapasitelerin tespiti ihmal edilmemelidir.

Ayrıca yukarıda belirtilen otomasyon derecesi de ihmal edilmemeli, sistemde yer alan taşıma, boya sirkülasyon, ısı kontrolü, vb. gibi hususların nasıl kontrol edileceği baştan belirlenmeli ve ilerde gereksiz yere revizyonlara ve dolayısıyla zaman kayıplarına yol açması başlangıç safhasında önlenmelidir.

Bu tesiste amaç, Bosal Mimaysan A.Ş.'de üretilen otomotiv yan sanayi iş parçalarının (egzoz, koltuk, şasi ve karoser, basınçlı hava tüpleri, portbagaj, vb.) müşteri isteklerine uygun kalitede korozyon dayanımı sağlayacak şekilde, boya uygulamasını sağlamaktır.

### **8.2 Tesisin boyutlandırılmasında göz önüne alınan kritik iş parçaları**

Hava tüpleri, silindirik parçalar olup, 6lt.den 45 lt.'ye kadar üretilmektedir. Tüpler, çinko fosfat kaplandıktan sonra toz boya ile boyanmaktadır. Parçanın yapısı silindirik yapısından dolayı kaplama tankına batırılmadığından kataforez boya yapmaya uygun olmamakta, toz boya ile kaplanmaktadır.



Şekil 8.1 Basınçlı hava tüpü

Portbagaj parçaları, ebat olarak en büyük parçaları oluşturmakta, uzunlukları 2200 mm. Yüksekliği 1.600 mm.yi bulmaktadır. Hat tasarlanırken, bu parçaların da işlem göreceği göz önüne alınarak boyutlandırma yapılmıştır.

Şasi ve karoser parçaları, motor beşiği, ara destek elemanları, yakıt depo tutucuları, radyatör tutucuları, destek parçaları (braketler), motor beşiği ve tamponları kapsamakta olup, genellikle küçük ve orta ebatlı parçalardan oluşmaktadır. Kapasite hesabında dikkate alınmıştır.



Şekil 8.2 Örnek şasi ve karoser parçaları

Maksimum ağırlık : 25 kg / adet

Maksimum uzunluk : 2200 mm.

Maksimum yükseklik : 1.600 mm.

Maksimum malzeme çapı : 400 mm

### 8.3 Tesiste Proses Sırası

- Yükleme (Konveyöre asma)
- Yüzey İşlem
  - Ön yağ alma
  - Yağ alma
  - Durulama I
  - Durulama II
  - Aktivasyon
  - Çinko Fosfatlama
  - Durulama III
  - Pasivasyon
  - D.I.Durulama
  - Hava Duşu
- Kataforez boyama
  - Ultrafiltre yıkama
  - D.I durulama
  - Hava duşu
- Kataforez boya pişirme
- Boşaltma (konveyörden indirme)

### Tesiste mevcut enerji

- Elektrik : 220 / 380 Volt , 50 Hz, 450 kW
- Su : Şebeke suyu , 2 bar
- D.I su : 5–20  $\mu$ S/cm, 3 m<sup>3</sup>/h
- Sıcak Su : 90 / 70 °C , 1.250.000 kcal /h
- Doğalgaz : 300 mbar 175 Nm<sup>3</sup>/h
- Basınçlı Hava : 6 bar , 5 m<sup>3</sup> / dakika

### 8.4 Konveyör Hızının Tespiti

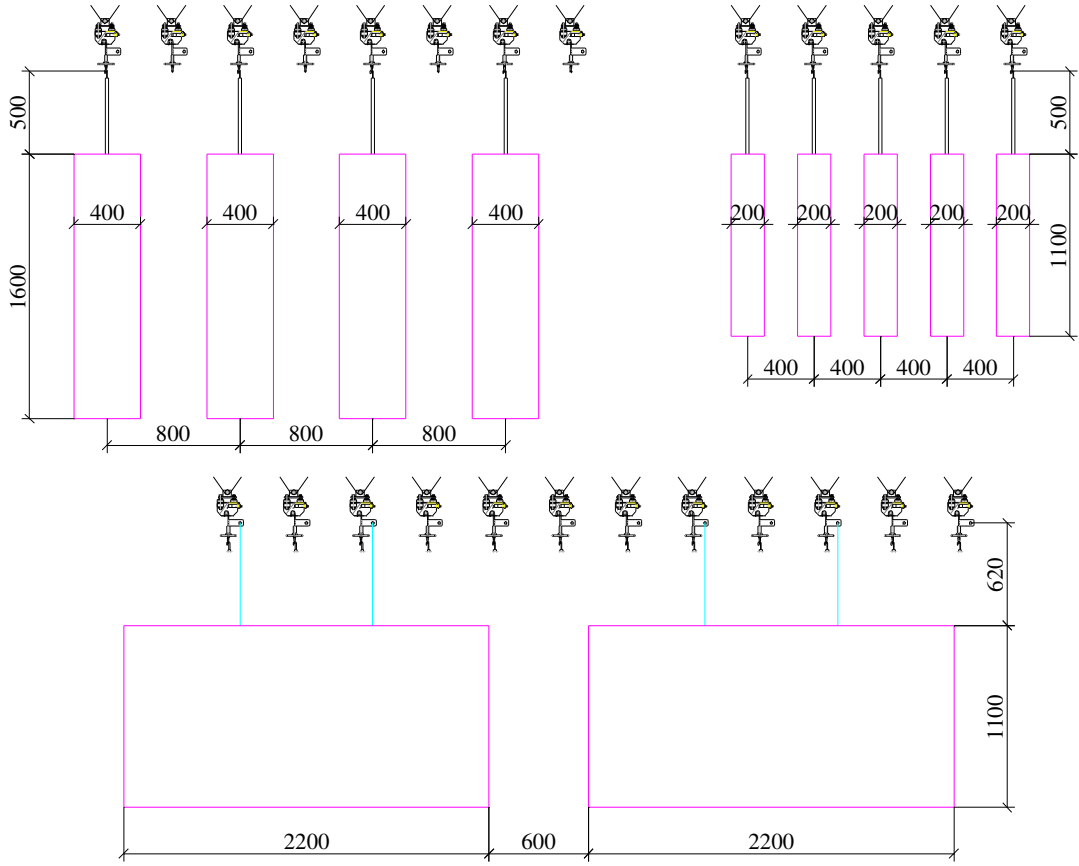
Oluşturduğumuz tesiste askı gruplarına farklı parçalar asacağımızdan boyutları büyük olan parçalar göz önüne alınarak askı grubu boyutları tespit edilir ve diğer tip parçalar da bu prizmaya yerleştirilir. (Şekil 7.3) Aynı formülden her bir parça tipi için hesaplanan m/h değerleri toplanarak asgari hıza , yine aynı şekilde % 20 emniyet faktörü ilave edilerek nominal hıza ulaşılır.

Saatteki parça sayısı : n (adet/saat)

Bir askıdaki parça sayısı : m (adet/Askı)

Askı hatvesi : p (metre/askı)

Konveyör hızı : v (metre/saat)



Şekil 8.3 İş parçalarının askı şekli.

$$v = (n \times p) / m \text{ formülünden her farklı parça için değerlerini yerine koyarsak ;} \quad (10.1)$$

$$v_1 = (50 \times 0,8) / 1 \quad (10.2a)$$

$$v_1 = 40 \text{ m / h} = 0,67 \text{ m/dakika (minimum konveyör hızı)} \quad (10.2b)$$

$$v_2 = (40 \times 0,4) / 1 \quad (10.3a)$$

$$v_2 = 16 \text{ m / h} = 0,26 \text{ m /dakika (minimum konveyör hızı)} \quad (10.3b)$$

$$v_3 = (15 \times 2,8) / 1 \quad (10.4a)$$

$$v_3 = 42 \text{ m / h} = 0,7 \text{ m/dakika (minimum konveyör hızı)} \quad (10.4b)$$

$$v_{\text{toplam}} = 0,67 + 0,26 + 0,7 = 1,63 \times 1,20 = 1,956 \rightarrow 2 \text{ m / dakika olarak seçilmiştir.} \quad (10.5)$$

## 8.5 Yüzey Hazırlama Tesisi

### 8.5.1 Ön Yağ alma Ve Yağ Alma Banyoları

Yüzey hazırlama bölümünün ilk adımı olan yağ alma banyosu ile ilgili özellikler önceki bölümlerde işlenmişti. Burada yağ alma bölümünün analizi yapılmıştır.

Banyo tasarım ve işletme parametreleri aşağıda belirtilmiştir.

- İşlem süresi : 1,5 dakika
- İşlem Sıcaklığı : 60 – 65 °C
- Konveyör hızı : 2 m / dakika

olduğuna göre, buradan rampa grubu boyu ; 2 m /dakika  $\times$  1,5 dakika = 3 m.

Rampalar arası optimum mesafe 300 mm alındığından buradan rampa sayısı:

$$(3 \text{ m} / 0.3 \text{ m}) + 1 = 11 \text{ adet rampa alınır.}$$

Bir rampadaki nozul sayısı , tüm parçayı tarayacak şekilde minimum nozul sayısı tespit edilir.

Şekil 7.4'te görüleceği üzere 15 adet nozul / rampa olarak bulunur.

11 rampada toplam , 11 rampa  $\times$  15 nozul /rampa = 165 nozul olarak nozul sayısı bulunur.

