

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Statik Toz Boya Prosesi Metal Fosfatlama Parametrelerinin  
Optimizasyonu**

**Elif Dicle ÖZER**

*Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*

Mayıs, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Statik Toz Boya Prosesi Metal Fosfatlama Parametrelerinin  
Optimizasyonu**

Elif Dicle ÖZER

*Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*

Bu Yüksek Lisans Tezi 02/05/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu İle Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL (Danışman) .....

: Dr. Öğretim Üyesi Müfide NARLI

: Doç. Dr. Cansu DAĞSUYU .....

**Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.  
Tez No:**

**Prof. Dr. Sadık DİNÇER**  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZ .....                                                                                | I   |
| ABSTRACT.....                                                                           | II  |
| TEŞEKKÜR.....                                                                           | III |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                 | IV  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                    | V   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                            | VI  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                          | 1   |
| 1.1. Problemin Tanımı .....                                                             | 1   |
| 1.2. Fosfat Kaplama Nedir? .....                                                        | 1   |
| 1.3. Fosfat Kaplamayı Etkileyen Faktörler .....                                         | 2   |
| 1.4. Fosfat Kaplamanın Türleri .....                                                    | 3   |
| 1.5. Çalışmanın Amacı.....                                                              | 4   |
| 1.6. Orjinal Katkı .....                                                                | 4   |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                                               | 7   |
| 2.1. Elektrostatik Toz Boya ve Fosfat Kaplama ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....       | 7   |
| 2.2. Taguchi Deney Tasarımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....                         | 12  |
| 2.3. Literatür Taraması İçin Özet Tablo.....                                            | 15  |
| 3. METOT .....                                                                          | 21  |
| 3.1. Balık Kılçığı Diyagramı .....                                                      | 21  |
| 3.2. Taguchi Deney Tasarımı .....                                                       | 22  |
| 3.3. Taguchi Metodunun Temel İlkeleri .....                                             | 25  |
| 3.4. Tuz Sisi Testi .....                                                               | 28  |
| 3.4.1. Tuz Sisi Testi Nasıl Uygulanır? .....                                            | 30  |
| 3.4.2. Tuz Sisi Testinin Değerlendirilmesi.....                                         | 31  |
| 3.5. Regresyon Analizi.....                                                             | 34  |
| 3.5.1. Çoklu Doğrusal Lojistik Regresyon.....                                           | 36  |
| 4. UYGULAMA .....                                                                       | 39  |
| 4.1. İşletme Hakkında Genel Bilgiler.....                                               | 39  |
| 4.2. Elektrostatik Toz Boya Süreci .....                                                | 42  |
| 4.3. İşletmede Elektrostatik Toz Boya Prosesinde Uygulanan Kalite Kontrol Sistemi ..... | 47  |
| 4.5. Kullanılan Fosfat (Chemphos800) Özellikleri .....                                  | 50  |
| 4.6. Deneyde Kullanılan Numune Sacın Özellikleri .....                                  | 51  |
| 4.6.1. DKP Sac.....                                                                     | 51  |
| 4.6.2. Galvanizli Sac .....                                                             | 51  |
| 4.7. Deneyin Uygulanması.....                                                           | 52  |
| 4.7.1. Demir Fosfat Kaplama Süreci Balık Kılçığı Diyagramı .....                        | 52  |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 4.7.2. Taguchi Deney Tasarımı.....                          | 56 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                               | 57 |
| 5.1. Balık Kılçığı Diyagramının Uygulanması .....           | 57 |
| 5.2. Taguchi Deney Tasarım Yönteminin Uygulanması.....      | 57 |
| 5.3. Regresyon Analizi.....                                 | 62 |
| 5.3.1. Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinin Uygulanması ..... | 62 |
| 5.4. Doğrulama Deneylerinin Uygulanması.....                | 68 |
| 5.5. Regresyon Modelinin Uygulanması.....                   | 69 |
| 6. SONUÇ .....                                              | 71 |
| 7. SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER .....                   | 77 |
| KAYNAKLAR .....                                             | 79 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                              | 85 |



---

## Statik Toz Boya Prosesi Metal Fosfatlama Parametrelerinin ile Optimizasyonu

---

Elif Dicle ÖZER

*Danışman: Prof. Dr. Ali KOKANGÜL*

*Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*

### ÖZ

Bu çalışma, çelik kapı üreten bir işletmenin elektrostatik toz boya prosesinin fosfat kaplama parametrelerinin optimizasyonunu amaçlamaktadır. Taguchi L9 ortogonal dizini kullanılarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlamak açısından 27 adet deney sayısı 9'a indirilmiştir. Demir fosfat kaplama işlemi sabit tutularak; sıcaklık, pH seviyesi ve kaplama süresi gibi değişkenlerin etkisini incelemiştir. Numuneler aynı boya markasıyla boyandıktan sonra fosfat kaplamanın boya üzerindeki etkisi tuz sisi testi ile değerlendirilmiştir. Sinyal/Gürültü oranı, kullanılarak kontrol edilebilen faktörlerinin (sıcaklık, pH seviyesi, konveyör hızı) etkisi minimize edilmeye çalışılmıştır. Taguchi deneyinden sonra birbirleri arasındaki etkileri ve güvenilirliğini hesaplamak amacıyla regresyon analizi ve doğrulama deneyi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, pH seviyesinin 5,5, kaplama süresinin 4 dakika ve sıcaklığın 28 °C olarak ayarlandığında optimum sonuca ulaşıldığı bulunmuştur. Doğrulama deneyleri ve yapılan istatistiksel analizler çalışmanın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrostatik Toz Boya, Demir Fosfat Kaplama, Korozyon, Taguchi Deney Tasarımı, Sinyal/Gürültü

---

## Optimization of Metal Phosphating Parameters in Static Powder Coating Process

---

Elif Dicle ÖZER

*Advisor: Prof. Dr. Ali Kokangül*

*Department of Industrial Engineering*

### ABSTRACT

This study aims to optimize the phosphate coating parameters of an enterprise producing steel doors in the electrostatic powder coating process. In order to save time and cost, the number of experiments was reduced from 27 to 9 using the Taguchi L9 orthogonal array. While keeping the iron phosphate coating process constant, variables such as temperature, pH level, and coating duration were investigated. After painting the samples with the same paint brand, the effect of phosphate coating on the paint was evaluated using a salt spray test. The effect of controllable factors (temperature, pH level, conveyor speed) was attempted to be minimized using the Signal-to-Noise ratio. Regression analysis and validation experiments were conducted to calculate the effects and reliability among them after the Taguchi experiment. The study found that the optimum result was achieved when the pH level was set to 5.5, coating duration was 4 minutes, and temperature was 28°C. Validation experiments and statistical analyses conducted provide evidence of the accuracy of the experiment.

**Keywords:** Electrostatic powder coating, iron phosphate coating, corrosion, Taguchi experimental design, signal-to-noise ratio

## TEŞEKKÜR

"Elektrostatik Boya Prosesi Metal Fosfatlama Parametrelerinin Optimizasyonu" adlı bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı için Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının her aşamasında desteklerini ve yönlendirmelerini esirgemeyen, bilgi birikimi, ilgisi ve sabrı, aydınlatıcı fikirleriyle bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali KOKANGÜL'e,

Bu çalışmamda bana yardımcı olan her aradığımda desteklerini eksik etmeyen değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Cansu DAĞSUYU'NA ve Dr. Öğretim Üyesi Müfide NARLI'ya

Bugünlere gelmemde büyük emekleri ve fedakarlıkları olan, her zaman yanımda olan, cesaretimi ve motivasyonumu hiç eksik etmeyen canım ailem; annem Hayriye ÖZER'e babam İbrahim ÖZER'e, ablalarım Seher ÖZER HÜYÜK ve Habibe ÖZER YANARKAYA'ya,

Çalışmamı gerçekleştirmeme olanak sağlayan ve ilk iş tecrübemi yaşamama yardımcı olan işletme sahipleri Sayın Turan KABAK, Sayın Mahmut KABAK ve Sayın Mehmet KABAK'a,

Fosfat kaplama deneylerimde yardımcı olan ve sorularıma cevap veren tedarikçimiz Sayın Gökhan AKBULUT'a

Çalışmalarına değer veren, her geçen gün daha da gelişmem için bana destek olan ve ekiplerinde çalıştığım için mutluluk duyduğum Sayın DR. İlker MET, Sayın DR. Ertuğrul Umut UYSAL ve Sayın Mustafa Alper AYDIN'a,

Her konuda desteğini hissettiren dostum, sırdaşım olan bütün heyecanıma ve stresime ortak olan canım dostum Zeynepnur ÜNAL'a,

Her aradığımda sıcaklığını hissettiren, stresimde beni yatıştıran ve sabırla beni dinleyen canım dostum Hatice Yağmur NAZİK'e,

Yüksek lisansa başlamanın için beni motive eden, varlıklarını her zaman yanımda hissettiğim benim için çok değerli olan Cansu ve Yiğit İLKDOĞAN'a

Üniversite hayatımdan itibaren her zaman birlikte iyiye yönelten, endişelerimi paylaştığımda bana sabırla cevap veren yalnız olmadığımı hissettiren Kevser TÜRKYILMAZ ve Şerife EMEKLİOĞLU'na,