İhtiyaç duyulan pompa debisi,

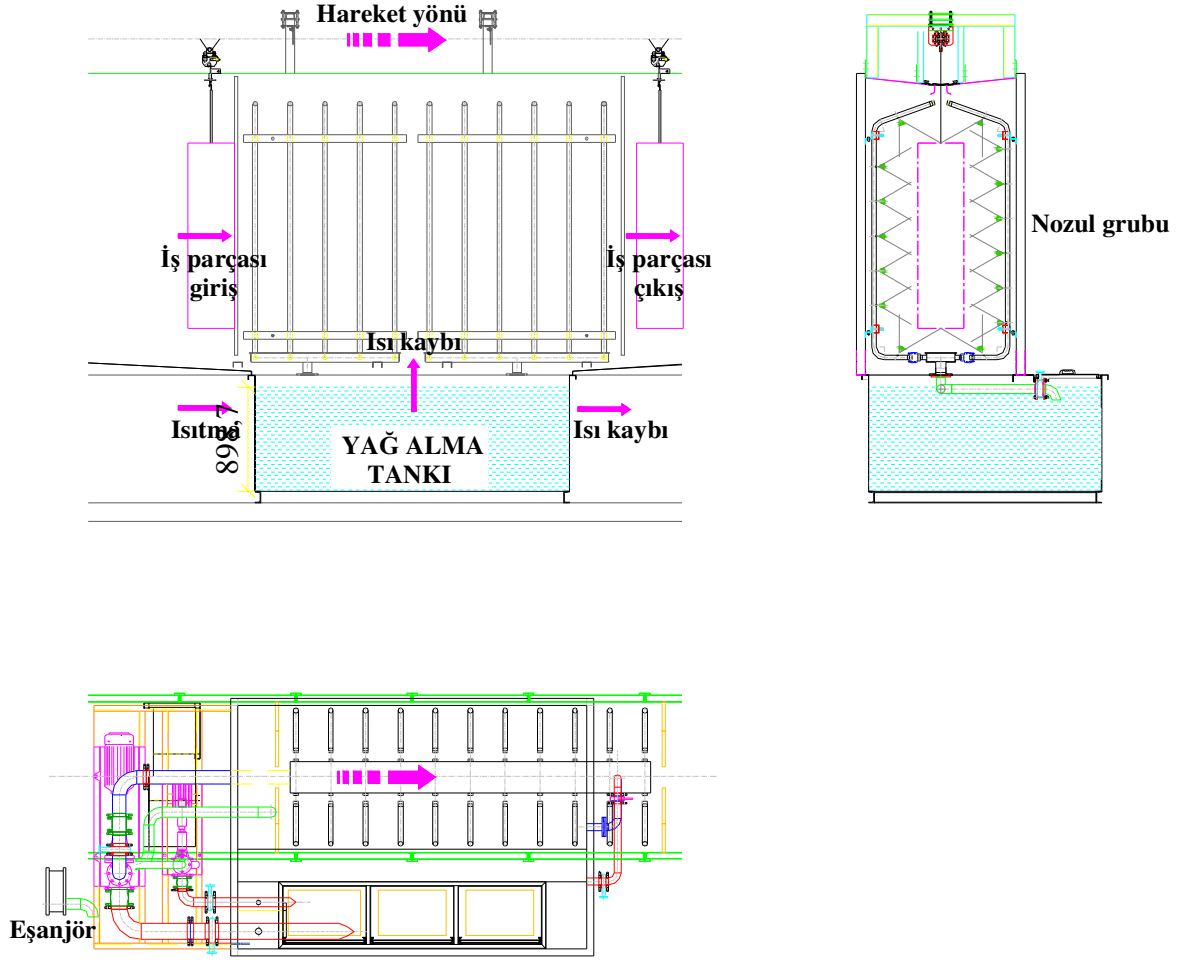
$$Q_{\text{pompa}} = 165 \text{ nozul} \cdot 15 \text{ lt /dakika nozul} \cdot 1.15$$

$$= 2.474 \text{ lt/dakika} \cdot 1,15 = 2846 \text{ lt /dakika} = 170 \text{ m}^3/\text{h}$$

Banyo hacmi ise, sprey pompasının tanktaki solüsyonu saatte en az 2,5 defa devridaim etmesi istendiğinden;

$$2446 \text{ lt /dakika} \times 2,5 \text{ dakika} = 6110 \text{ lt olarak bulunur.}$$

Isıtma pompası eşanjör devresi üzerinde yer almaktadır. Tanktan aldığı suyu, plakalı eşanjörden geçirerek tanka geri gönderir. Rejime girdikten sonra da tesisatta yer alan sıcaklık ölçme sensörü yardımıyla, plakalı eşanjörün diğer devresinde ısıtma kaynağı olarak kullanılan 90/70 °C sıcak su devresi üzerinde yer alan 3 yollu motorlu vanaya kumanda ederek, banyo sıcaklığını kontrol altında tutar.



Şekil 8.4 Yağ alma banyosu prensip resmi.

Sistemde, 60<sup>0</sup>C sıcaklığa kadar harici plakalı tip bir ısı eşanjörü ile ısıtılan 50 mm kaya yünü ile izoleli paslanmaz çelik 5 m<sup>3</sup> (2,7m x 2m x 0,9m) su hacmine sahip tankta yer alan sulu çözelti, sistem rejime girdikten sonra, iş parçaları üzerine 1,5 dakika süre yıkama nozulları ile püskürtüldükten sonra tanka geri dönmektedir. Çalışma süresince sıcaklığın istenen değerde kalabilmesi sağlanmalıdır.

Bu sistemin ısıl analizinde, iş parçalarının ısıl özelliklerinin sabit, banyoya girdiklerinde ve çıktıklarında üniform sıcaklığa sahip olup kinetik ve potansiyel enerji değişimleri sıfırdır, kabulleri yapılmıştır. Bu durumda yağ alma zonu ısı hesabı için aşağıdaki ısılar hesaplanabilir.

- Suyu ısıtmak için verilmesi gereken ısı (Q<sub>1</sub>)

$$Q_1 = m.c.\Delta t \text{ formülünden değerler yerine yazılırsa;} \quad (10.6)$$

$$Q_1 = 6.000 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kcal/kg} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (65 - 15^\circ\text{C}) / 1 \text{ h} = 300.000 \text{ kcal/h}$$

- Tank cidarlarından gerçekleşen ısı kaybı ( $Q_2$ )

$$Q_2 = k.A.\Delta t \text{ formülünden değerler yerine yazılırsa;} \quad (10.7)$$

Tank cidarı 50 mm cam yünü ile izoleli olup, birleştirilmiş ısı transfer katsayısı aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\Delta} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (10.8)$$

$$k = 1 / [ (1 / 7) + (0.05 / 0.035) + (1 / 20) ] = 0,62 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 0,62 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \cdot 15 \text{ m}^2 \cdot (60-20^\circ\text{C}) / 1 \text{ h} = 400 \text{ kcal/h}$$

- Banyo yüzeyinden kaybedilen ısı ( $Q_3$ )

$$Q_3 = q_1.A \text{ formülünden değerler yerine yazılırsa;} \quad (10.9)$$

$$Q_3 = 2.000 \text{ kcal/ m}^2 \text{ h} \cdot (2,7. 2) \text{ m}^2 = 10.800 \text{ kcal/h}$$

- Suyun parçaya verdiği ısı ( $Q_4$ )

$$Q_4 = m.c.\Delta t \text{ formülünden değerler yerine yazılırsa;} \quad (10.10)$$

$m$  , sistemden geçen iş parçasının toplam ağırlığıdır.

$$m = 60 \text{ kg/askı} \cdot 2 \text{ m/dak} \cdot 1/0,8 \text{ m} \cdot 60 \text{ dak./h} = 9.000 \text{ kg/h}$$

$$c_p = 0,12 \text{ kcal/ kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = 9.000 \text{ kg/h} \cdot 0,12 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \cdot (45 - 15)^\circ\text{C} = 32.400 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{toplamlam} = ( Q_1 + Q_2 + Q_3 ) \cdot 1,15 \text{ (Emniyet payı)}$$

$$Q_{toplamlam} = ( 300.0000 + 400 + 10.800 ) \cdot 1,15 = 350.000 \text{ kcal/h}$$

Sistem rejime girdikten sonra, çalışma esnasında kaybedilen ısıların sistemin rejim şartlarını sağlayacak kapasitede olduğu aşağıdaki eşitlik gerçekleştiği takdirde sağlanır.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 > Q_4 + Q_2 + Q_3 \text{ sağlanmalıdır.}$$

$$311.200 \text{ kcal/h} > 43.600 \text{ kcal/h}$$

### 8.5.2 Durulama I ve Durulama II Banyoları

Yağ alma banyolarının ardından askılar durulama banyolarına girer. Şebeke suyu kullanılarak hazırlanan banyolarda;

- Durulama süresi : 30 sn.
- İşlem Sıcaklığı : ortam sıcaklığı
- Konveyör hızı : 2 m / dak.

Rampa grubu boyu = 30 sn . 2 m / dak. = 1 m.

Rampa Sayısı = 1 / 0.3 = 3,3 ≈ 4 adet rampa

Nozul Sayısı = 4 rampa × 15 nozul /rampa = 60 adet nozul

İhtiyaç duyulan pompa debisi,

$$Q_{\text{pompa}} = 60 \text{ nozul} \times 15 \text{ lt /dak nozul} \times 1.15 = 1035 \text{ lt /dak} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$$

Banyo hacmi ise ,

$$V_{\text{Tank}} = 900 \text{ lt /dak} \times 2.5 \text{ dak} = 2250 \text{ lt olarak bulunur.}$$

Bu proste ısıtma devresi yoktur. Durulama işlemi ısıtma yapılmadan uygulanmıştır.

### 8.5.3 Aktivasyon Banyosu

Durulama banyolarının ardından askılar fosfatlama öncesi aktivasyon banyosuna girer. D.I. su kullanılarak hazırlanan banyolarda;

- Aktivasyon süresi : 45sn.
- İşlem Sıcaklığı : ortam sıcaklığı (10-30 °C)
- Konveyör hızı : 2 m / dak.

Rampa grubu boyu = 45 sn . 2 m / dak. = 1,5 m.

Rampa Sayısı = (1,5 / 0.3) = 5+1 = 6 adet rampa

Nozul Sayısı = 6 rampa × 15 nozul /rampa = 90 adet nozul

İhtiyaç duyulan pompa debisi ,

$$Q_{\text{pompa}} = 90 \text{ nozul} \times 15 \text{ lt /dak nozul} \times 1.15 = 1550 \text{ lt /dak} = 90 \text{ m}^3/\text{h}$$

Banyo hacmi ise ,

$$V_{\text{Tank}} = 1350 \text{ lt /dak} \times 2,5 \text{ dak} = 3500 \text{ lt olarak bulunur.}$$

Bu proseste istenen sıcaklık şartları 10-30<sup>0</sup>C arasında olduğundan banyonun kış şartlarında dahi ısıtma devresine ihtiyaç duymaz.