Tezi yazmam konusunda beni motive eden, benimle değerli fikirlerini paylaşan benim için kıymetli olan Ayça ARI'ya, Sena AKTAN'a ve Tuğçe ÖZCANLI'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1. Fosfat Kaplama ve Elektrostatik Toz Boya Özet Tablo .....   | 16 |
| Çizelge 2.2. Taguchi Deney Tasarımı Literatür Özet Tablo.....            | 17 |
| Çizelge 3.1. Test ve Değerlendirme İçin Kullanılan Standartlar .....     | 29 |
| Çizelge 3.2. Çapraz Kesimlerin Yüzey Görünümleri .....                   | 33 |
| Çizelge 4.1. Taguchi Deney Tasarımında Kullanılan Kategoriler.....       | 56 |
| Çizelge 4.2. Analiz Sonucu Uygulanacak Deneyler.....                     | 56 |
| Çizelge 5.1. Deney Sonuçları .....                                       | 58 |
| Çizelge 5.2. Taguchi Deney Tasarımı Yöntemine Göre Analiz Sonuçları..... | 60 |
| Çizelge 5.3. Blister Ebatı İçin Model Özeti.....                         | 62 |
| Çizelge 5.4. Blister Ebadı için ANOVA.....                               | 63 |
| Çizelge 5.5. Blister Ebadı için Katsayılar.....                          | 63 |
| Çizelge 5.6. Blister Ebadı İçin Yüzde Uyum.....                          | 64 |
| Çizelge 5.7. Açılma Oranı İçin Model Özeti .....                         | 64 |
| Çizelge 5.8. Açılma Oranı İçin ANOVA.....                                | 65 |
| Çizelge 5.9. Açılma Oranı İçin Katsayılar.....                           | 65 |
| Çizelge 5.10. Açılma Oranı İçin Yüzde Uyum .....                         | 66 |
| Çizelge 5.11. Pas Derecesi İçin Model Özeti.....                         | 66 |
| Çizelge 5.12. Pas Derecesi İçin ANOVA .....                              | 66 |
| Çizelge 5.13. Pas Derecesi İçin Katsayılar .....                         | 67 |
| Çizelge 5.14. Pas Derecesi İçin Uyum Yüzdesi.....                        | 67 |
| Çizelge 5.15. Doğrulama Deneyi Sonuçları.....                            | 68 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Korozyonu Etkileyen Faktörler.....                                 | 2  |
| Şekil 1.2. Fosfat Kaplamanın Türleri .....                                    | 3  |
| Şekil 3.1. Taguchi Deney Tasarımı Yönteminin Akış Şeması (Mercan, 2019) ..... | 25 |
| Şekil 3.2. Tuz Sisi Testinin Uygulanmadan Önceki Gösterimi.....               | 30 |
| Şekil 3.3. Blisterleşme (Kabarcıklanma).....                                  | 32 |
| Şekil 3.4. ASTM D610 Standartlarına Göre Paslanma Derecesi .....              | 34 |
| Şekil 4.1. Çelik Kapı Görünümü.....                                           | 40 |
| Şekil 4.2. Çelik Kapı Görünümü.....                                           | 40 |
| Şekil 4.3. İşletmenin İş Akış Diyagramı .....                                 | 41 |
| Şekil 4.4. Elektrostatik Boya Prosesi İş Akış Şeması .....                    | 43 |
| Şekil 4.5. Fosfat Kazanı .....                                                | 44 |
| Şekil 4.6. Elektrostatik Toz Boya Prosesi .....                               | 45 |
| Şekil 4.7. Demir Fosfat Kaplama Süreci.....                                   | 46 |
| Şekil 4.8. Elektrostatik Toz Boya Süreci .....                                | 46 |
| Şekil 4.9. Elektrostatik Toz Boya Prosesi Konveyör Hattı .....                | 47 |
| Şekil 4.10. Uygun Olmayan Ürün Prosesi .....                                  | 47 |
| Şekil 4.11. DÖF Prosesi.....                                                  | 48 |
| Şekil 4.12. Girdi Kontrol Prosesi .....                                       | 49 |
| Şekil 4.13. Muayene- Deney Prosesi .....                                      | 50 |
| Şekil 4.14. Sac Stoku .....                                                   | 52 |
| Şekil 4.15. Demir Fosfat Kaplama Süreci için Balık Kılçığı Diyagramı .....    | 53 |
| Şekil 5.1. Tuz Sisi Testinin Sonuçları .....                                  | 59 |
| Şekil 5.2. S/N için Ana Etki Grafiği.....                                     | 61 |
| Şekil 5.3. Ortalamalar için Ana Etki Grafiği.....                             | 61 |
| Şekil 5.4. Standart Sapmalar için Etki Grafiği .....                          | 62 |
| Şekil 5.5. Doğrulama Deneyi Sonucunun Numuneleri .....                        | 69 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|      |                                           |
|------|-------------------------------------------|
| μM   | : Mikron                                  |
| A    | : Akım                                    |
| ASTM | : Amerikan Test ve Malzeme Derneği        |
| BAC  | : Bakteriyel İyileştirici Ajan            |
| CA   | : Kristal Katkılar                        |
| DEV  | : Devir                                   |
| DKP  | : Demir Çelik Plakası                     |
| DÖF  | : Düzenleyici ve Önleyici Faaliyet        |
| EDS  | : Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi |
| EIS  | : Elektroİmpedans Spektroskopisi          |
| HRC  | : Rockwell Sertlik Ölçeği                 |
| ISO  | : Uluslararası Standardizasyon Örgütü     |
| kA   | : Kilo Amper                              |
| MPa  | : Megapaskal                              |
| PCR  | : Pulse                                   |
| PH   | : Potansiyel Hidrojen                     |
| QLF  | : Kalite Kayıp Fonksiyonu                 |
| RPM  | : Dakikada Yapılan Devir                  |
| S/N  | : Sinyal/Gürültü                          |
| SEM  | : Taramalı Elektron Mikroskopu            |
| V    | : Volt                                    |
| XPS  | : X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi     |
| XRD  | : X-ışını Kırınımı                        |

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Problemin Tanımı

Kaliteli ürünlerin üretimi, işletmelerde müşteri memnuniyeti ve güvenini sağlamak için kritik bir faktördür. Her düşük kaliteli ürün, sadece maddi kayıplara yol açmakla kalmaz, aynı zamanda müşteri memnuniyeti ve güven kaybına da yol açabilmektedir (Önal, 2021).

Üretim sektöründe bulunan işletmelerde dikkat edilmesi gereken süreçlerden birisi metallerin boyanmasını sağlayan elektrostatik toz boya süreci olmaktadır. Elektrostatik kaplama, parçacıkların yüklenmesini, yüklü parçacıkların püskürtülmesini veya atomizasyonunu ve yüklü parçacığın topraklanmış bir alt tabaka üzerine biriktirilmesini içermektedir (Prasad ve ark., 2016).

Kalite kontrolden geçip müşteriye ulaşan nihai ürünün nem, çevresel faktör vb. nedenlerden dolayı bir süre sonra boyanın kalkması ve metalin paslanması görülmektedir. Bu nedenle elektrostatik boya prosesinde çıkan kalite hatası müşteriye ulaşmadan ya da belirli bir süre geçmeden bulunması zorlaşmaktadır. Dolayısıyla elektrostatik toz boya süreçlerinde potansiyel uzun vadeli dayanıklılığını sağlamak amacıyla kapsamlı analiz ve optimizasyon stratejilerinin gerekliliği üzerinde çalışılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

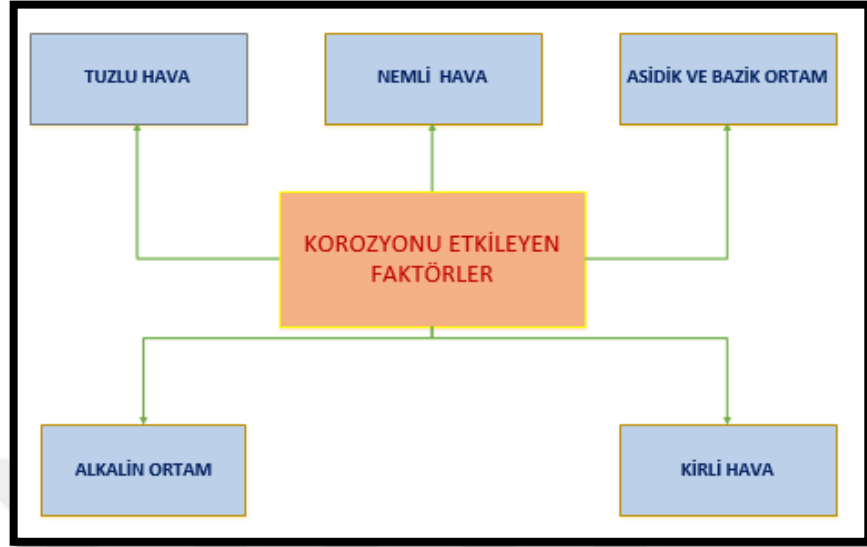
Elektrostatik toz boya yapılırken metalin boya tutuculuğunu artırmak, boya kırılcılığını azaltmak ve korozyonu engellemek amacıyla en önemli adımı fosfat kaplama olmaktadır. Elektrostatik toz boya prosesinde fosfat kaplama yapılırken; fosfat kazanının içine konulan fosfat miktarı, fosfat kaplamada kalma süresi, fosfatlı suyun pH'ı ve fosfatlı suyun sıcaklığı gibi faktörlerin kontrol edilmemesi israfın ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu faktörlerin kontrolsüz bırakılması, üretim işletmelerinde fosfat kaplama sürecinde gereksiz kayıplara ve verimsizliğe yol açabilmektedir. Fosfat kaplama, metal yüzeylerin elektrostatik toz boya hazırlanmasında önem arz etmektedir.

Bu çalışma, çelik kapı üretiminde kullanılan elektrostatik toz boyanın fosfat kaplama parametrelerinin optimizasyonuna sağlamakta ve bu süreçte Taguchi deney tasarımı yönteminin etkisini araştırmaktadır.

## 1.2. Fosfat Kaplama Nedir?

Fosfat kaplama, metallerin yüzey korumasını sağlamak, boyama öncesi hazırlık yapmak, korozyon ve paslanmayı önlemek amacıyla kullanılan bir kimyasal kaplama yöntemidir. Elektrostatik toz boyama süreçlerinde fosfat kaplamanın kaliteli uygulanması gerekmektedir. Çünkü toz boya uygulamalarında kalite hataları gözle görülememekte ve zamanla boyanın kalkması gibi sorunlara yol açarak müşteri şikayetlerinin artmasına ve güvensizliğe neden olabilmektedir. Fosfat kaplamanın temel amacı, boya işlemine kadar yüzeyin paslanmasını engellemek, elektrik izolasyonu sağlamak ve sürtünme nedeniyle aşınmaya karşı direnci artırmaktır. Bu işlem; demir, çelik ve çinko

yüzeylerinde kimyasal reaksiyonlarla bir fosfat tabakası oluşturarak korozyona karşı dayanıklılık kazandırmaktadır (Berk, 2004). Korozyonu etkileyen faktörler, Şekil 1.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Korozyonu Etkileyen Faktörler

Korozyon, çevresel etkenlerle metalik materyallerin etkileşerek yüzeysel ve kimyasal değişikliğine uğramasıdır; tuzlu su, asidik ortamlar, nem gibi çeşitli koşullarda görülmektedir. Metal kaplama, korozyon karşıtı malzeme bozulması ve iş kayıplarına karşı yüzyıllardır kullanılan etkili bir yöntem olmakta ve metalik yüzeylerin korunması amacıyla uygulanmaktadır (Deepak ve ark., 2019). Özellikle korozyon koruyuculuğunu artırıcı kromat tabakası oluşturulması sağlanmaktadır. (Berk, 2004).

Korozyon ve aşınma önleme amacıyla, fosfat kaplama gibi çeşitli koruyucu önlemler endüstriyel olarak uygulanmakta ve boya işlemleri için uygun bir zemin oluşturmaktadır (Çağlaroğlu, 2006).

### 1.3. Fosfat Kaplamayı Etkileyen Faktörler

Fosfat kaplama sürecini etkileyen başlıca faktörler sıcaklık, kaplama süresi, fosfat kaplamanın kimyasal etkinliği, tesisin basınç prensibi ve nozul çalışma prensibi şeklindedir. Yüzey hazırlığında kritik bir değişken olan pH, fosfatlama reaksiyonlarının ve kaplamanın metal yüzey üzerinde homojen dağılımının sağlanmasında önemli bir rol oynamakta; uygun pH seviyeleri, kaplamanın yapışmasını ve korozyona karşı direncini artırmaktadır (Yaman ve ark., 2021).

Sıcaklık, kimyasal reaksiyonların hızını ve kaplama kalitesini doğrudan etkilerken; kaplama süresi, kaplamanın yüzeye yapışmasını ve homojenliğini belirlemektedir (Wang ve ark., 2006).

Nozul çalışma prensibi, fosfat çözeltisinin yüzeye dağılımını ve kaplamanın eşit şekilde yayılmasını etkilemektedir (Akgündüz, 2019).

Kimyasal maddelerin yeterli konsantrasyonda kullanılmaması, kaplama kalitesini düşürebilmekte ve eşitsizliklere yol açabilmektedir (**Darowicki ve ark., 2020**).

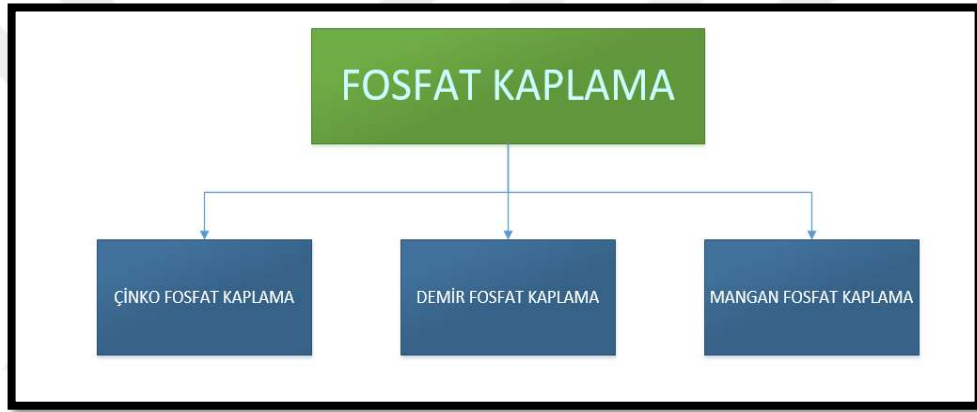
Tesisin basınç miktarı ise, kaplama maddelerinin yüzeye homojen şekilde püskürtülmesini ve kaplama kalitesini etkilemektedir (**MEB, 2012**).