#### 8.5.4 Çinko Fosfatlama Banyosu

Fosfatlama Süresi : 2 dak.

İşlem Sıcaklığı : 50 – 55 °C

Rampa Grubu Boyu = 2 m / dak × 2 dak. = 4 m.

4 m / 0,3 m = 13,3 ≈ 14 adet rampa

14 rampa × 15 nozul / pampa = 210 nozul

Pompa debisi ,

$$Q_{\text{pompa}} = 210 \text{ nozul} \times 13,5 \text{ lt /dak nozul} = 2850 \text{ lt /dak} = 175 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Tank hacmi ,

$$V_{\text{Tank}} = 2850 \text{ lt / dak} \times 2,5 \text{ dak} = 8000 \text{ lt olarak bulunur.}$$

Banyo ısı ihtiyacı ,

- Suyu ısıtmak için verilmesi gereken ısı (Q<sub>1</sub>)

$Q_1 = m.c.\Delta t$  formülünden değerler yerine yazılırsa;

$$Q_1 = 8.000 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} \cdot (55 - 15^{\circ}\text{C}) / 1 \text{ h} = 320.000 \text{ kcal/h}$$

- Tank cidarlarından gerçekleşen ısı kaybı (Q<sub>2</sub>)

$Q_2 = k.A.\Delta t$  formülünden değerler yerine yazılırsa;

Tank cidarı 50 mm cam yünü ile izoleli olup, birleştirilmiş ısı transfer katsayısı aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\Delta} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$k = 1 / [ (1 / 7) + (0.05 / 0.035) + (1 / 20) ] = 0,62 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_2 = 0,62 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \cdot 23 \text{ m}^2 \cdot (60-20^\circ\text{C}) / 1\text{h} = 570 \text{ kcal/h}$$

- Banyo yüzeyinden kaybedilen ısı ( $Q_3$ )

$$Q_3 = q_1 \cdot A \text{ formülünden değerler yerine yazılırsa;}$$

$$Q_3 = 2.000 \text{ kcal/ m}^2 \text{ h} \cdot (3. 2) \text{ m}^2 = 12.000 \text{ kcal/h}$$

- Suyun parçaya verdiği ısı ( $Q_4$ )

$$Q_4 = m \cdot c \cdot \Delta t \text{ formülünden değerler yerine yazılırsa;}$$

$m$ , sistemden geçen iş parçasının toplam ağırlığıdır.

$$m = 60 \text{ kg/askı} \cdot 2 \text{ m/dak} \cdot 1/0,8 \text{ m} \cdot 60 \text{ dak./h} = 9.000 \text{ kg/h}$$

$$c_p = 0,12 \text{ kcal/ kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = 9.000 \text{ kg/h} \cdot 0,12 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \cdot (45 - 15)^\circ\text{C} = 32.400 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{toplama} = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot 1,15 \text{ (Emniyet payı)}$$

$$Q_{toplama} = (320.0000 + 570 + 12.000) \cdot 1,15 = 385.000 \text{ kcal/h}$$

Sistem rejime girdikten sonra, çalışma esnasında kaybedilen ısıların sistemin rejim şartlarını sağlayacak kapasitede olduğu aşağıdaki eşitlik gerçekleştiği takdirde sağlanır.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 > Q_4 + Q_2 + Q_3 \text{ sağlanmalıdır.}$$

$$332.570 \text{ kcal/h} > 44.970 \text{ kcal/h}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \text{ yardımıyla, } Q = 8000 \times 1000 \times (55-5) = 400000 \text{ kcal / h}$$

### 8.5.5 Kataforez banyosu

Yüzey işlem hattından sonra iş parçaları kataforez boya tankına daldırılırlar. Sistem, 28–32 °C sıcaklık aralığında işletilen, 5 mm kalınlığında çelik sacdan imal edilmiş, içi 5 mm cam elyaf takviyeli polyester ile kaplanmış kayık şeklinde imal edilmiş, belirli bir boya hacmine sahip kataforez boya tankında, iş parçaları istenen kaplama kalınlığına bağlı olarak ayarlanabilen belli bir voltajın banyoya verilerek yaklaşık 3 dak. süre ile uygulanmasını kapsar.

Kataforez boya tankı sürekli ısı kazandığından (sirkülasyon pompaları, elektrik akımı, sürtünme vb.) sistemde hava soğutmalı su soğutma grubu kullanılarak üretilen soğuk su plakalı eşanjörden geçirilerek yine üç yollu motorlu vana kumandası ile banyo sıcaklığı

kontrolü sağlanmaktadır.

Kataforez tankı, iş parçası ölçülerine ve iş parçasının tankta yaklaşık 3 dak. boyunca kalacak şekilde ilerleyebildiği göz önüne alınarak boyutlandırılır. Şekli 7.5'te görülen sistemin banyo hacmi yaklaşık 30 m<sup>3</sup>'tür.

Bölüm 5.5.4'te incelenen boya sirkülasyonu ve sıcaklık kontrolü için gerekli değerler,

Banyo hacmi saatte devir sayısı 5 kere olarak seçilerek, devridaim için gerekli pompa debisi ihtiyacı hesaplanır.

$V = 30 \text{ m}^3 \cdot 5 \text{ defa/h} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$  kapasiteli pompalar kullanılır.

Tanktaki taşkan bölümünden emilen boya, tank kesiti boyunca tankın zeminine kullanılacak nozulların etki alanına ve kapasitesine göre ölü bölge bırakmayacak şekilde yerleşimi yapılır.

1,5 bar'da 51 lt/dak. debi verebilen püskürtme memeleri kullanılacaktır.

Tank içinde 48 adet yüksek verimli püskürtme memesi (eductor) yerleştirilmiş, tank yüzeyindeki akışa yardımcı olmak için giriş bölümüne de 3 adet solid-jet tip püskürtme memesi ilave edilmiştir. Gerekli sirkülasyon debisi böylece sağlanmıştır.

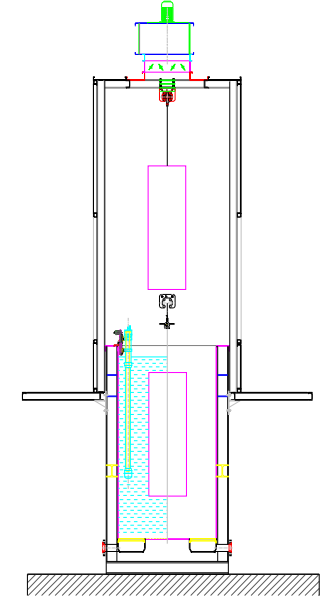
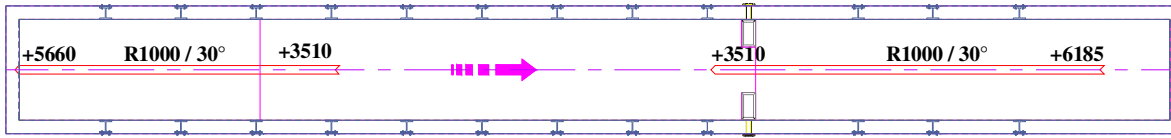
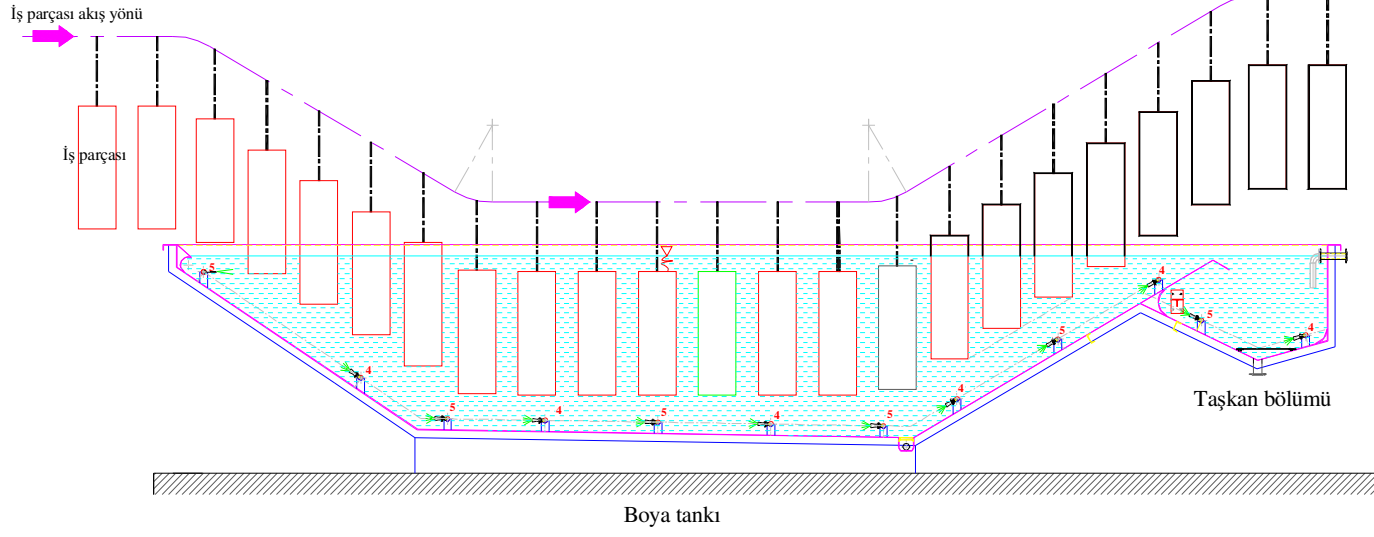
$48 \text{ adet} \times 51 \text{ lt/dak} = 2448 \text{ lt/dak} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$

Başlangıçta hesaplanan üretim kapasitesinde üretim miktarı olarak yüzey üretimi 450m<sup>2</sup>/h'dir. Banyoda askıların maksimum 3 dak. kalacak şekilde düzenlenmesi sebebiyle;

Tanka dalan yüzey alanı (Katot alanı) =  $(450 \text{ m}^2/\text{h} \cdot 3 \text{ dak}) / 60 = 22,5 \text{ m}^2$  olmaktadır.

Anot katot oranı 1/4 olarak alındığında, 1,7 m. Boyundaki anot 0,26 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip olduğundan, sistemde toplam 22 adet anot olup, 5,6 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir.

Şekil 8.5 Kataforez boya tankı prensip resmi.



Bu sistemin ısıl analizinde, iş parçalarının ısıl özelliklerinin sabit, banyoya girdiklerinde ve çıktıklarında üniform sıcaklığa sahip olup kinetik ve potansiyel enerji değişimleri sıfırdır, kabulleri yapılmıştır. Bu durumda kataforez tankı ısı hesabı için aşağıdaki hesaplar yapılmıştır.

Kataforez banyosunda genel kural, banyonun sıcaklığının 25-32<sup>0</sup>C aralığında kalmasının sağlanmasıdır. Bu değerler kataforez boya tiplerine göre değişebilir. İnceleme konusu Bosal Mimaysan firmasında, bu değerler 28-32<sup>0</sup>C aralığıdır.

Sıcaklık ayarı için, ısıtma ve soğutma otomatik sistemleri bulunması gerekir. İşletme şartlarında sistem sürekli ısı kazandığından ısıtma sistemine aslında gerek yoktur. Ancak, tank dolumu sonrasında ve kış aylarında duraklamalar sonucunda olabilecek sıcaklık düşmelerine karşı kullanılır. Soğutma ise kaplama esnasında ortaya çıkan ısının banyo sıcaklığını arttırmasını önlemek amacıyla gereklidir.

Kurulu kapasitelerin belirlenmesinde;

Isıtma için ilk dolumda, kış şartları göz önüne alındığında su sıcaklığının 10<sup>0</sup>C kabulü ile ilk dolumda boya kullanımdan önce yaklaşık olarak 12–24 arası devridaim ettirilir. Dolayısıyla rejime girmek için rejime 4 saatte gireceği kabulü yapılır.

- Banyoyu ısıtmak için verilmesi gereken ısı

$Q_1 = m.c.\Delta t$  formülünden değerler yerine yazılırsa;

$$Q_1 = 30.000 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} \cdot (30 - 10^{\circ}\text{C}) / 4 \text{ h} = 150.000 \text{ kcal/h}$$
 ısıtma için yeterlidir.

Sistem sürekli ısı kazandığından banyoyu rejimde tutmak için önemli olan soğutma ihtiyacıdır

- Banyoya uygulanan voltaj ile anotlardaki elektrik akımı ile kazanılan ısı ( $Q_1$ )

$Q_1 = V.I.\Delta t$  formülü maksimum redresör kapasitesi için uygulanırsa,

V=Voltaj (Kurulu redresörde maksimum uygulama voltajı 400 Volt.tur)

I = amper (Tankta yer alan anotlar m<sup>2</sup> başına 6,92 A akım vermektedir. Toplam 5,6 m<sup>2</sup> anot yüzeyi için maksimum akım değeri 6,92 A/m<sup>2</sup> x 5,6 m<sup>2</sup>=38,75 A olacaktır.)

$\Delta t$  = saniye ( Voltajın uygulanmasında geçen zaman)

$$Q_1 = 400.38,75.3600=55.850.000 \text{ jul} = 13.500 \text{ kcal/h}$$

- Banyoyu devridaim eden pompalardan kazanılan ısı ( $Q_2$ )

Sistemde toplam 3 adet pompa bulunmakta olup, 2 adedi ana tankı devridaim ettirmekte, 1 adedi de yine tanktan aldığı boyayı ultrafiltre membranlarına basmaktadır.

Sirkülasyon pompaları her biri 75 m<sup>3</sup>/h kapasiteli 25 mSS basma yüksekliğinde 11 kW güce sahiptir.

Ultrafiltre pompası 60 m<sup>3</sup>/h kapasiteli (membranlarda basınç kaybı 2,4 bar olduğundan) 40 mSS basma yüksekliğinde 18,5 kW güce sahiptir.

Bu analizde, akışın düzgün ve sıkıştırılmaz olduğu, pompa harici bir motorla tahrik ettirildiğinden motorun açığa çıkardığı ısının atmosfere yayıldığı, pompanın giriş ve çıkışının aynı kotta ve akışkanın pompa giriş ve çıkışında aynı hızda olduğu kabulü yapılmıştır.

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = (1000 \text{ kg / m}^3)(75 \text{ m}^3 / \text{h}) / (3600 \text{ s / h}) = 21 \text{ kg / s}$$

Motor verimi de göz önüne alındığında (%88) ;

$$\dot{W}_{\text{pompanili}} = \eta_{\text{motor}} \dot{W}_{\text{elektrik}} = (0,88)(11) = 9,68 \text{ kW}$$

Pompanın mekanik verimliliğini hesaplayarak ısıya dönüşen enerjiyi hesaplayabiliriz.

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{E}_{\text{çıkkan}} - \dot{E}_{\text{giren}} = \dot{m} \left( \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \left( \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right)$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) = 21 \text{ kg / s} \left( \frac{(300) \text{ kPa}}{1000 \text{ kg / m}^3} \right) \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) = 6,3 \text{ kW}$$

Dolayısıyla 9,68 kW lık enerjinin 6,3 kW'ı işe, kalan 3,38 kW 'ı ısıya dönüşen kısımdır.

Ultrafiltre pompasında aynı hesabı yaparsak

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = (1000 \text{ kg / m}^3)(60 \text{ m}^3 / \text{h}) / (3600 \text{ s / h}) = 16,7 \text{ kg / s}$$

Motor verimi de göz önüne alındığında (%88) ;

$$\dot{W}_{\text{pompanili}} = \eta_{\text{motor}} \dot{W}_{\text{elektrik}} = (0,88)(18,5) = 16,3 \text{ kW}$$

Pompanın mekanik verimliliğini hesaplayarak ısıya dönüşen enerjiyi hesaplayabiliriz.

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{E}_{\text{çıkkan}} - \dot{E}_{\text{giren}} = \dot{m} \left( \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \left( \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right)$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) = 16,7 \text{ kg / s} \left( \frac{(650) \text{ kPa}}{1000 \text{ kg / m}^3} \right) \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) = 10,86 \text{ kW}$$

Dolayısıyla 16,3 kW lık enerjinin 10,86 kW'ı işe, kalan 5,44 kW 'ı ısıya dönüşen kısımdır.

Pompalardan toplam kazanılan enerji

$$Q_2 = (3,38 \text{ kW} \cdot 2 \text{ adet}) + (5,44 \text{ kW} \cdot 1 \text{ adet}) = 12,2 \text{ kW} = 10.500 \text{ kcal/h} \text{ olmaktadır.}$$

- Boyanın parçaya verdiği ısı ( $Q_3$ )

$Q_3 = m.c.\Delta t$  formülünden değerler yerine yazılırsa;

$m$ , sistemden geçen iş parçasının toplam ağırlığıdır.

$$m = 60 \text{ kg/askı} \cdot 2 \text{ m/dak} \cdot 1/0,8 \text{ m} \cdot 60 \text{ dak./h} = 9.000 \text{ kg/h}$$

$$c_p = 0,12 \text{ kcal/ kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_3 = 9.000 \text{ kg/h} \cdot 0,12 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \cdot (32 - 15)^\circ\text{C} = 18.360 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{toplamlam}} = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot 1,15 \text{ (Emniyet payı)}$$

$$Q_{\text{toplamlam}} = (13.500 + 10.500 + 18.360) \cdot 1,15 = 48.750 \text{ kcal/h}$$

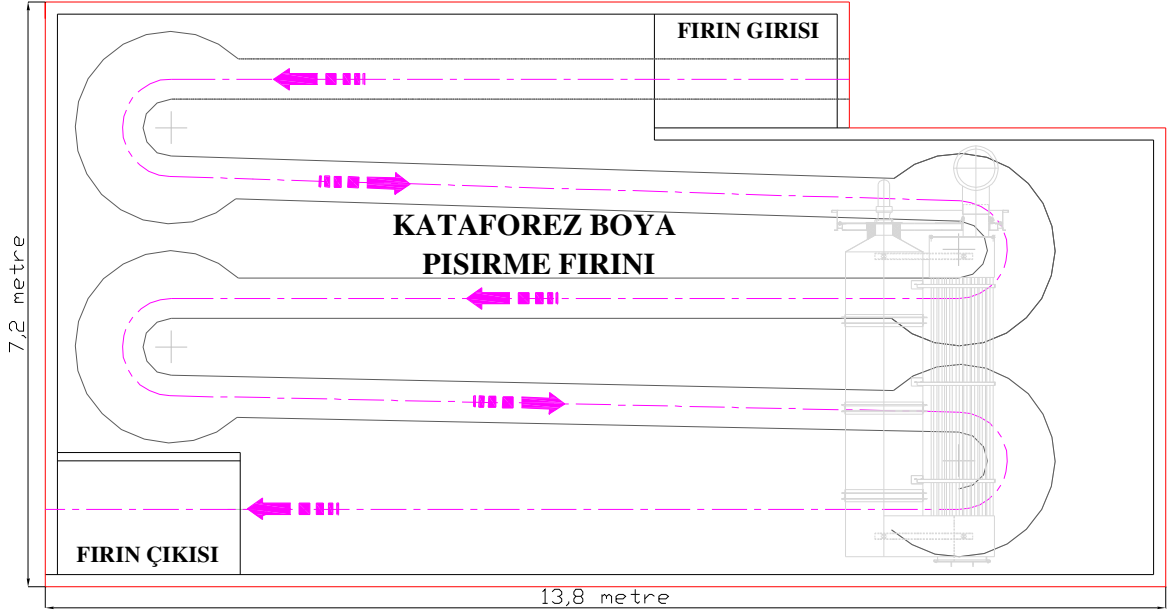
### 8.5.6 Pişirme Fırını

Yıkama tünelinden çıkan kaplanmış gövdeler yüzey filminin pişip sertleşmesi için fırına girerler. Fırın sıcaklığı polimerizasyon reaksiyonunu sağlayacak sıcaklıkta olmalıdır. Ayrıca bu yüksek sıcaklıkta pişme süresi de önemlidir. Kataforez tip ve özelliklerine göre pişme sıcaklığı ve zamanı değişir. Gövdeler olması gereken sıcaklığın altında çok uzun süre fırınlansalar dahi istenilen yüzey sertlik ve özelliklerine ulaşamazlar. Bu sıcaklık ve süre genellikle  $180^\circ\text{C}$  'de 15 dakikadır. Fırınlama süresine malzemenin ısınma süresi de düşünülerek hesaplanmalıdır. Ayrıca fırın havasını tazelemek için mutlaka bir kısım fırın havası egzoz edilmelidir.