Bu faktörler, fosfat kaplamanın etkinliği ve metal yüzeylerin korunması açısından dikkate alınmalıdır.

Kontrol edilebilen değişkenler olan pH, kaplama süresi ve sıcaklık parametrelerinin optimizasyonu üzerinde çalışma yapılmıştır.

#### 1.4. Fosfat Kaplamanın Türleri

Fosfat Kaplama 3'e ayrılmaktadır ve Şekil 1.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Fosfat Kaplamanın Türleri

Fosfat kaplama türleri ve açıklaması aşağıdaki gibidir (**Özden, 2020; Berk, 2004**):

Çinko fosfat kaplama, metal yüzeylerin korunması ve işlevselliğinin artırılması amacıyla farklı endüstriyel uygulamalarda tercih edilen yöntem olmaktadır. Çinko fosfat kaplama, uzun vadeli korozyon direnci gerektiren, özellikle otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan bir kaplama yöntemidir ve dış etkilere karşı yüksek dayanıklılık sunmaktadır; yaklaşık 2-5 gr/m<sup>2</sup> kalınlığında bir tabaka oluşturarak, metal yüzey için koruma sağlamanın yanı sıra boyama işlemleri için de uygun bir temel hazırlamaktadır. Çinko fosfat kaplama püskürtme ve daldırma yöntemiyle uygulanabilmektedir.

Mangan fosfat kaplama, özellikle sürtünmeye maruz kalan demir ve çelik parçalarında tercih edilmektedir. Yağ emme kapasitesi sayesinde dişli ve piston gibi parçalarda kullanımı yaygın olmaktadır. Çinko fosfat kaplamaya göre daha yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklılık göstermektedir.

Demir fosfat kaplama ise, tarihsel olarak en eski yöntemlerden biri olmaktadır. Çinko fosfat kaplamayla benzer şekillerde uygulanmaktadır. Çinko fosfat kaplamaya göre daha ekonomiktir.

Korozyon direnci ve diğer fosfat kaplama türlerine göre daha düşük olabilmektedir. Ancak çinko fosfat kaplamaya göre ekonomik bir çözüm sunmaktadır. 0,2-1 gr/m<sup>2</sup> kalınlığında bir tabaka oluşturarak, sıcaklık ve kaplama süresi gibi parametrelerin kontrolüyle uygulanmaktadır. Çinko fosfat kaplamadaki gibi püskürtme ve daldırma yöntemleriyle uygulanılabilmektedir.

Tez çalışması yapılan üretim işletmesinde demir fosfat kaplama kullanılmakta ve püskürtme yöntemiyle fosfat kaplama yapılmaktadır.

### **1.5. Çalışmanın Amacı**

Müşterilerden gelen elektrostatik toz boyanın çelik kapıdan zamanla kalkması ve boya çatlamasıyla ilgili artan şikayetler sonucunda bu konuda çalışma yapılmasına ışık tutmuştur. Bu şikayetler, ürünlerin dayanıklılığını ve estetik görünümünü olumsuz yönde etkileyerek müşteri memnuniyetini azaltmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma; elektrostatik toz boya sürecindeki kusurların ve hataların nedenini belirleyerek, ürünlerin kalitesini artırmayı ve müşteri memnuniyetini sağlamaktadır. Elektrostatik toz boya sürecinin kritik bir aşaması olan fosfat kaplamanın optimize edilmesiyle ürün kalitesini, üretim verimliliğini, müşteri memnuniyetini ve güvenini artırmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma, çelik kapı sektöründe kullanılan demir fosfat kaplama süreçlerinin optimizasyonunu sağlamaktadır. Fosfat kaplama üzerindeki pH, sıcaklık ve kaplama süresi gibi temel faktörlerin etkileri, Taguchi deney tasarımı kullanılarak sistematik bir şekilde incelenmiştir. Bu araştırma, demir fosfat kaplama sürecinde karşılaşılan sorunların temel nedenlerini belirlemeyi ve bu sürecin verimliliğini artırmak için en etkili parametrelerin optimum kullanımını sağlamayı amaçlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, geleneksel yöntemlere (gözle muayene, ölçüm yapılmadan usta deneyimiyle yapılan işlemler vb.) göre daha etkili ve üstün bir sonuç sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, işletmelerin fosfat kaplama sürecini optimize ederek israfı önlemesine ve yüksek kaliteli ürünler üretmesine katkıda bulunmayı amaçlamıştır. Deney maliyetlerini ve işletme yoğunluğu dikkate alınarak, L9 ortogonal dizini kullanılmış ve elde edilen veriler üzerinde regresyon analizi yapılarak parametrelerin etkileri ve bu etkilerin güvenilirliği değerlendirilmiştir.

Bu nedenle; elektrostatik toz boyanın kalkmasıyla ilgili yaşanan sorunların çözümüne odaklanarak, işletmelerin rekabetçi konumunu güçlendirmeyi hedeflemektedir. Sonuç olarak bu çalışmanın amacı, fosfat kaplama yapılırken optimum çözüme ulaşarak israfı önlemek ve yüksek kalitede ürünler üretmektir.

### **1.6. Orjinal Katkı**

Literatür taraması yapılan çalışmalar arasında elektrostatik toz boya, fosfat kaplama ve Taguchi deney tasarımıyla ilgili çalışma bulunmaktadır. Ancak çelik kapı üretiminde fosfat kaplama parametrelerinin Taguchi deney tasarımı yöntemiyle optimizasyon çalışması bulunamamıştır. Elde edilen bulgular, çelik kapıların dayanıklılığını ve korozyona karşı direncini artırmak adına önemli

pratik bilgiler sunmakla birlikte, aynı zamanda malzeme kullanımında tasarruf sağlama konusunda fayda sağlamaktadır.

Bu çalışma, yalnızca çelik kapılar için korozyon direncini ve boya yapışmasını iyileştirme konusunda değerli bilgiler sağlayacaktır. Ayrıca sektördeki üreticiler tarafından üretim süreçlerini kolaylaştırmak, ürün kalitesini artırmak ve müşteri şikayetlerini azaltmak için sistematik bir çerçeve sunacak ve sonuçta çelik kapı imalat sektörünün genel rekabet gücü ve sürdürülebilirliği artıracaktır. Endüstriyel üretim süreçlerinde kalite yönetimi ve müşteri memnuniyeti odaklı yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.







## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür taraması yapılırken fosfat kaplama, Elektrostatik Toz Boya ve Taguchi Deney Tasarımı, ile ilgili makaleler ve tezler okunmuştur.

### 2.1. Elektrostatik Toz Boya ve Fosfat Kaplama ile İlgili Yapılan Çalışmalar

**Çağlaroğlu (2006)** AISI 1045 çeliğinin yorulmasına ve korozyon davranışına fosfat kaplamanın etkisi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada 12 mm çapında soğuk çekilmiş AISI 1045 çeliğinden hazırlanmış mangan fosfat kaplama işleminin korozyon davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyde Vickers sertlik ve yorulma deneyleri uygulanmıştır. Fretting olayının AISI 1045 çeliğinin korozyona uğrattığı gözlemlenmiştir. Mangan fosfat kaplama işlemi sayesinde fretting yorulmasının süresinin artırdığı sonucuna varılmıştır. Fretting yorulma limiti kaplanmamış durumda 282 MPa iken işlem sonucunda 289 MPa'a yükseltmiştir. AISI 1045 çeliğinin korozyona karşı direncini artırdığı tespit edilmiştir. Kaplamadan önce -491 mV olan korozyon potansiyeli, kaplama işleminden sonra -249 mV değerine yükselmiştir.

**Gülyaşar (2010)** tam faktöriyel deney tasarımı kullanarak fosfatlama öncesi ön işlem ve fosfatlama parametrelerinin, kaplamanın ortalama kristal boyutu ve çukur korozyonu üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Çalışma BOSCH Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de yapılmıştır. Fabrika dizel ve benzinli arabaların enjektörlerini üretmektedir. Enjektörlerin korozyona karşı dirençli olabilmesi için çinko fosfat kaplama kullanılmıştır. Seri üretimde fosfat kaplamayı iyileştirmek amaçlanmıştır. Ağır çalışma koşullarına sahip enjektör gövdesinin yorulma ömrü, dalgalı yükler, çukurlaşma korozyonu üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

Kristal boyutu ve çukur korozyonu üzerindeki etkilerini araştırmak için deneyler yapılmıştır. Bu çalışma için iki aşamalı tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar Minitab programı üzerinden analiz edilmiştir. Sonuç olarak 60°C'ye yakın yüksek sıcaklık değerleri aşırı oyuklanma korozyonuna neden olmaktadır.

**Gün ve ark. (2013)** Sfero Chill döküm kam millerinde mangan kaplamanın aşınma direnci üzerindeki etkisi üzerinde çalışmışlardır. Kam millerinin mangan fosfat kaplama ile kaplanarak aşınma dayanımına olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma yapılırken karşılaştırmalı olarak mangan fosfatlı ve mangan fosfat olmadan eksantrik miller aynı anda dakikada 100 devir olacak şekilde 30 dakika çalıştırılmıştır. Kam milleri fosfat kaplama ile kaplanarak 2,8 kat daha az aşındığı gözlemlenmiştir.

**Hu ve ark. (2019)** Q235 yumuşak çeliğin korozyon direncini arttırmak için Nano-MoS<sub>2</sub> hızlandırıcı kullanılmıştır. Çinko fosfat kaplama Nano-MoS<sub>2</sub>'nin faz bileşimi, morfolojisi ve yapısı üzerindeki etkisi kaplamanın korozyon direnci araştırılmıştır. Deneyler 50°C'de 5 dakika yağdan arındırmak için ve 40°C'de 20 dakika süreyle fosfat kaplama yapılacak şekilde uygulamışlardır. Sonuç olarak Nano-MoS<sub>2</sub>, fosfatlama sürecini etkili bir şekilde destekleyebilmekte ve kaplamanın

mikro yapısını değiştirebilmektedir. NanoMoS<sub>2</sub> matrise yapışabilmekte, çekirdeklenme bölgesi görevi görebilmekte ve metal iyonlarını yakalayabilmekte, böylece yoğun ve kalın bir kaplama üretilmesine yardımcı olabilmektedir.

**Çiftler (2019)** Vites kutusunun fosfat kaplama prosesindeki fosfatlama banyolarının karakterizasyonu üzerinde çalışma yapmıştır. Oyak Renault otomobil fabrikasında yapılan bu çalışma, vites kutusunun dişlilerinin sürtünmesinden dolayı çalışmakta zorlandığı için ısıtma işlemi gördükten sonra fosfat kaplama yapılmaktadır. Uygulanan fosfat kaplama işlemiyle vites kutusundaki dişlilerin sürtünmeden dolayı çalışmakta zorlandığı için ısıtma işlemi gördükten sonra fosfat kaplama yapılmaktadır. Uygulanan fosfat kaplama işlemiyle vites kutusundaki dişlilerin yüzey özellikleri değiştirilerek otomobilin motorunun çalışma sırasında yapılan yağlama sisteminin daha verimli çalışması sağlanmıştır. Çalışma sırasında yapılan yağlama sisteminin daha verimli çalışması sağlanmıştır. Fosfat kaplama işlemi proste herhangi bir kalite hatası ya da imalat verimsizliği olmamakla birlikte kimyasal atıklar azaltılmaya çalışılmıştır. Çalışma sırasında oluşan çökelek üzerinde kimyasal analiz ve XRD analizleri yapılmıştır. Demir bulunan ortamda mevcut termodinamik şartlar altında çökelti oluşturabilmektedir. Mevcut proste çökeltme mekanizmasında ise çalıştığımız pH aralığında kararlı bileşiklerin çökeldiği belirlenmiştir. PH 2,6 ve daha yüksek pH değerlerinde oluşan çökeltinin mangan hureaulite (Mn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) olduğu görülmektedir. pH 2,6'dan küçük değerlerde ise demir hureaulite (FePO<sub>4</sub>) oluşumunun baskın olduğu görülmektedir. Banyo içerisinde pH değeri 2,6'dan büyük olduğu ve çözelti içerisinde Mn<sup>+2</sup> iyonu bulunduğu sürece mangan hureaulite çökeleğinin oluşacağı anlaşılmaktadır. Aktivasyon işleminin yüzeyde kristalleşme için oluşturduğu noktaların kaplama prosesini kontrollü ilerlemesini sağladığı SEM görüntülerinin arasındaki tanecik boyut ve düzen farklılıklarından kolaylıkla görülebilmektedir. Aktivasyonsuz gerçekleştirilen kaplama işleminde yüzeyde oluşan kristal yapı düzensiz ve farklı boyutlarda taneciklerden oluşurken aktivasyon işlemi ile yapılan kaplama işleminde daha düzenli ve daha yakın tanecik boyutlarındaki kristal taneciklerden oluşan bir yüzey ortaya çıkarmaktadır

**Öz ve ark. (2019)** çalışma ticari bir araca ait ön fren diskleri kullanılmıştır. Numune plazma sprengi tekniğiyle Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmıştır. TSE EN ISO 9227 standardına göre numuneler değerlendirilmiş olup diskin sürtünme katsayısı yüksek dış yüzeyinin tahrip olduğu ve korozyon testinde ise orijinal diskin yoğun korozyona bağlı kaldığı tespit edilmiştir. Atalet dinamometresinde alış(tır)ma ve ısıtma titreşim (hot judder I-II) testleri uygulanmıştır. Bu alıştırma testi, D<sub>0</sub> ve D<sub>1</sub> adlı iki farklı disk üzerinde gerçekleştirilmiş olup, sürtünme katsayıları, sıcaklık değişimleri, frenleme performansı ve disk yüzey özellikleri üzerindeki etkileri incelemektedir. Elde edilen sonuçlara göre, D<sub>0</sub> diski D<sub>1</sub> diskine kıyasla daha yüksek bir ortalama sürtünme katsayısına sahiptir ve her iki diskte sürtünme katsayısı 0,3'ün üzerindedir. Frenleme tekrar sayısı 60'tan sonra sürtünme katsayısındaki salınım daha kararlı hale gelmiş, disklerin ön alışma evresini tamamladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, D<sub>0</sub> diskinin sıcaklık değeri D<sub>1</sub> diskinden düşük olup, ilk 20 frenleme testinden sonra daha stabil bir

fren tork değişimi sergileyerek daha iyi bir frenleme performansı ortaya koymuştur. Disk yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma gözlemlenirken, korozyon testi sonuçları, kaplamasız disklerin daha fazla korozyona maruz kaldığını ve dayanıklı kaplamaların önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

**Jiang ve Cheng (2019)** Çinko fosfat (ZP) kaplama, plaka benzeri deney numunesine, küçük fosfofillit ile esas olarak hopeitten oluşan tek adımlı bir fırçalama yöntemiyle bina çeliğine uygulanmıştır. Deneyler Q235 çeliğinden yapılmış 10 x 20 mm<sup>3</sup> hacimli silindirik alt tabakalar üzerinde gerçekteşmiştir. Fosfatlama banyo ZnO (50 g/l), HNO<sub>3</sub> (60 ml/L), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (30 ml/L), NaClO<sub>3</sub> (4 g/L), sitrik asit (10 g/L), amonyum molibdat (2 g/L) ve sodyum dodesil sülfat (10 g/L), pH değeri 2,1'dir. Numuneler oda sıcaklığındaki fosfatlama banyosuna batırılan fırça ile 7,5 dk/m<sup>2</sup> hızında bir ile üç kez arasında fırçalanmıştır. Bu çalışmada, çinko fosfat (ZP) kaplaması, kolay uygulanabilen tek adımlı fırçalama yöntemiyle yapı çeliği üzerine uygulanmıştır. Elde edilen kaplama, plaka benzeri bir morfolojiye sahip olup, umutit ve küçük fosfofillit içeren bir faz bileşimine sahiptir. Ayrıca, bu kaplamanın gelişmiş korozyon direnci, beton yapılarında kullanılan bina çeliğinin dayanıklılığını artırma potansiyelini göstermektedir. Kaplama, ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinde gelişmiş korozyon direnci göstererek beton yapılarıdaki bina çeliği için dayanıklı bir korozyon önleyici yüzey haline gelmiştir.

**Polyakov ve ark. (2021)** çelik üzerinde oluşan korozyonun çinko fosfat kaplama ile önlenmesinin çalışması yapılmıştır. Bir çelik üzerinde süperhidrofobik kaplamaların oluşma olasılığı incelenmiştir. Yüzeyin koruyuculuğu ve kimyasal durumunu desteklemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma, 0.0864 dm<sup>2</sup> alanlı düşük karbonlu çelik örneklerine uygulanan süperhidrofobik kaplamaların korozyon direncini değerlendirmektedir. Çelik örneklerine 10 µm kalınlığında çinko tabakası elektroforezle uygulanmış ve ardından stearik asit kullanılarak süperhidrofobik bir kaplama oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçları, oluşturulan kaplamanın çinko kaplı çelik yüzeyinin korozyon direncini artırdığını ve özellikle tuzlu ortamlarda dayanıklılığı güçlendirdiğini göstermektedir.

**Yargıç ve ark. (2021)** yaptığı çalışmasında otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan F899 ve F990 sıcak-dövme döküm malzemeleri üzerine ekonomik iki tür kaplamanın (Zn+kataforez) birleştirilerek düşük mikronlarda yüksek korozyon performansına sahip döküm parçaların üretilmesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamında, alkali Zn/Zn-Fe/Zn-Ni ve asitli Zn/Zn-Ni kaplamaların ardından kataforez kaplama uygulanmıştır. Sıcak-dövme döküm parçaların karakterizasyonu amacıyla çeşitli testler uygulanmış, ancak özellikle tuz sisi testi üzerinde vurgu yapılmıştır. Tuz sisi testi sonuçları, malzemelerin dayanıklılığını ve korozyon performansını değerlendirmek açısından önemli bilgiler sunulmuştur. Yapışma dayanım testi ve adhezyon testi sonuçlarına göre, malzemelerin kopma mukavemeti 263-493 psi aralığında değişmektedir. Çalışmanın genel sonuçları, alkali kaplamaların kataforez kaplamayla istenilen performansı sağlamadığını, ancak asitli kaplamaların özellikle tuz sisi testinde uygun korozyon performansına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Tuz sisi testinde asitli kaplamaların, düşük maliyetli kaplama işlemleri için tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

**Baloyi ve ark. (2023)** Çalışma, ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinde AA6061 alaşımı ve HDG çeliği üzerindeki fosfat dönüşüm kaplamalarının korozyon performansını araştırmıştır. Numuneler scotch brite ve bütül glikol solventi ile mekanik olarak parlatılmıştır. Parlatma işleminin ardından numuneler hemen 50 °C çalışma sıcaklığında %10'luk KOH yağ alma banyosunda 150 saniye bekletilmiştir. Korozyon direnci için en uygun koşullar, 90 saniye boyunca 118 mg/L F<sup>-</sup> konsantrasyonuyla 45 °C'de biriktirilen bir fosfat kaplama olarak belirlenmiştir. Çinko iyonlarının kaplama üzerinde minimum etkisi olmuştur. SEM sonuçları, 45 °C'de elde edilen fosfat kaplamaların 90'lı yıllar için 118 mg/L'lik F<sup>-</sup> konsantrasyonu daha düzgün ve sürekliydi ve bu nedenle incelenen elektrolitte en iyi korozyon performansına sahipti. SEM sonuçları, alüminyum fosfat, AA6061 alaşımına kıyasla HDG çeliği üzerinde fosfat kristallerinin daha hızlı çekirdeklendiğini ve büyüdüğünü ve çinko fosfat kaplama gelişimini engellediğini göstermiştir.

**Zhang ve ark. (2023)** korozyon direnci elde etmek amacıyla 16Mn çeliğine ultrasonik işlem görmüş çinko-mangan fosfat kaplamalar uygulanmıştır. Çelik yüzeyi çeşitli zımpara dereceleriyle cilalanmış, kimyasal yağ giderme ve korozyon aktivasyonu işlemleri uygulanmıştır. Çinko-mangan fosfat kaplama, farklı uygulama yöntemleriyle çeşitli kaplama örnekleri elde edilmiştir. Yüzey morfolojisi, kaplama kalınlığı ve korozyon direnci test edilmiştir. Bulgular, uygulama yöntemlerinin kaplama morfolojisi ve kalınlığı üzerindeki etkisi ile çinko-manganez fosfat kaplamaların korozyon direnci arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Çalışma, çinko-manganez fosfat kaplamaların çelik substratların korozyon direncini artırmada potansiyel bir strateji olabileceğine işaret etmektedir. Optimum uygulama yöntemi, korozif ortam penetrasyonunu önemli ölçüde engelleyen kompakt ve kalın bir kaplamaya yol açmıştır. 135 W ultrasonik güçle işlenen kaplama, 12,2 µm kalınlık, uzatılmış damlama önleme süresi (236 s) ve geliştirilmiş yük transfer direnci (5696 Ω cm<sup>2</sup>) ve düşük frekans empedans modülü (4625 Ω cm<sup>2</sup>) ile en iyi performansı göstermiştir. Genel olarak, uygun uygulama yöntemi ile işlenmiş kaplama üstün korozyon direnci göstermiş ve inşaat uygulamalarında 16Mn çelik için etkili yüzey koruması sağlamıştır.

**Ayoola ve ark. (2023)** çalışmasında, A36 yumuşak çelik üzerinde kalsiyumla modifiye edilmiş çinko fosfat kaplamanın korozyon önleyici performansını araştırmıştır. Kalsiyum oksit konsantrasyonları, sıcaklıklar ve daldırma sürelerindeki değişimleri içeren kaplama işlemi için optimum koşullar, gelişmiş antikorozyon özelliklere sahip tek tip bir kaplama ile sonuçlanmıştır. Görsel inceleme ve SEM/EDS analizi kaplamanın etkinliğini doğrulamaktadır. Freundlich adsorpsiyon izotermi, belirlenen  $K_{ads}$  and  $\Delta G_{ad}$  değerlerinin gösterdiği gibi, A36 yumuşak çelik üzerinde kalsiyum ve çinko partiküllerinin fiziksel temelli adsorpsiyonunu öngörmektedir. Çinko fosfat banyosuna kalsiyum eklenmesi, A36 yumuşak çelik yüzeyinde mükemmel ve homojen bir kaplamanın oluşumunu önemli ölçüde artırmıştır. 80 °C'de gerçekleştirilen ve kalsiyum konsantrasyonunun 2,5 g/L olduğu kalsiyum modifiye fosfatlama işlemi, A36 üzerinde daha iyi ve daha homojen bir kaplama sağlamış, bu durum fiziksel inceleme ve taramalı elektron mikroskop analizi ile doğrulanmıştır. Ayrıca, Freundlich adsorpsiyon izotermi, inhibitör moleküllerin A36

yumuşak çelik yüzeyindeki adsorpsiyonunu tahmin etmek için uygun bir model olarak belirlenmiş ve  $R^2$  değerleri yaklaşık olarak 1 olarak bulunmuştur.