İncelememizde yer alan pişirme fırını, üretimdeki malzeme çeşitliliğinin tamamına hizmet verebilmesi için yaklaşık 10 dakika ısınma süresi düşünülerek iş parçalarının fırın içerisinde toplam 25 dakika kalacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Pişirme fırınında, fırınlama süresi 25 dakika olup, fırın çalışma sıcaklığı da  $180 - 200^\circ\text{C}$  aralıklarında çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Fırın panelleri 150 mm. kalınlığında, kaya yünü kullanılarak konstrükte edilmiş olup, hava dolaşımı fırının altındaki kanallardan basma, üst taraftan emme şeklindedir. Pişirme fırınında kalacağı süre 25 dak. olduğuna göre kurutma fırını içerisindeki konveyör boyu :  $2 \text{ m /dak} \times 25 \text{ dak} = 50 \text{ m}$ . olacaktır. Dizaynımızı yaparken konstrüksiyon ve yerleşim detaylandırılmasına göre geçiş sayısı belirlenir. Burada pişirme fırını 5 geçişli olacaktır. Dönüş kasnakları da göz önüne alınarak parça geçişi, dönüşü engellenmeyecek şekilde fırın boyutlandırılır. Çizim yardımıyla boyutlandırma tamamlanır.



Şekil 8.6 Kataforez boya pişirme fırını üst görünüşü.

Isı ihtiyacının belirlenmesinde sistemdeki ısı kayıplarını değerlendirdiğimizde;

- Fırın duvarlarından gerçekleşen ısı kaybı ( $Q_1$ )
- Egzoz edilen hava yerine alınan taze havanın ısıtılması ( $Q_2$ )
- Malzemeye aktarılan ısı ( $Q_3$ )
- Konveyöre aktarılan ısı ( $Q_4$ )
- Buharlaştan su ile kaybedilen ısı ( $Q_5$ )

Yukarıdaki kayıp ısıları hesapladığımızda fırın ısı kapasitesini de hesaplamış olacağız.

- Fırın duvarlarından gerçekleşen ısı kaybı( $Q_1$ )

$$Q_1 = K.A. \Delta T$$

$$Q_1 = 290 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ kcal/m}^2\text{h}^0\text{C} \cdot 200 \text{ }^0\text{C} = 29.000 \text{ kcal/h}$$

- Egzoz edilen hava yerine alınan taze havanın ısıtılması ( $Q_2$ )

Sistem rejimde iken fırından egzoz edilen hava debisi  $9.000 \text{ m}^3/\text{h}$ .tir. Ancak yerine alınan taze hava dış hava sıcaklığında olacağından, atılan havanın yoğunluğu yüksek sıcaklıktan dolayı, yoğunluğunda oldukça büyük bir düşüş olacaktır.Bu durumda

(187m. rakım ve  $200 \text{ }^0\text{C}$  egzoz havası sıcaklığında havanın yoğunluğu  $0,736 \text{ kg/m}^3$  olmaktadır.

$$\text{Atılan havanın kütleli debisi} = 9.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,736 \text{ kg/m}^3 = 6624 \text{ kg/h}$$

Alınan taze havanın hacmi =  $6624 \text{ kg/h} / 1,19 \text{ kg/m}^3 = 5566 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $20^0 \text{ C}$  dış hava şartlarında)

$$Q_2 = m.c. \Delta T$$

$$Q_2 = 6624 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,24 \text{ kcal/kg } ^0\text{C} \cdot 200 ^0\text{C} = 317.952 \text{ kcal/h}$$

- Malzemeye aktarılan ısı ( $Q_3$ )

Daha önce yüzey işlem bölümünde sistemin kapasitesinin  $9.000 \text{ kg/h}$  olduğunu hesaplamıştık.

$$Q_3 = m.c. \Delta T \text{ (demirin özgül ısısı } 0,12 \text{ kcal/kg}^0\text{C, )}$$

$$Q_3 = 9.000 \text{ kg/h} \cdot 0,12 \text{ kcal/h}^0\text{C} \cdot 200 ^0\text{C} = 216.000 \text{ kcal/h}$$

- Konveyöre aktarılan ısı ( $Q_4$ )

$$Q_4 = m.c. \Delta T$$

$$m = 10 \text{ kg/m} \cdot 2 \text{ m/dak.} \cdot 60 \text{ dak./h} = 1200 \text{ kg/h}$$

$$Q_4 = 1.200 \text{ kg/h} \cdot 0,12 \text{ kcal/h}^0\text{C} \cdot 200 ^0\text{C} = 28.800 \text{ kcal/h}$$

- Buharlaşan su ile kaybedilen ısı ( $Q_5$ )

Yine daha önce sistemin kapasitesinin  $450 \text{ m}^2/\text{h}$  olduğunu hesaplamıştık. Her metrekare yüzeyde  $0,05 \text{ kg}$  su taşıdığı kabulü ile)

$$\text{Suyun buharlaşma gizli ısısı} = 540 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_5 = 450 \text{ m}^2/\text{h} \cdot 0,05 \text{ kg/m}^2 \cdot (540 \text{ kcal/h} + 1 \text{ kcal/kg}^0\text{C} \cdot 80 ^0\text{C}) = 1.200 \text{ kg/h} \cdot 0,12 \text{ kcal/h}^0\text{C} \cdot 200 ^0\text{C} = 13.950 \text{ kcal/h}$$

### **Toplam Isı ihtiyacı**

$$Q_{\text{toplam}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$Q_{\text{toplam}} = 29.000 + 317.952 + 216.000 + 28.800 + 13.950 = 576.731 \text{ kcal/h}$$

Kurulu güç =  $576.731 \cdot 1,15$  (Emn. Payı) =  $670.000 \text{ kcal/h}$  ihtiyaç olmaktadır.

Üretici firma tarafından  $700.000 \text{ kcal/h}$  kapasiteli ısıtıcı seçilmiştir.

## 9. ELEKTROKAPLAMANIN EKONOMİSİ

Günümüz rekabetçi iş ortamı, firmaları maksimum verimlilikte çalışırken, toplam maliyetleri ise minimuma indirmeye zorlamaktadır. Konumuz olan boyahane tesislerinde de bu durum geçerlidir. Boyahanelerden beklenen, işletme giderlerini düşürmek, tesis performansını geliştirmek ve çevreye zararlı etkilerini azaltmak konularında çalışmalar yapılmasıdır. Üretici için önemli olan, üretimi için en uygun uygulama metodunu belirleyebilmesidir. Günümüzde, endüstriyel boyahaneler, kataforez boyama, yağ boyama ve toz boyama olarak üç ana uygulamadan oluşmaktadır. Bu üç uygulama teknolojisinin de avantaj ve dezavantajları olmakla beraber, her zaman birbirlerin yerine de kullanılamazlar.

### 9.1 Seçim süreci

Elektro kaplama normalde en düşük maliyetli yüzey işlem uygulamasıdır. Burada anahtar kelime “uygulama”dır. Ürünlerin boya maliyeti değerlendirilirken, metrekare başına düşen miktar ve litre başına boya maliyetinin ötesine bakılmalıdır. Bahsedilen ana faktörler;

- Parça geometrisi
- Üretim miktarı
- Yüzey hazırlama süreci
- Çevresel etkiler
- Enerji
- Tamir ve bakım
- İşçilik
- Kaplama performansı
- Sermaye

#### Parça geometrisi

Boyanması istenen ürünlerin hepsi yassı olsaydı, böyle bir konunun önemi olmayacaktı. Ancak kaplanması arzu edilen parçalar çok farklı şekillerde ve ölçülerde olabilir. Bu kategoride elektro kaplama uygulama şekli ile diğer boyama teknolojilerine üstünlük sağlamaktadır. Çünkü kaplama banyosunda parçanın tüm yüzeyleri boya ile temas ederek, uygulanan akım ile elektriksel olarak kaplandıkça yüzeyler arasında tutarlı bir kaplama gerçekleşmektedir. Ayrıca yine daldırma sisteminin avantajı olarak, parçaların askı düzeninde birbirine daha sık asmak suretiyle askı verimi arttırılabilir, diğer uygulamalarda iş parçaları uygulama ekipmanları karşısında sıralı ve hizalı geçmesi durumu söz konusudur.

## **Üretim miktarı**

Üreticilerin, vardiya başına yıllık 200.000 m<sup>2</sup> 'nin üzerinde üretim yapmaları da elektro kaplamanın tercih edilen uygulama olmasını sağlamaktadır. Askı başına daha fazla iş parçası asılabilmesi, üreticilerin daha düşük hat hızlarında ve daha az vardiyalarda daha yüksek üretim yapmalarına olanak sağlamaktadır.

## **Yüzey Hazırlama Süreci**

Boyama uygulaması tercihi ne olursa olsun, yüzey hazırlama hattında çok az değişiklikler söz konusudur. Çoğu durumda, temizleme aşaması tamamen aynıdır. Kaplamadan (boyadan) beklenen performansa göre fosfatlama süreci de yine aynı olacaktır. Dolayısıyla yapılan değerlendirmelerde yüzey hazırlama hattı ile ilgili bir farklılık söz konusu olmayacaktır.

## **Boya**

Elektro kaplama, banyoya uygulanan voltaj ve kaplanan boyanın üzerinden gelebileceği yalıtkanlık etkisine bağlı olarak kendini sınırlayan bir uygulamadır. Elektro kaplanmış parçalar üzerindeki kaplanan boya filmi kalınlığı arasında maksimum 5 mikron farklılık alınmış bir değer olup, diğer uygulamalarda film kalınlığı kontrolü çok daha zordur. Püskürtme uygulamalar, karmaşık geometrili parçalarda boyanın tam örtmesinin sağlanması için bir kaç defa üzerinde boya atıldığından, boya filmi kalınlığı kontrolü daha zordur. Ayrıca elektro kaplama uygulamalarında 17 mikron kalınlığa kadar düşük kalınlıkta kaplamalar uygulanabilmekte ve beklenen boya kalitesi sağlanabilmektedir. Bu yüzden elektro kaplama boya sarfiyatı maliyetleri söz konusu olduğunda en uygun maliyetli uygulamadır.

## **Sermaye**

Farklı boyama teknolojilerini uygulamak için çeşitli metotlar vardır. Çoğu durumda, eşit seviyedeki üretimleri değerlendirirken, elektro kaplama içlerinde en yüksek sermayeye ihtiyaç duyar. Sadece ekipmanların maliyetine bakarak karar verme yanlısına düşmeden, tüm değişkenleri göz önüne alarak ihtiyaçlara en uygun uygulama şeklinin belirlenmesi gerekir.

## **İşçilik**

Çoğu yüzey işlem sistemi, kaplama sürecinde belli bir seviyede insan müdahalesine ihtiyaç duyar. Bazı uygulamalar diğerlerine göre daha fazla insan gücüne ihtiyaç duyar. Yükleme ve boşaltma bölümleri için tüm sistemlerde işçilik ihtiyaç aynıdır. Yine tüm sistemlerde, boyahane teknisyeni ya da hat operatörü olarak da adlandırılan genel bir sorumlu bulunur.

İşçilik de fark yaratan bölüm boya uygulamasının yapıldığı bölümdür. Elektro kaplamada bu bölüm tamamen otomatik olup, ilave eşçilik gerektirmez. Püskürtme boya uygulamaları da tamamen otomatik olabilir ancak çoğunlukla oluşabilecek az kaplamalar için takviye görevi görecektir en az bir kişinin ihtiyacı duyulur. Basit püskürtme hatlarında genellikle iki boyacı parçanın her iki tarafını boyayabilmek için karşılıklı çalışırlar.

### **Çevresel etkiler**

Son 20 yılda, izin verilen hava emisyon değerleri konusunda yasal regülasyonlar daha sıkı hale getirildi. Uçucu organik bileşikler (VOC) ve tehlikeli hava kirleticileri (HAP) sıkı şekilde izlenmekte ve üretici tarafından belli miktarın üzerindeki değerler için bildirimleri yapılmalıdır. Ayrıca, geçmişte çok kullanılan kurşun ve krom gibi ağır metallerin artık üretimi sonlandırılma aşamasındadır. Toz boya ve kataforez boya çevreye dost uygulamalar olup, bu konuda boyama sektörüne öncülük etmişlerdir. Her iki uygulamada da VOC ve HAP çok az bulunmakta ya da hiç bulunmamaktadır. Yaş boya ise artan kısıtlamalara uymakta daha zor bir konumdadır.

### **Enerji**

Enerji ile ilgili olarak, başta yaş ve toz boyanın yüzey hazırlama hattı sonrası bir kurutma fırınına ihtiyaç duyduğunu söyleyebiliriz. Bu da ilave yatırım, yakıt ve elektrik masrafı anlamına gelmektedir. Ayrıca yaş ve toz boyama sistemlerinde işlem gören parçaların asıldığı askıların boya ile kaplanması sebebiyle sıklıkla askıların temizlenmesi ihtiyacı doğar.

Toz boyama da uygulama yapılan ortam kaplama kalitesi açısından klimatize edilmiş bir ortam havasına ihtiyaç duyar. Bu da yine ilave yatırım ve elektrik masrafı demektir.

Elektro kaplamada ise, 24 saat çalışan devridaim pompaları ile beraber, soğuk su üreticisi ile redresör sistemlerini enerji ihtiyacı ortaya çıkar. Tüm bu faktörler değerlendirildiğinde sistemler arası kayda değer bir fark oluşmamaktadır.

### **Tamir ve bakım**

Elektro kaplama sisteminin bakımını sağlamak, barındırdığı birçok ünite ve donanım nedeniyle yaş ve toz boyama sistemlerinininkinden daha fazladır. Ancak, işçilik giderleri düşünüldüğünde yaş ve toz boyama sistemlerinde kabin ve filtre temizliği hususlarından dolayı daha yüksektir.

## Kaplama performansı

Kaplama performansı değerlendirmede en kritik değişkendir. Üretici öncelikle, boya uygulama metodunu belirlemeye başlamadan önce kendisinin veya müşterilerinin kalite gerekliliklerini belirlemelidir. Tüm boyama uygulamaları birbirine denk değildir. Pek çok değerlendirme kriteri bulunmasına rağmen, özellikle tuz sprej test sonuçları değerlendirilir. Kataforez boyama sisteminde rahatlıkla 1000 saate varan ve daha da üzerinde tuz testi dayanımı sağlanabilmektedir. Yaş ve toz boyama da en fazla 750 saat tuz testi dayanımı sağlanabilmektedir.

## 9.2 Kaplama Teknolojilerine Ait Maliyet Modelleme

Yüzey işlem uygulamalarını değerlendirirken sağlıklı bir değerlendirmeye tüm yönleriyle bakmak gerektiğinden hareketle işletme ve yatırım maliyetleri de incelemeye alınmıştır.

### 9.2.1 Elektro kaplama (Kataforez Boya)

Bu değerlendirmede Bosal Mimaysan'daki tesise ait değerler göz önüne alınmıştır. Bu uygulamada iki bileşenli boya sisteme beslenmektedir.

Reçine (katı hacmi %33) bileşeni maliyeti : 6,75.- TL/litre

Pigment (katı hacmi %38) bileşeni maliyeti : 8,25.- TL/litre

Bu iki bileşen 5:1 oranında harmanlanmakta olup, karışımın maliyeti : 7.- TL/litre

olmaktadır. Yukarıda belirtilen katı değerlerinde her bir litre boya, 25 mikron film kalınlığında 13,3 m<sup>2</sup> yüzeyi boyayabilmekte, bu da m<sup>2</sup> başına 0,525 kuruş boya maliyeti oluşturmaktadır.

Boya filmi kalınlığının kontrol edilmesi ile yukarıdaki örnekte verilen 25 mikron film kalınlığının altında da kaplanabilir. Performans olarak 18 mikron kuru film kalınlığına kadar uygulama yapılabileceğini gösterdiğinden kullanıcılar film kalınlığını düşürerek daha fazla yüzeyi kaplayabilmeye çalışmaktadırlar. Yukarıdaki hesabımızı 18 mikron kuru film kalınlığına göre revize edersek,

18 mikron film kalınlığında boyanabilen yüzey alanı : 17 m<sup>2</sup>/litre

Transfer verimi kabulü %90

Birim metrekare boya maliyeti : 0,42 kuruş/m<sup>2</sup>

olmaktadır.

Eğer kataforez boyama hattı, günde 1 vardiya (8 saat), yılda 250 işgünü değerlerinde çalıştırıldığında, kurulu kapasite 450 m<sup>2</sup>/saat olduğundan;

$$\text{Yıllık kaplama üretimi} = (450 \text{ m}^2/\text{saat}) \times 8 \text{ saat/gün} \times 250 \text{ gün/yıl} = 900.000 \text{ m}^2/\text{yıl}$$

olmaktadır.

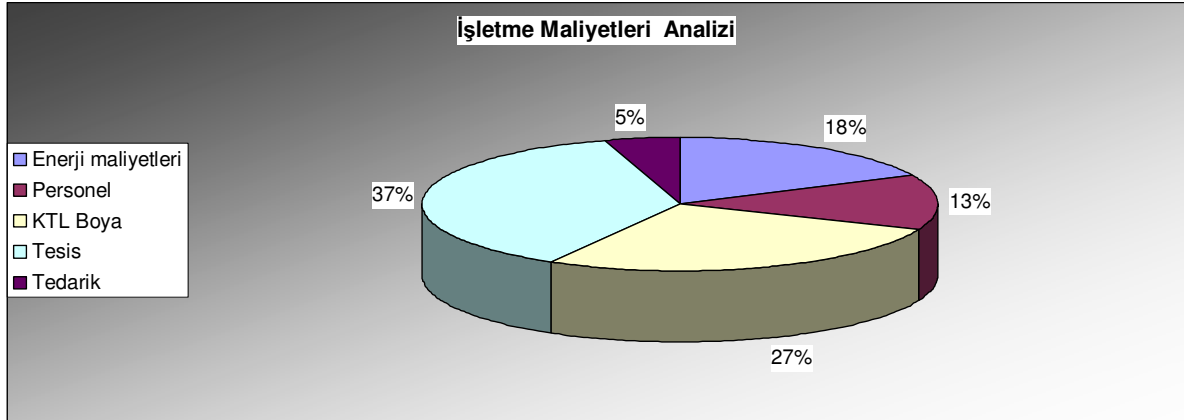
Kataforez boyama tesislerinde genellikle bir hat operatörü ve bir bölüm sorumlusu bulunur. Tesiste yükleme ve boşaltma işlemleri için dört işçi çalışacağı ön görülebilir. Bu öngörü yaş ve toz boyama tesislerinde de aynen geçerli olacaktır.

Bosal Mimaysan firmasında kurulu monoraylı askılı konveyör sistemli kataforez boya tesisi için sermaye maliyeti 2.500.000.-TL.dir.

Yüzey hazırlama bölümü, dokuz banyolu çinko fosfat prosesi olup, boya uygulaması hangisi olursa olsun, sabit bir gider olarak görünecektir.