**Gad ve ark. (2023)** AA2198-T851 alüminyum alaşımının yapısal bütünlüğünü ASTM B-117 standartlarına göre yapılan nötr tuz sisine maruz bırakma ve batırma testlerinde korumak amacıyla model organik kaplamalara cerium 4-hidroksisinnamat ( $Ce(4OHCin)_3$ ) ve stronsiyum çinko fosfosilikat (SZP 391) adlı antikorozyon pigmentler eklenmiştir. Kaplı örnekler, alttaki tabakayı görmek için çizik atmıştır. 840 saatlik tuz sisi testi ve su geçirmezlik testi testinin ardından, maruz kalan ve maruz kalmayan örnekler taramalı elektron mikroskobu (SEM), interferometri, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) kullanılarak karakterize edilmiştir.

SEM ve interferometri sonuçları, organik kaplamalardan gelen büyük inhibitör kümeleşmelerinin çözünme ve salınma nedeniyle göreceli olarak pürüzlü bir yüzey morfolojisi ve gözenekli ağlar oluşturduğunu göstermiştir. Bu ağlar, inhibitör maddelerin taşınması için bir yol sağlamaktadır. Sızan inhibitör maddeleri, çizik yüzeylerde koruyucu bir film oluşturmuş; XPS analizi ise koruyucu maddelerin oksidasyon durumunu belirleyerek bilgi sağlamıştır. EIS çalışması, adsorbe edilen filmin impedans modulusünü önemli ölçüde artırarak inhibitörün koruyucu özelliklerini doğrulamıştır. Koruyucu filmler monokatmanlı bir yapı sergilemiştir.

**Michla ve ark. (2023)** yaptığı çalışmada 2 saat boyunca 530, 560 ve 580 °C'de değişen nitridleme sıcaklıklarının, 17-4 PH çeliklerin eklemeli imalat (AM) ile üretilmiş olanlarının korozyon direnci üzerindeki etkilerini, 104 saat boyunca tuz sisi testi yöntemi kullanarak incelenmiştir. Bu analiz, eklemeli imalat sürecinin yapıldığı yönde sütun şeklinde tanelerin varlığını göstermiştir. Tane boyutu rafine edildikçe ve çökeltilerin miktarı arttıkça, nitridleme sıcaklığı arttıkça artmıştır. Analiz sonuçları, 580 °C'de minimum ağırlık kaybının gözlemlendiğini, yüzeyde pasif oksit tabakası ve azot açısından zengin çökeltilerin oluşumu gözlemlenmiştir. X-ışını kırınımı (XRD), tuz sisi testi sonrasında nitridlenmiş örnek üzerinde  $Cr_2N$ ,  $(Fe, Cr)_4N$ ,  $(Fe, Cr)_2-3N$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeOOH$  ve  $Cr_2O_3$  bileşiklerinin varlığını göstermiştir.

**Peng ve ark. (2023)** Al-Zn-Mg-Cu alaşımı ile paslanmaz çelik arasındaki galvanik korozyonu inceleyerek, deneysel testler ve COMSOL simülasyonu kullanmıştır. Alaşım numuneleri tuz sisi testi uygulanarak çelikle eşleştirilmiş ve monomer numuneleriyle karşılaştırılmıştır. Kinetik eğriler, ağırlık kaybının kuvvet fonksiyonunu takip ettiğini göstermiştir. İlk durumda kuvvet fonksiyonu 0,33, ikinci durumda ise 0,38'tir. 128 saatlik korozyon süresinde, çelikle eşleştirilen numunelerin ağırlık kaybı monomer numunelerinin üç katıdır.

COMSOL simülasyonu ve eşleşen polarizasyon eğrisi analizi, galvanik korozyon bölgesinde potansiyel ve akım yoğunluğunu sırasıyla 0.67 V ve 13.6 A/m<sup>2</sup> olarak, açıkta kalan korozyon bölgesinde ise -0.82 V ve  $3 \times 10^{-3}$  A/m<sup>2</sup> olarak belirlemiştir. Galvanik korozyon bölgesinin genişliği, korozyon süresinin artmasıyla 501 µm'den 1980 µm'ye çıkmıştır. Al-Çelik eşleştirmesinden kaynaklanan yüksek akı yoğunluğu, Galvanik korozyon bölgesinde ( $\geq 200 \times 200$  µm) büyük çaplı

korozyon çukurlarına neden olmuştur. Bu durum açıkta bırakılan korozyon bölgesindeki ( $60 \times 60$  µm) daha büyüktür.

## 2.2. Taguchi Deney Tasarımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

**Meral ve ark. (2011)** delik delme işlemlerinde kaplamalı ve kaplamasız matkapların performanslarını kesme parametrelerine bağlı olarak etkisini incelemiş ve optimum işleme koşullarını belirlemiştir. Taguchi L9 ortogonal düzlemine göre yapılan deneylerde sinyal/gürültü (S/N) oranı değerlendirmesi kullanılmıştır ve Minitab 15 yazılımıyla kontrol faktörleri belirlenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ile kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisi değerlendirilmiş ve doğrulama deneyleri ile optimizasyonun başarıyla uygulandığı gösterilmiştir. Sonuçlar, Taguchi yönteminin hızlı faktör tespiti, zaman ve maliyet tasarrufu sağlayarak ürün kalitesini artırdığını vurgulamaktadır. Ayrıca, TiAlN kaplamalı matkapların kaplamasız HSS matkaplara göre daha yüksek performans gösterdiği ve kesme kuvvetini etkileyen en büyük faktörlerin ilerleme değeri ve matkap çapı olduğu bulgularına ulaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının ise matkap çapı ve ilerleme oranı artışı ile doğru orantılı olarak arttığı, kesme hızı artışı ile ters orantılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Optimum işleme koşulları matkap çapının en düşük seviyede, kesme hızının ise en yüksek olduğu durumda elde edilmiştir.

**Bhalamurugan ve Prabhu (2015)** yaş boya prosesinde ABB marka boya robotunun performansını değerlendirmek amacıyla Taguchi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, HVLP (yüksek hacim düşük basınç) tipi manuel boya tabancasının robot ucuyla entegrasyonu üzerine odaklanılmıştır.

Belirlenen faktörler (bağımsız değişkenler) tabancanın hareket hızı, tabanca mesafe uzaklığı ve basınçtır. Bağımlı değişkenler ise kuru film kalınlığı değişkenliği, yüzey sertliği ve kuru film yapışma özelliğidir. Deney sonuçlarına göre, çıktı performansını en fazla etkileyen girdi faktörünün tabanca mesafe uzaklığı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu bulgular, HVLP tipi manuel boya tabancasının yaş boya prosesindeki performansını optimize etmek için tabanca mesafe uzaklığının özenle ayarlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Taguchi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemlerinin birleşimi, boya robotlarının verimliliğini artırmak ve istenilen kalite özelliklerini sağlamak amacıyla sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

**Karidkar ve Mali (2017)** tarafından yapılan çalışmada, toz boya prosesindeki proses parametrelerinin optimal ayarlarını belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımı yöntemleri arasında Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada bağımsız faktörler toz boya tabanca uzaklığı ve toz boya tabanca hızı olarak belirlenmiş, sonucunda çıkan parametreler ise kuru film kalınlığı ve kuru film mikro yapısı olarak belirlenmiştir. Çalışmada Minitab programından faydalanılarak elde edilen ana etki grafiği, etkileşim grafiği ve kontur grafikleri gibi analitik araçlarla sonuçlar değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, kuru film kalınlığı üzerinde tabanca uzaklığının tabanca hızından daha belirgin bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, tabanca ile hedef parça arasındaki

uzaklığın azalması ve tabanca hızının düşmesinin kuru film kalınlığına ve istenmeyen boya yüzey yapısına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, toz boya prosesinde optimal performans elde etmek için tabanca uzaklığı ve tabanca hızının dikkatlice ayarlanması gerektiğini vurgulamaktadır.

**Yağmur ve ark. (2017)** yapılan bu çalışmada AISI 1050 çeliğinin delinebilirlik Taguchi deney tasarımıyla performansı incelenmiştir. Bağımsız değişken olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici takım olarak belirlenmiştir. Kesme hızı TiN – TiAN – TiCN kesici takımlar, ilerleme hızı 0,15 – 0,20 – 0,25 mm/dev ve kesme hızı 75 – 90 – 108 m/dk şeklinde belirlenmiştir. Deneyler Taguchi L18 ortogonal dizisine göre yapılmıştır. Optimum çözüm olarak kesme hızı 90 m/dk ilerleme hızı 0,15 mm/dev olarak bulunmuştur.

**Chidhambara ve ark. (2018)** tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yaş boya robotlarında boya kalınlığı optimizasyonu Taguchi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışma kuru film kalınlığını maksimize etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, yaş boya robotlarının performansını etkileyen faktörleri anlamak amacıyla 5 seviyeli 3 faktör kullanılmıştır. Bu faktörler, yaş boya debisi, tabanca kafası havası ve viskozite olarak belirlenmiştir. Yapılan ANOVA analizi sonuçları, kuru film kalınlığını en fazla etkileyen faktörlerin tabanca kafası havası (%51,05) ve boya debisi (%38,78) olduğunu göstermiştir. Öte yandan, viskozitenin önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Bu bulgular, yaş boya robotlarında boya kalınlığı optimizasyonu için tabanca kafası havası ve boya debisi parametrelerine odaklanmanın gerekliliğini vurgulamaktadır.

**Emre (2019)** Bu çalışmada, mukavemet ve kaynak çekirdek geometrisinin optimizasyonu için çeşitli kaynak parametrelerinde TWIP çelik saclar nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Taguchi analiziyle belirlenen nokta direnç kaynaklı TWIP çeliği için en uygun çekme makaslama dayanımı ve kaynak çekirdek çapını veren kaynak parametresi 7 kA kaynak akımı ve 20 çevrim kaynak zamanı ( $A_2B_3$ ) olarak belirlenmiştir. Ayrıca çekme makaslama dayanımının değişiminde en önemli kaynak parametresi, %82,9 oranında bir PCR ile kaynak akımı olarak bulunmuştur. Kaynak çekirdek çapı için en önemli kaynak parametresi ise %75,5'lik bir PCR ile kaynak zamanı olarak bulunmuştur.

**Wang ve ark. (2020)** çalışmasında, karmaşık mekanik parçaların uygun maliyetli üretimini yapmak amacıyla toz metalurjisini kullanmakta ve şekillendirme aşamasında paralellliğini etkileyen faktörleri analiz etmek için L9 ortogonal dizini uygulanarak Taguchi deney tasarımı yöntemini uygulamıştır. Her biri iki seviyeli altı makine için ayar faktörü araştırılmıştır. Sonuçlar, iki ürün için ortalama paralellik değerlerinde %55,73'ten %49,44'e önemli bir azalma olduğunu göstermiştir.

Çalışma, Taguchi yöntemiyle tanımlanan optimum parametre ayarlarının ürün veriminde ve üretim maliyetinde eş zamanlı iyileştirmelere yol açtığını göstererek deneyin tekrarlanabilirliğini doğrulamaktadır.

**Önal (2021)** yaptığı çalışmada plastik enjektör kalıplama tekniğiyle üretilen düğme iç göbek parçası ele alınmıştır. 6 seviye 1 faktör, 3 seviye 6 faktör olmak üzere 7 faktör tespit edilmiştir.

Taguchi optimizasyon yönteminden faydalanılmış olup L18 ortogonal dizini kullanılmıştır. Çekme miktarının etkisi incelenmiş olup 0,03'ten 0,01'e düştüğü görülmüştür.