Bu tesisin yıllık işletme maliyeti düşünüldüğünde ise, şekil 10.1'de yer alan tablodan da görüleceği üzere 1.359.461.TL olup kaplanan yüzey başına 1,51 TL/m<sup>2</sup> maliyet getirmektedir.

| Genel  |                          | Maliyet     |                         |
|--|--------------------------|-------------|-------------------------|
| Günlük üretim saati  | 8 saat / gün             |             |                         |
| tesisi yöneten ve tesiste çalışan toplam personel            | 6 personel               |             |                         |
| Temizlik ve Bakım için aylık harcanan zaman (saat olarak)    | 10 saat / ay             | 0,90        | TL/h                    |
| Saatlik ücret - kişi başı                                    | 15 TL/saat               | 90,00       | TL/h                    |
| <b>Enerji</b>  |                          |             |                         |
| Brülörlerin toplam enerji kapasitesi (Rejimde)               | 575000 Kcal/kg           | 39,03       | TL/h                    |
| sıcak su/kızgın su /buhar vb. enerji ihtiyacı (rejimde)      | 510000 Kcal/kg           | 34,62       | TL/h                    |
| Toplam elektrik ( Kw or KVA)                                 | 360 kW                   | 47,52       | TL/h                    |
| <b>Boya/ Yüzey üretimi</b>                                   |                          |             |                         |
| Yüzey üretimi KTL (ürünü) (boya yüzeyi ;ortalama)            | 450 m <sup>2</sup> /saat |             |                         |
| KTL boya ortalama fiyatı                                     | 7 TL/litre               |             |                         |
| Yaş veya toz boya kazancı (ürünü)                            | 17 m <sup>2</sup> /litre | 185,29      | TL/h                    |
| <b>Tesis</b>   |                          |             |                         |
| Tesisin alt yapı ile birlikte toplam maliyeti (inşaat hariç) | 2.500.000 TL             | 250,00      | TL/h                    |
| <b>İşletme maliyetleri</b>                                   |                          |             |                         |
| İşletme maliyetleri (saatlik kabaca)                         |                          | 647,36      | TL/h                    |
| İşletme maliyetleri (yıllık kabaca)                          |                          | 1.294.725   | TL/year                 |
| Yıllık yüzey üretimi   |                          | 900.000     | m <sup>2</sup> /year    |
| Yüzey fiyatı (su + kimyasallar+ atıklar hariç)               |                          | 1,44        | TL/m <sup>2</sup>       |
| <b>Yüzey fiyatı (su + kimyasallar+ atıklar dahil)</b>        |                          | <b>1,51</b> | <b>TL/m<sup>2</sup></b> |
| <b>%5 olarak düşünülürse</b>                                 |                          |             |                         |

**Dahili Fiyatlar**

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Elektrik fiyatı                       | 0,132 TL/kWh            |
| Yakıt (LPG, doğalgaz, Motorin) fiyatı | 0,56 TL/Nm <sup>3</sup> |
| Yer fiyatı / kira bedeli              | 0 TL/m <sup>2</sup> /ay |
| Yıllık çalışma günü                   | 250 gün / yıl           |
| Aylık çalışma saati                   | 167 saat / ay           |
| Günlük çalışma saati                  | 8 saat / gün            |

**İşletme maliyetleri tahmini**

|                    |                |        |
|--------------------|----------------|--------|
| Enerji maliyetleri | 121,17 TL/saat | 17,8 % |
| Personel           | 90,90 TL/saat  | 13,4 % |
| KTL Boya           | 185,29 TL/saat | 27,3 % |
| Tesis              | 250,00 TL/saat | 36,8 % |
| Tedarik            | 32,37 TL/saat  | 4,8 %  |

Kurulacak tesis saatlik işletme maliyeti

**679,73 TL/saat**

100 %

Kurulacak tesis yıllık işletme maliyeti

**1.359.461 TL/yıl**

Şekil 9.1 Kataforez boya tesisi maliyet analizi tablosu.

### 9.2.2 Yaş Boyama

Kıyaslama için yapılan kabulde 8.-TL/litre maliyeti olan %50 katı hacmine sahip boya kullanıldığı göz önüne alınmıştır.

Ortalama 25 mikron kaplama kalınlığı göz önüne alındığında 1 litre boya 20 m<sup>2</sup> yüzeyi kaplayabilecek olup, 0,4.- TL/m<sup>2</sup> boya maliyeti olacaktır. Ancak, yaş boyada transfer verimliliği, ortalama %60 civarlarında olduğundan, 1 litre ile boyanabilecek gerçek yüzey alanı

25 mikron film kalınlığında boyanabilen yüzey alanı : 12 m<sup>2</sup>/litre

Transfer verimi kabulü %60

Birim metrekare boya maliyeti : 0,67.-TL/m<sup>2</sup>

olmaktadır.

Yaş boya sistemi de günde 1 vardiya (8 saat), yılda 250 işgünü değerlerinde çalıştırıldığında yılda 900.000 m<sup>2</sup>./yıl yüzey kaplayacaktır.

İşçilik oranları açısından düşünüldüğünde sistemde kataforez sistemdeki personel haricinde üç boyacı personel kullanıldığı düşünülmüştür.

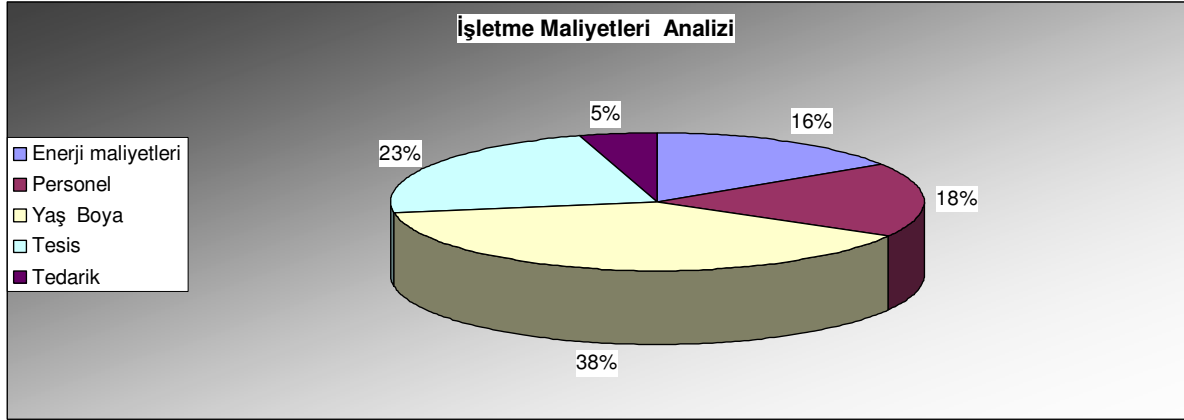
Monoraylı askılı konveyör sistemli bir yaş boya tesisi için sermaye maliyeti 1.750.000.-TL. olduğu kabul edilmiştir.

Yüzey hazırlama bölümü kataforez boyada kullanılan proses ile aynıdır.

Bu tesisin yıllık işletme maliyeti düşünüldüğünde ise, şekil 10.2'de yer alan tabloda da görüleceği üzere 1.536.510.TL olup kaplanan yüzey başına 1,71 TL/m<sup>2</sup> maliyet getirmektedir.

## YAŞ BOYAMA TESİSİ MALİYET ANALİZİ

| <b>Genel</b>   |                          | <b>Maliyet</b> |                         |
|--|--------------------------|----------------|-------------------------|
| Günlük üretim saati  | 8 saat / gün             |                |                         |
| tesisi yöneten ve tesiste çalışan toplam personel            | 9 personel               |                |                         |
| Temizlik ve Bakım için aylık harcanan zaman (saat olarak)    | 10 saat / ay             | 0,90           | TL/h                    |
| Saatlik ücret - kişi başı                                    | 15 TL/saat               | 135,00         | TL/h                    |
| <b>Enerji</b>  |                          |                |                         |
| Brülörlerin toplam enerji kapasitesi (Rejimde)               | 525000 Kcal/kg           | 35,64          | TL/h                    |
| sıcak su/kızgın su /buhar vb. enerji ihtiyacı (rejimde)      | 700000 Kcal/kg           | 47,52          | TL/h                    |
| Toplam elektrik ( Kw or KVA)                                 | 285 kW                   | 37,62          | TL/h                    |
| <b>Boya/ Yüzey üretimi</b>                                   |                          |                |                         |
| Yüzey üretimi KTL (ürünü) (boya yüzeyi ;ortalama)            | 450 m <sup>2</sup> /saat |                |                         |
| Yaş boya ortalama fiyatı                                     | 8 TL/litre               |                |                         |
| Yaş veya toz boya kazancı (ürünü)                            | 12 m <sup>2</sup> /litre | 300,00         | TL/h                    |
| <b>Tesis</b>   |                          |                |                         |
| Tesisin alt yapı ile birlikte toplam maliyeti (inşaat hariç) | 1.750.000 TL             | 175,00         | TL/h                    |
| <b>İşletme maliyetleri</b>                                   |                          |                |                         |
| İşletme maliyetleri (saatlik kabaca)                         |                          | 731,67         | TL/h                    |
| İşletme maliyetleri (yıllık kabaca)                          |                          | 1.463.343      | TL/year                 |
| Yıllık yüzey üretimi   |                          | 900.000        | m <sup>2</sup> /year    |
| Yüzey fiyatı (su + kimyasallar+ atıklar hariç)               |                          | 1,63           | TL/m <sup>2</sup>       |
| <b>Yüzey fiyatı (su + kimyasallar+ atıklar dahil)</b>        |                          | <b>1,71</b>    | <b>TL/m<sup>2</sup></b> |
| <b>%5 olarak düşünülürse</b>                                 |                          |                |                         |



### Dahili Fiyatlar

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Elektrik fiyatı                       | 0,132 TL/kWh            |
| Yakıt (LPG, doğalgaz, Motorin) fiyatı | 0,56 TL/Nm <sup>3</sup> |
| Yer fiyatı / kira bedeli              | 0 TL/m <sup>2</sup> /ay |
| Yıllık çalışma günü                   | 250 gün / yıl           |
| Aylık çalışma saati                   | 167 saat /ay            |
| Günlük çalışma saati                  | 8 saat / gün            |

### İşletme maliyetleri tahmini

|                    |                |        |
|--------------------|----------------|--------|
| Enerji maliyetleri | 120,77 TL/saat | 15,7 % |
| Personel           | 135,90 TL/saat | 17,7 % |
| Yaş Boya           | 300,00 TL/saat | 39,0 % |
| Tesis              | 175,00 TL/saat | 22,8 % |
| Tedarik            | 36,58 TL/saat  | 4,8 %  |

**Kurulacak tesis saatlik işletme maliyeti**

**768,26 TL/saat**

100 %

**Kurulacak tesis yıllık işletme maliyeti**

**1.536.510 TL/yıl**

Şekil 9.2 Yaş boyama tesisi maliyet analizi tablosu.