**Prabhakaran ve ark. (2021)** çalışmasında, -190°C'de kriyojenik işlem yoluyla OHNS çeliğindeki madde özelliklerinin iyileştirilmesini araştırmaktadır. Bir kriyo işlemci ve Taguchi yöntemi kullanılarak soğutma hızı, sıvı nitrojen akış hızı ve bekletme süresi gibi faktörler için optimum koşullar belirlenmiştir. Kriyojenik işlemden sonra farklı sertlik aralıkları elde edilmiştir (57-65 HRC). Maksimum sertliğe ulaşılmıştır. 6 C/dk soğutma hızında, 3 m/s akış hızında ve tutmada 30 saatlik sürede deney uygulanmıştır. Sonuç olarak minimum aşınma oranı 5 C/dakika, 1 m/s akış hızı ve 38 saatlik tutma süresinde elde edilmiştir. Aşınma oranı 0,102–0,342 mm<sup>3</sup>/dak. bulunmuştur. Varyans testiyle nitrojenin akış hızının sertlik (%71,94) ve aşınma oranı (%32,65) üzerinde en güçlü faktör olduğu görülmüştür. Varyans testi, kriyojenik işlemin OHNS çeliğinde madde özellikleri, özellikle de sertlik ve aşınma oranı üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamıştır.

**Gurugubelli ve ark. (2022)** çalışmasında, Taguchi yaklaşımını kullanarak hızı, kesme sıvılarını ve kesme derinliğini optimize ederek EN8 çeliğinin CNC torna tezgahında tornalama sürecini araştırmaktadır. Kesme hızı, kesme sıvıları ve kesme derinliği gibi parametreler üç farklı seviyede incelenmiştir: 1000 rpm, 1500 rpm ve 2000 rpm için kesme hızı; servo yağı, palm yağı ve ayçiçek yağı için kesme sıvısı; ve 2 mm, 2.5 mm ve 3 mm için kesme derinliği şeklindedir. Yüzey pürüzlülüğü, kesme sıvısı oranı, kesme derinliği ve spindle hızı tarafından temel olarak etkilenmektedir. Kesme sıvısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. Kesme derinliğindeki artış başlangıçta artmış, sonra azalmışken, spindle hızındaki artışla birlikte azalmıştır. Sonuç olarak, işlem parametrelerinin optimal kombinasyonu 2000 rpm, ayçiçek yağı ve 3 mm olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmakta ve L9 ortogonal dizilimi ile yapılan deneyler, optimize edilmiş parametreler aracılığıyla tatmin edici yüzey kalitesi elde edildiğini doğrulamaktadır.

**Daniyan ve ark. (2023)** çalışmasında, Taguchi yöntemi kullanılarak yüksek performanslı bir alaşım olan Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V için tornalama parametreleri optimize edilmiştir. Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için en etkili faktör olarak belirlenmiştir. Fiziksel deneylerle doğrulanan Taguchi metodolojisi sonuçları, yüzey pürüzlülüğüne en büyük katkının kesme hızından (%71.27), ardından ilerleme hızından (%15.46) ve en düşük katkının derinlik kesiminden (%13.27) geldiğini göstermektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğünü sağlayan optimal işlem parametreleri (ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği) kombinasyonu, ilerleme hızı 0.25 mm/dk, kesim derinliği 0.75 mm ve kesme hızı 100 m/dk'dır. Minimum yüzey pürüzlülüğü için optimum kombinasyon pürüzlülüğü ile Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V tornalama sırasında üstün yüzey kalitesi elde etmek için değerli bilgiler sağlamaktadır.

**Rekha ve ark. (2023)** çalışmasında, Taguchi tekniği ve Gri İlişkisel Analiz kullanarak östenitik SS304 (paslanmaz çelik türü) için silindirik taşlama optimizasyonunu araştırmaktadır. Taşlama parametreleri olarak iş parçası hızı, boyuna ilerleme, enine ilerleme, soğutma sıvısı akış hızı, yüzey pürüzlülüğü ve malzeme kaldırma oranı üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Her iki yanıt



kriterini de karşılayan optimum taşlama işlemi parametreleri iş hızı = 20 m/dak, boyuna ilerleme = 6 m/dak, enine ilerleme = 0,02 mm, soğutucu akış hızı = 1,43 l/dak şeklinde yapılmıştır. Gri ilişkisel analiz tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir.

**Hermawan ve ark. (2023)** çalışmasında, betonda çelik donatının bağlanma özelliklerini araştırmaktadır. Karışım tasarımları, Taguchi yöntemi ile bakteriyel iyileştirici ajan (BAC) ve kristal katkıları (CA) kullanılarak optimize edilmiştir. Daha düşük su-çimento oranı (w/c), daha yüksek ince oran (FR) ve iyileştirici maddelerin dahil edilmesiyle basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Çatlaksız durumdaki bağ mukavemeti BAC veya CA ile artırılırken, çatlaklar bu mukavemeti azaltmaktadır. İyileşme, özellikle uzun sürelerde hafif bir iyileşme göstermekte ve bu çalışma, çatlak kapanmasını ve kalsiyum karbonatları iyileşme ürünleri olarak tanımlamaktadır. Taguchi metodolojisi kullanılarak yapılan deneylerde, kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne en fazla katkı sağladığı, bunu ilerleme hızı ve kesim derinliğinin takip ettiği belirlenmiştir. Optimal işlem parametreleri kombinasyonu, ilerleme hızı 0.250 mm/dak, kesim derinliği 0.75 mm ve kesme hızı 100 m/dak olarak önerilmiştir.

**Ogbonna ve ark. (2023)** çalışmasındaki amacı, AISI 1008 yumuşak çelik ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin alın birleştirmelerinde Gaz Metal Ark Kaynağını (GMAW) optimize etmektedir. Hibrit Gri tabanlı Taguchi yöntemi kullanılarak kaynak parametreleri (akım, voltaj ve gaz akış hızı) optimize edilmiştir. Optimum parametreler akım: 180 A, voltaj: 14 V, gaz akış hızı: 19 l/dak şeklinde olup füzyon bölgesinde gerilme mukavemeti, akma mukavemeti, yüzde uzama ve sertlikte iyileşme ile sonuçlanmaktadır. Gerilim en etkili parametre olarak %63,76 oranında katkı sağlamıştır.

### 2.3. Literatür Taraması İçin Özet Tablo

Fosfat kaplama ve elektrostatik toz boya ile ilgili özet tablo Çizelge 2.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Fosfat Kaplama ve Elektrostatik Toz Boya Özet Tablo

| FOSFAT KAPLAMA ve ELEKTROSTATİK TOZ BOYA İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR |      |                                                                                                                                      |                                                                                        |                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yazar                                                                  | Yıl  | Çalışmanın Konusu                                                                                                                    | Deneyde Kullanılan Malzemeler                                                          | Çıktılar                                                                                                                 |
| Çağlaroğlu                                                             | 2006 | AISI 1045 çeliğinin fretting yorulmasına ve korozyon davranışına fosfat kaplamanın etkileri                                          | F=100 MPa basıncında AISI 1045 çeliği                                                  | Mangan fosfat ile koruyuculuğu artmış AISI 1045 çeliği                                                                   |
| Gülyaşar                                                               | 2010 | Fosfatlama öncesi ön işlem ve fosfatlama parametrelerinin, kaplamanın ortalama kristal boyutu ve çukur korozyonu üzerindeki etkileri | AISI 1045 çeliği numunesi                                                              | 60°C'ye yakın yüksek sıcaklıklarda oyuklanma korozyonu olan AISI 1045 çeliği                                             |
| Gün ve Özaydın                                                         | 2013 | Sfero Chill döküm kam millerinde mangan kaplamanın aşınma direnci üzerindeki etkileri                                                | Sfero chill dökümlü kam milleri                                                        | 2,8 kat daha az aşınmış sfero chill döküm ve kam milleri                                                                 |
| Hu, Muhammad, Wang, Ma, Du, Fan, Cao, Zhao                             | 2019 | Nano-MoS <sub>2</sub> 'nin kaplamanın faz bileşimi, morfolojisi ve korozyon direnci üzerindeki etkileri                              | Q235 yumuşak çelik                                                                     | NanoMoS <sub>2</sub> ile fosfatlama süreci desteklenmiş Q235 yumuşak çelik                                               |
| Çiftler                                                                | 2019 | Vites kutusunun fosfat kaplama prosesindeki fosfatlama banyolarının karakterizasyonu üzerinde etkileri                               | Çelik malzemeden oluşan parçalar                                                       | Daha düzenli ve birbirine yakın tanecik                                                                                  |
| Öz, Demir, Sağiroğlu ve Yakut                                          | 2019 | Plazma Sprey Tekniği ile Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kaplanmış Fren Diskinin Frenleme Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi  | 7 mm dış, 150 mm iç çapa, 22 mm kalınlığa, 5328,73 g kütleyle sahip olan D0 ve D1 disk | D0 ve D1 diskine göre daha yüksek sürtünme katsayısı ve frenleme performansı                                             |
| Jiang ve Cheng                                                         | 2019 | Tek adımlı fırçalama yöntemiyle bina çeliği üzerine korozyon önleyici çinko fosfat kaplama                                           | Q235 çeliğinden yapılmış 10 x 20 mm <sup>3</sup> hacimli silindirik alt tabakalar      | Dayanıklı bir korozyon önleyici Q235 çeliği                                                                              |
| Kocatürk, Zeren, Yurttaş, Toparlı                                      | 2020 | Soğuk Dövmede Kullanılan Yüzey İşlem Metotları                                                                                       |                                                                                        |                                                                                                                          |
| Polyakov, Botryakova, Glukhov, Red'kina ve Kuznetsov                   | 2021 | Çelik üzerinde süperhidrofobik çinko kaplamaların oluşumu ve korozyon önleyici özellikleri                                           | Düşük karbonlu çelik                                                                   | Korozyon direncinin arttığı ve tuzlu ortamda dayanıklılığı güçlü düşük karbonlu çelik                                    |
| Yargıç, Eren ve Özbay                                                  | 2021 | Sıcak-Dövme Döküm Malzemelerin Performans Özelliklerini İyileştirmeye Yönelik Kaplama Koşullarının Karşılaştırılması                 | F899 ve F990 d                                                                         | Katoferez kaplamayla yüksek korozyon direnci sağlayan F899 ve F990 dövme çeliği                                          |
| Bolayı, Maledi, ve Andrews                                             | 2022 | AA6061-HDG çelik üzerine uygulanan çinko fosfat kaplamaların korozyon performansı                                                    | 10mm *10 mm boyutunda AA6061-HDG çeliği                                                | Çinko fosfat kaplamayla fosfat kristallerini ve hızlı çekirdeklenmeyi engelleyen 10mm *10 mm boyutunda AA6061-HDG çeliği |

Çizelge 2. 1'in Devamı

|                                                             |      |                                                                                                                                      |                                                             |                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zhang, Chen ve Tan                                          | 2023 | Korozyon direnci sağlamak amacıyla 16Mn çeliğe ultrasonik işlem görmüş çinko-mangan fosfat kaplamalar uygulaması                     | 16Mn çeliği                                                 | 135 W ultrasonik işleme, 12,2 µm kalınlık, 236 s damlama önleme, 5696 Ω cm <sup>2</sup> yük transfer direnci, 4625 Ω cm <sup>2</sup> düşük frekans empedans            |
| Ayoola, Durodola, Babalola, Adeniyi ve Ilobinso             | 2023 | Kalsiyumla modifiye edilmiş çinko fosfat kaplamanın A36 yumuşak çelik üzerindeki korozyon önleyici etkileri                          | 2.5 cm × 2.5 cm A36 yumuşak çelik plakası                   | 80 °C'deki 2.5 g/L kalsiyum modifiye fosfatlama ile homojen kaplama                                                                                                    |
| Gad, Zhou, Lyon ve Emad                                     | 2023 | Organik kaplamalardan sızan antikorozyf pigmentlerin inhibisyon mekanizması: Tuz sisi testi ve daldırma testi arasında karşılaştırma | AA2198-T851 alüminyum alaşımı                               | Cerium 4-hidroksisinnamat ve stronsiyum çinko fosfosilikat içeren organik kaplamalar                                                                                   |
| Michla, Rajini, Ismail, Prabhu, Mohammed, Siengchin ve Devi | 2023 | 17-4 PH çeliklerinin katmanlı imalat ile üretilmiş nitrojenleme işleminin tuz spreysi korozyon direnci üzerindeki etkileri           | 17-4 PH çelikleri                                           | 580 °C'de minimum ağırlık kaybı ve XRD analizi sonrasında belirli bileşiklerin varlığı                                                                                 |
| Peng, Zhao, Liu, Han, Liu ve Gao                            | 2023 | Al-Zn-Mg-Cu alaşımı ile paslanmaz çelik arasındaki galvanik korozyonun tuz sisi testindeki etkileri                                  | Alaşım numuneleri ve çelik eşleştirilmiş monomer numuneleri | Korozyon süresinin artmasıyla galvanik korozyon bölgesinin genişlemesi ve Al-çelik eşleştirmesinden kaynaklanan yüksek akı yoğunluğunun büyük çaplı korozyon çukurları |