### 9.2.3 Toz Boyama

Boyahane tesisinin toz boyama tesisi olarak kurulması durumunda 7.-TL/kg. maliyete sahip bir boya kullanıldığı değerlendirilmiştir. Bu durumda 1 kg toz boya ile 25 mikron kalınlığında bir uygulama yapıldığında 26 m<sup>2</sup> yüzey boyanabilecektir. Bu da boyanan yüzey metrekaresi başına 0,28.-TL maliyet getirmektedir. Hâlbuki %90 transfer verimliliği ile beraber, daha önemlisi toz boya uygulamalarında örtücülük için ortalama 50 mikron kalınlıkta boya atıldığı göz önüne alındığında;

50 mikron film kalınlığında boyanabilen yüzey alanı : 11,7 m<sup>2</sup>/litre

Transfer verimi kabulü %90

Birim metrekaresine boya maliyeti : 0,62.-TL/m<sup>2</sup>

olmaktadır.

Toz boya sistemi de günde 1 vardiya (8 saat), yılda 250 işgünü değerlerinde çalıştırıldığında yılda 900.000 m<sup>2</sup>./yıl yüzey kaplayacaktır.

İşçilik oranları açısından düşünüldüğünde sistemde yaş boyama sistemindeki kadar personel kullanıldığı düşünülmüştür.

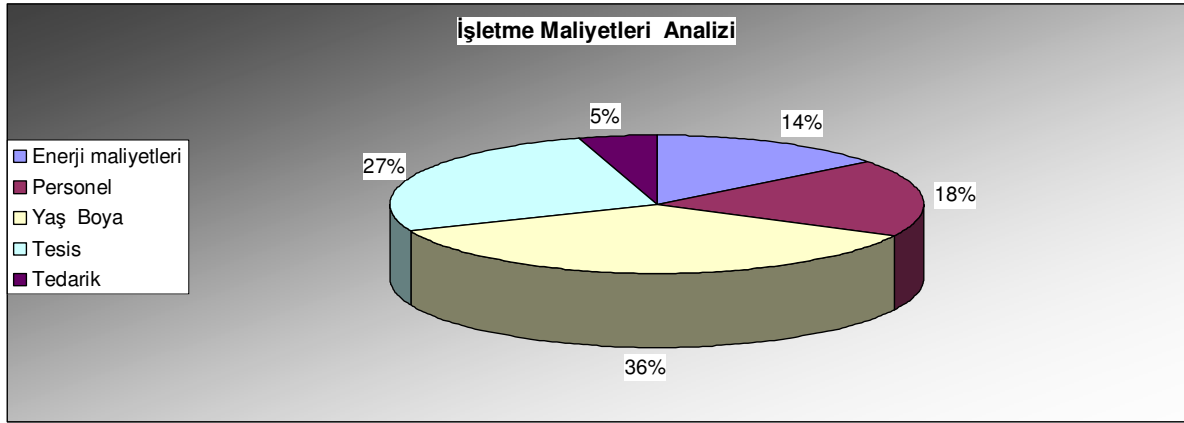
Monoraylı askılı konveyör sistemli bir toz boya tesisi için sermaye maliyeti 2.000.000.-TL. olduğu kabul edilmiştir.

Yüzey hazırlama bölümü katarforez ve yaş boyamada kullanılan prosesler ile aynıdır.

Bu tesisin yıllık işletme maliyeti düşünüldüğünde ise, şekil 10.3'de yer alan tablodan da görüleceği üzere 1.497.508.TL olup kaplanan yüzey başına 1,66TL/m<sup>2</sup> maliyet getirmektedir.

## TOZ BOYAMA TESİSİ MALİYET ANALİZİ

| <u>Genel</u>   |                          |             | <u>Maliyet</u>          |  |
|--|--------------------------|-------------|-------------------------|--|
| Günlük üretim saati  | 8 saat / gün             |             |                         |  |
| tesisi yöneten ve tesiste çalışan toplam personel            | 9 personel               |             |                         |  |
| Temizlik ve Bakım için aylık harcanan zaman (saat olarak)    | 10 saat / ay             | 0,90        | TL/h                    |  |
| Saatlik ücret - kişi başı                                    | 15 TL/saat               | 135,00      | TL/h                    |  |
| <b>Enerji</b>  |                          |             |                         |  |
| Brülörlerin toplam enerji kapasitesi (Rejimde)               | 575000 Kcal/kg           | 39,03       | TL/h                    |  |
| sıcak su/kızgın su /buhar vb. enerji ihtiyacı (rejimde)      | 510000 Kcal/kg           | 34,62       | TL/h                    |  |
| Toplam elektrik ( Kw or KVA)                                 | 260 kW                   | 34,32       | TL/h                    |  |
| <b>Boya/ Yüzey üretimi</b>                                   |                          |             |                         |  |
| Yüzey üretimi KTL (ürünü) (boya yüzeyi ;ortalama)            | 450 m <sup>2</sup> /saat |             |                         |  |
| Toz boya ortalama fiyatı                                     | 7 TL/kg                  |             |                         |  |
| Yaş veya toz boya kazancı (ürünü)                            | 11,7 m <sup>2</sup> /kg  | 269,23      | TL/h                    |  |
| <b>Tesis</b>   |                          |             |                         |  |
| Tesisin alt yapı ile birlikte toplam maliyeti (inşaat hariç) | 2.000.000 TL             | 200,00      | TL/h                    |  |
| <b>İşletme maliyetleri</b>                                   |                          |             |                         |  |
| İşletme maliyetleri (saatlik kabaca)                         |                          | 713,10      | TL/h                    |  |
| İşletme maliyetleri (yıllık kabaca)                          |                          | 1.426.199   | TL/year                 |  |
| Yıllık yüzey üretimi   |                          | 900.000     | m <sup>2</sup> /year    |  |
| Yüzey fiyatı (su + kimyasallar+ atıklar hariç)               |                          | 1,58        | TL/m <sup>2</sup>       |  |
| <b>Yüzey fiyatı (su + kimyasallar+ atıklar dahil)</b>        |                          | <b>1,66</b> | <b>TL/m<sup>2</sup></b> |  |
| <b>%5 olarak düşünülürse</b>                                 |                          |             |                         |  |



### Dahili Fiyatlar

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Elektrik fiyatı                       | 0,132 TL/kWh            |
| Yakıt (LPG, doğalgaz, Motorin) fiyatı | 0,56 TL/Nm <sup>3</sup> |
| Yer fiyatı / kira bedeli              | 0 TL/m <sup>2</sup> /ay |
| Yıllık çalışma günü                   | 250 gün / yıl           |
| Aylık çalışma saati                   | 167 saat / ay           |
| Günlük çalışma saati                  | 8 saat / gün            |

### İşletme maliyetleri

|                    |                |        |
|--------------------|----------------|--------|
| Enerji maliyetleri | 107,97 TL/saat | 14,4 % |
| Personel           | 135,90 TL/saat | 18,2 % |
| Yaş Boya           | 269,23 TL/saat | 36,0 % |
| Tesis              | 200,00 TL/saat | 26,7 % |
| Tedarik            | 35,65 TL/saat  | 4,8 %  |

**Kurulacak tesis saatlik işletme maliyeti**

**748,75 TL/saat**

100 %

**Kurulacak tesis yıllık işletme maliyeti**

**1.497.508 TL/yıl**

Şekil 9.3 Toz boyama tesisi maliyet analizi tablosu.

## 10. SONUÇLAR

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 kullanıcılarının boyama uygulaması seçimlerine yardımcı olacak analizler ve değerlendirmeler tüm yönleriyle yapılmıştır.

Çalışmada, Bosal Mimaysan A.Ş. firmasının Gebze'deki 2007 yılında tamamlanan yeni fabrikasında kurulması planlanan boyama tesisi de planlamadan devreye alma aşamasına kadar geçen süreç takip edilmiş, işletme esnasında numune kaplamalar yapılarak incelenmiş, sistemde sarf edilen enerjinin belirlenerek kontrol sistemleri ile beraber enerji analizleri yapılmış, enerji ve boya tüketimleri hesaplanmıştır.

Kataforez boyama sürecinin işletme ve yatırım maliyetleri yönünden genel olarak çok pahalı oluşu ile ilgili düşüncelerin tam olarak gerçeği yansıtmadığı bu analizle gösterilmiş olup, mühendislere, boyama tesislerini bir süreç olarak bütünüyle değerlendirerek, tasarım aşamasında boyama sistemleri için en uygun yapılandırmaları ve en uygun tasarımları belirlemede yararlı olacağı orijinal bir çalışma yapıldığı inancını taşıyoruz.

**KAYNAKLAR**

Çengel, Yunus A. Ve Boles Michael A., (2008), Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Güven Bilimsel, İzmir

Paksoy, A.S., (1999) ,Boya El Kitabı, KMO Yayını , İstanbul

The Electrocoat Association, (2002) Electrocoating, A Guidebook For Finishers, Cincinnati.

PPG Industries, Inc, (1994) Kataforez Seminer Notları .

BASF Coatings AG (1998), Eğitim Notları, Hannover

Alternative EDC Sarl, (2003) Electro-dialysis Cell Instruction manual for installation, Hoerd

Akzo Nobel, Interpon (2005) Toz Boya Uygulaması Eğitim Programı

Değirmenci M. (1999) Otomatik kontrol vanaları.

Elimko, (2005) Otomatik Kontrol Formları

Koch Membrane Systems, Inc (2004) Koch Spirapak Electrodeposition Paint Ultrafiltration Modules.

Alting Alternative EDC Sarl (2003) Anode EDC Electro Dialysis Cell Instruction Manual for installation, France

Kudra, T., Mujumdar, A.S., (2002) , Advanced Drying Technologies , Marcel Dekker , New York

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 23.06.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-1996 Özel Üsküdar Fen Lisesi

Lisans 1996-2000 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

**Çalıştığı kurum(lar)**

2001-Devam ediyor Botersan Endüstriyel Tesisler İmalat ve Satış A.Ş..  
Proje Mühendisi