Taguchi deney tasarımıyla ilgili özet tablo Çizelge 2.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Taguchi Deney Tasarımı Literatür Özet Tablo

| TAGUCHİ DENEY TASARIMIYLA İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR |      |                                                                                                                                  |                                                            |                                                                                              |
|---------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yazar                                                   | Yıl  | Çalışmanın Konusu                                                                                                                | Deneyde Kullanılan Malzemeler                              | Sonuç                                                                                        |
| Meral, Sarıkaya ve Dilipak                              | 2011 | Delik delme işlemlerinde kaplamalı ve kaplamasız matkapların, kesme parametrelerine bağlı olarak performanslarının araştırılması | TiAlN kaplamalı matkap ve HSS matkap                       | TiAlN kaplamalı matkapların kaplamasız HSS matkaplara göre daha yüksek performans göstermesi |
| Bhalamurugan ve Prabhu                                  | 2015 | Otomatik Performans Karakteristik Analizi Taguchi Yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz Kullanılarak Robot Sprey Boyama                | Tabancanın hareket hızı, tabanca mesafe uzaklığı ve basınç | En fazla etkileyen faktörün tabanca mesafesi uzaklığı olması                                 |
| Karidkar ve Mali                                        | 2017 | Taguchi metodolojisi kullanılarak toz püskürtme proses parametrelerinin optimizasyonu                                            | Toz tabanca uzaklığı, Toz tabanca hızı                     | Tabanca hızının tabanca uzaklığına göre daha etkili bir faktör olması                        |
| Yağmur, Çakıroğlu, Acır ve Şeker                        | 2017 | AISI 1050 delinebilirlik performansı optimizasyonu                                                                               | AISI 1050 çeliği numunesi                                  | Kesme hızı 90 m/dk ilerleme hızı 0,15 mm/dev                                                 |

Çizelge 2.2. Devamı

|                                                    |      |                                                                                                                                                          |                                                              |                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chidhambara, Shankar ve Vijaykumar                 | 2018 | Yaş boya robotlarının proses parametrelerinin optimizasyonu                                                                                              | Yaş boya debisi(viskozite ve voltaj)                         | En fazla etkileyen %51,05 ile tabanca kafası ve %38,78 ile boya debisi                                                          |
| Emre                                               | 2019 | Mukavemet ve kaynak çekirdek geometrisinin optimizasyonu için çeşitli kaynak parametrelerinde TWIP çelik saclar nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesi | TWIP çeliği                                                  | 7 kA kaynak akımı ve 20 çevrim ile en uygun çekme ve kaynak zamanı (A2B3) ve %75,5'lik bir PCR olan TWIP Çeliği                 |
| Wang, Wang ve Wang                                 | 2020 | Karmaşık mekanik parçaların uygun maliyetli üretimini yapmak amacıyla toz metalurjisinin kullanılması                                                    | Karmaşık mekanik parçalar                                    | İki ürün için ortalama paralellik değerlerinde %55,73'ten %49,44'e azalma                                                       |
| Önal                                               | 2021 | Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle Üretilen Parçadaki Çekme Probleminde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu                                         | Fırın düğmesi iç göbek parçaları                             | Çekme miktarının etkisi 0,03'ten 0,01'e düşen fırın düğmesi iç göbek parçaları                                                  |
| Prabhakaran Madan Sivakandhan Anandan ve Marichamy | 2021 | OHNS çeliğinin kriyojenik arıtması                                                                                                                       | OHNS çeliği                                                  | 0,102–0,342 mm3/dak. aşınma oran,ı nitrojenin akış hızının sertliği %71,94 ve aşınma oranı %32,65 olan OHNS çeliği              |
| Grugubelli, Chekuri ve Penmetsa                    | 2022 | Torna tezgahında; hızı, kesme sıvıları ve kesme derinliğinin optimize edilmesi                                                                           | EN 8 çeliği                                                  | 2000 rpm, ayçiçek yağı ve 3 mm olarak belirlenmesi                                                                              |
| Daniyan, Muvunzi, Mporu ve Adedu                   | 2023 | Ti6Al4V için tornalama parametreleri optimize edilmesi                                                                                                   | Ti6Al4V titanyum alaşımı                                     | Optimum kombinasyon pürüzlülüğü 0,25 mm/dak ilerleme hızı, 0,75 mm kesme derinliği ve 100 m/dak kesme hızı olan Ti6Al4V         |
| Rekha, Kumar, Raj ve Vignesh                       | 2023 | SS304 (paslanmaz çelik türü) için silindirik taşlama optimizasyonunun sağlanması                                                                         | SS304 paslanmaz çelik                                        | İş hızı 20 m/dak, boyuna ilerleme 6 m/dak, enine ilerleme 0,02 mmve soğutucu akış hızı = 1,43 l/dak) olan SS304 paslanmaz çelik |
| Hermawan, Wiktor, Gruyaert ve Serna                | 2023 | Betonda çelik donatının bağlanma özelliklerini araştırılması                                                                                             | Bakteriyel iyileştirici ajan (BAC) ve kristal katkıları (CA) | İlerleme hızı 0.250 mm/dak, kesim derinliği 0.75 mm ve kesme hızı 100 m/dak olan BAC ve CA                                      |
| Ogbonna, Akinlabi, Madushele, Fatoba ve Akinlabi   | 2023 | AISI 1008 yumuşak çelik ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin alın birleştirmelerinde Gaz Metal Ark Kaynağını (GMAW) optimize edilmesi                 | AISI 1008 yumuşak çelik                                      | Optimum parametreler akım: 180 A, voltaj: 14 V, gaz akış hızı: 19 l/dak şeklinde olan AISI 1008 yumuşak çeliği                  |

Görüldüğü üzere Fosfat kaplama ve Taguchi deney tasarımı, elektrostatik toz boya ve yaş boya üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak çelik kapı sektöründe elektrostatik toz boya sürecinde fosfat kaplama ile ilgili bir çalışma bulunmamıştır.

Çelik kapı üretim işletmelerinde demir fosfat kaplama prosesi üzerine gerçekleştirilen bu çalışma, sektördeki verimliliği ve kalite standardını artırma potansiyeli taşımaktadır. Bu çalışma, demir fosfat kaplama sürecinin Taguchi deney tasarımı yöntemi ile optimize edilmesini sağlayarak üretim verimliliğini artırabilmektedir. Ayrıca, çelik kapıların dayanıklılığını ve korozyon direncini iyileştirerek ürün kalitesini artırabilmektedir. Müşteri memnuniyetini artırmanın yanı sıra, maliyetleri azaltma ve çevresel etkileri minimize edebilmektedir. Araştırma sonuçları, sektöre özgü en iyi uygulamaların belirlenmesine ve endüstri standartlarının geliştirilmesine katkıda bulunarak çelik kapı üretim işletmelerine rekabet avantajı sağlayabilmektedir.





### 3. METOT

Bu çalışmada, fosfat kaplamanın temel sorunlarını sistematik bir şekilde belirlemek ve kök nedenini analiz etmek amacıyla balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur. Balık kılçığı diyagramında belirlenen belirlenen parametreler için Taguchi Deney Tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Taguchi Deney Tasarımı yöntemine göre elde edilen optimum değerler için tuz sisi testi uygulanmıştır. Tuz sisi testinin sonuçlarını değerlendirmek ve istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç elde etmek amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemler bu bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

#### 3.1. Balık Kılçığı Diyagramı

Bu çalışmadaki demir fosfat kaplamada yaşanan sorunların kök nedenine inmek amacıyla ilk olarak balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur.

Kaoru Ishikawa tarafından geliştirilen balık kılçığı diyagramı, verilen bir sorunun ana nedenlerini belirlemek ve sınıflandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu diyagram, yalnızca tek bir sorun olduğunda ve olası nedenler birkaç kritere göre sınıflandırılabilirdiğinde önerilmektedir. Balık kılçığı diyagramı, belirli bir sonuç ile nedenleri arasındaki ilişkileri şematik olarak gösteren bir grafik temsil olarak tanımlanmaktadır. İncelenen etki veya sorun "balık başı" olarak adlandırılmakta ve potansiyel nedenler ve alt nedenler balık kılçığı yapısını tanımlamaktadır. Üretim faaliyetlerinin farklı alanlarında ve hizmetlerin sunulduğu alanda kalite sorunlarının analizi ve değerlendirmesi için uygulanabilmektedir (Luca ve ark., 2017).

Bu yöntem, bir problemi kökenlerine indirgemek amacıyla kullanılan bir yaklaşımdır. Temel hedef, problemin altında yatan nedenlerin (insan, malzeme, metot, makine, çevre ve yönetim olarak adlandırılan 6 ana faktör) alt nedenlerinin 5N 1K çözüm yöntemiyle açıklığa kavuşturulmasıdır. (Karagöz, 2006)

Teknik, bir sorunun tüm olası nedenlerini düşünmek için diyagram tabanlı bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. Bu, durumun kapsamlı bir analizini yapılmasına yardımcı olmaktadır.

Balık kılçığı diyagramının kullanılabilmesi için dört adıma ihtiyaç vardır (Liliana, 2016):

- Sorunun tanımlanmasının sağlanması,
- İlgili ana faktörlerin hesaplanması,
- Olası nedenleri belirlenmesi,
- Diyagramın analiz edilmesi şeklindedir.

Nedenler genellikle bu değişkenliklerin kaynaklarını belirlemek amacıyla ana kategoriler halinde gruplandırılmaktadır.

Kategoriler genellikle şunları içermektedir:

İnsan: İnsan kaynaklı nedenleri ifade etmektedir.

Yöntem: İşlemin nasıl gerçekleştirildiği ve bunu yapmak için özel gereksinimler, örneğin politikalar, prosedürler, kurallar, yönetmelikler ve kanunlar ile ilgili sorunları ifade etmektedir.

Makine: İş gerçekleştirilmek için gerekli olan her türlü ekipman, bilgisayar, alet vb. sorunları ifade etmektedir.

Malzeme: Nihai ürünü üretmek için kullanılan hammaddeler, parçalar, kalemler, kâğıt vb. sorunları ifade etmektedir.

Ölçüm: Süreçten elde edilen ve kalitesini değerlendirmek için kullanılan verileri ifade etmektedir. Ölçüm yapan cihazlar hatalı sonuç vermesini neden olabilmektedir.

Çevre: Ürünün bulunduğu yer, zaman, sıcaklık ve kültür gibi koşullar ile ilgili sorunları ifade etmektedir.

Sonuç olarak balık kılçığı diyagramı, sorunların kök nedenlerini sistemli bir şekilde analiz etmek ve çözmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu diyagram, sorunların başlığını temsil eden "baş" bölümünde yer alırken, kılçıklar soruna potansiyel nedenleri temsil etmektedir. Alt başlıklar veya kategoriler şeklinde düzenlenen kılçıklar, daha özel nedenleri göstermektedir. Ekip, sorunun kök nedenlerini belirlemek için toplanmakta ve bu nedenleri balık kılçığı diyagramı üzerinde ilgili kategorilere yerleştirilmekte, böylelikle sorunun farklı yönleri ve ilişkileri görsel olarak anlaşılır hale gelmektedir. Bu yöntem, karmaşık sorunlarda birden fazla nedenin belirlendiği durumlarda son derece etkili olmaktadır. Sorunların nedenleri ve ilişkileri daha açık bir şekilde anlaşılmakta ve önceliklendirilebilmekte, böylece kök nedenler tespit edilerek çözüm stratejileri geliştirilebilmektedir. Balık kılçığı diyagramı, sorun analizi, kök nedenlerin belirlenmesi ve etkili çözüm stratejilerinin oluşturulması için değerli bir araçtır, çünkü sorunları daha iyi anlayarak daha etkili çözümler üretilmesine katkı sağlamaktadır.

### 3.2. Taguchi Deney Tasarımı

Bu çalışma Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taguchi deney tasarımı, minimum deneme sayısı ile maksimum bilgi sağlayarak zaman ve maliyet tasarrufu yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu yöntem, karmaşık sistemlerde etkileşimleri anlamak, parametreleri optimize etmek ve dayanıklı tasarımlar elde etmek için kullanılarak süreçlerin ve ürünlerin kalitesini artırmak için etkili bir araç olmaktadır (Canıyılmaz, 2001).

Genichi Taguchi, 1950'lerde üretilen malların kalitesini artırmayı amaçlayan istatistiksel bir yöntem sunmuştur. Bir ürünün üretim kalitesi, gürültü veya kontrol edilemeyen değişkenler olarak da bilinen dış etkenlerden etkilenmektedir. Taguchi yöntemi, bu tür gürültüleri tanımlamak ve hangi parametrelerin veya kontrol edilebilen değişkenlerin en fazla gürültü ve amaç fonksiyonu üzerinde etkiye sahip olduğunu değerlendirmek için bir süreç tanımlamaktadır. Amaç fonksiyonu, optimize



edilmesi, maksimize edilmesi veya minimize edilmesi amaçlanan sistem çıktısıdır (**Chen ve ark., 2022**).

Taguchi deney tasarımı, ürün veya süreç tasarımında maliyeti azaltmak, kaliteyi artırmak ve performansı optimize etmek amacıyla yapılmaktadır. Özellikle ürün geliştirmek aşamasında, deneyin birçok değişkeni aynı anda dikkate alınmasına rağmen, minimum sayıda deney yapılmasını sağlayarak zaman ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır.

Deney sayısını minimum düzeyde tutarak istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntemde, deney faktörlerinin etkilerini ve etkileşimlerini belirlemek amacıyla bir dizi deney yapılmakta ve sonuçlar analiz edilmektedir. En iyi kombinasyonlar ve parametre ayarları belirlenmektedir.

Ürün ve süreç tasarımındaki değişkenlerin optimize edilmesi için kullanılmaktadır.

Taguchi deney tasarımı yöntemi ile yapılan bu çalışma, optimizasyon problemlerinin çözümünde son derece etkili bir yöntem olarak öne çıkarmaktadır. Taguchi metodolojisi, deneme sayısını minimize etmekle kalmayıp aynı zamanda proses ve ürün geliştirmenin her aşamasında yüksek kaliteyi desteklemektedir. Bu, proses ve ürünün üretim koşullarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyet göstermesini içerirken gerekli toleransların en ekonomik şekilde sağlanmasını sağlamakta ve Taguchi kayıp fonksiyonu aracılığıyla ürünün toplumda meydana getirdiği kaybı minimize ederek, yeni bir çerçevede değerlendirmektedir (**Meral ve ark., 2011**).

Taguchi yöntemi; üretimi, verimi ve süreci iyileştirmek amacıyla yapılan önemli bir deney tasarımı yöntemidir. Süreçlerdeki fazla değişkenliklerden kaynaklanan yeniden işleme, hurda üretim ve işçilik maliyetlerini azaltmak amacıyla yapılmaktadır.

Taguchi'nin yöntemlerinde deneylerin tasarımında kullanılan strateji, ortogonal dizilimlere dayanmaktadır. Bu dizilimler, faktörler ve seviyeler arasındaki tüm olası kombinasyonların test edilmediği "kesirli faktöriyel tasarımlar" türünde bir yöntemi temsil etmektedir. Bu strateji, işlem üzerindeki faktör ana etkilerinin tahmin edilmesi için kullanışlıdır. Bu tür bir stratejinin ilk amacı, deneysel çalışmalarda mümkün olan en fazla bilgiyi elde etmek için minimum deneysel çalışma yapmaktır (**Pontes ve ark., 2012**).

Deney tasarımı metotları günümüzde farklı alanlarda kullanılmakta, özellikle fazla sayıda deney yapılmasının önüne geçerek maliyet azaltılmasına ve çok fazla zaman harcamadan gerekli iyileştirmelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır (**Sabırlı ve Fırlah, 2020**).

Taguchi'ye göre kalite, ürün veya süreçteki değişkenliğin azaltılması yoluyla hedef değere daha güçlü bir yaklaşım sağlanması ve böylece tüketici ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. Bu nedenle, Taguchi'nin önerdiği yöntem, kaliteyle ilgilenen diğer uzmanların geleneksel çalışmalarından farklılık taşımaktadır. Geleneksel kalite anlayışına göre, kalite artışı maliyeti yükseltirken, Taguchi'nin yaklaşımına göre kalite maliyetini düşürmeyi amaçlamaktadır. Benzer şekilde, geleneksel kalite anlayışına göre, kalitenin geliştirilmesinin istatistiksel süreç kontrolüyle elde

edileceği düşünülürken, Taguchi'ye göre daha stratejik bir yaklaşım ve kalitenin ürün veya sürecin tasarım aşamasında geliştirilmesi gerekmektedir (**Şanyılmaz, 2006**).

Ayrıca Taguchi'ye göre bir ürünün kalitesi, müşterinin ürünü kullanım sırasında toplumda meydana getirdiği kayıpla ölçülmektedir. Yani bir ürünün fabrikadan çıkıp müşterinin eline ulaşmasından sonra meydana gelebilecek olumsuzluklar toplumsal bir kayıp olarak görülmektedir. Bu kayıp, müşteri memnuniyetsizliğini ve işletmelerin itibar kayıplarını kapsamaktadır (**Yıldız, 2021**).

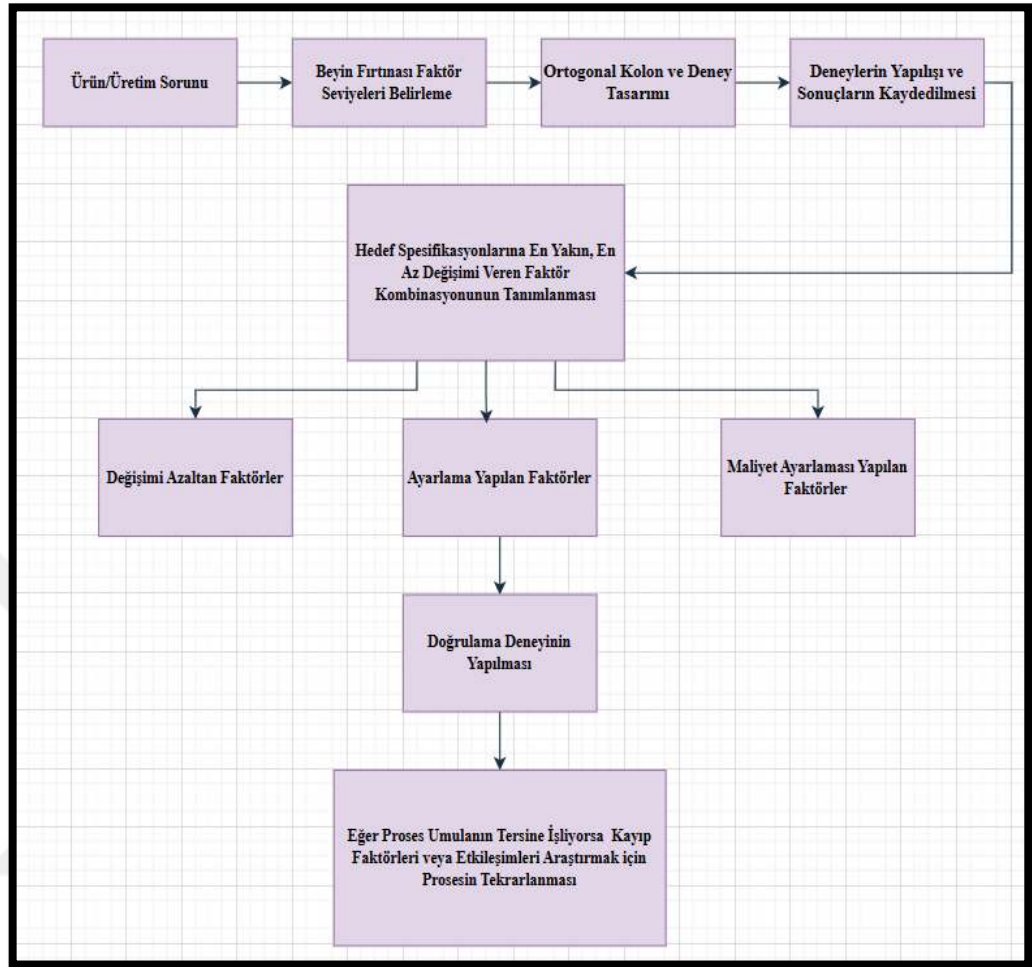
Ortogonal bir dizi kullanarak deney sayısını önemli ölçüde azaltmada faydalı olmakta ve aynı zamanda kontrol dışı etkileri en aza indirmeye çalışmaktadır (**Bhatti ve Singh, 2015**).

Taguchi deney tasarımında ortogonal dizi, deneylerin planlanmasında kullanılan matematiksel bir modeli ifade etmekte ve faktör seviyelerinin nasıl düzenleneceğini göstermektedir. Bu diziler, faktörler arasındaki etkileşimleri dikkate alarak, minimum sayıda deney yaparak maksimum bilgi elde etmeyi amaçlamakta ve böylelikle deneyler daha verimli ve analizi daha kolay hale gelmektedir. "L" harfi ile başlayan notasyon (L9, L16 vb.), deneyin yapısını, kullanılacak koşulların sayısını göstermekte ve deney tasarımında hangi faktör kombinasyonlarının test edileceğini belirlemek için kullanılmaktadır. Ortogonal diziler, kalite mühendisliği, ürün tasarımı ve proses iyileştirme gibi alanlarda Taguchi Deney Tasarımı yaklaşımının temel bir parçası olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kontrol edilmeyen bir faktörün etkisi kontrol edilebilen bir ayarlanarak azaltılabilmekte ve maliyeti artırmadan kalite geliştirme sağlanmaktadır (**Önal, 2021**).

Temel olarak, Taguchi yöntemi yüksek kaliteli sistemlerin tasarımı için güçlü bir araç olmaktadır. Performans, kalite ve maliyet açısından tasarımları optimize etmek için basit, verimli ve sistemli bir yaklaşım sunmaktadır. Bu metodoloji, tasarım parametreleri nitel ve kesikli olduğunda değerlidir. Taguchi parametre tasarımı, tasarım parametrelerinin ayarları aracılığıyla performans karakteristiklerini optimize edebilmekte ve sistem performansının varyasyon kaynaklarına olan duyarlılığını azaltabilmektedir (**Bendell ve ark., 1989**).

Taguchi deney aşamaları Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Taguchi Deney Tasarımı Yönteminin Akış Şeması (Mercan, 2019)

### 3.3. Taguchi Metodunun Temel İlkeleri

Taguchi Metodu'nun temel ilkeleri aşağıdaki gibidir:

**Sistematiik deney:** Taguchi deneysel tasarım yöntemi, fazla değişkenli olan süreçlerin etkin bir şekilde optimize edilmesine yardımcı olan bir araç olmaktadır. Bu yöntem, çeşitli faktörlerin etkilerini analiz etmek, sürecin performansını artırmak ve sistematiik deneyler yapmak için kullanılmaktadır. Ayrıca, veri toplama ve analiz süreçlerini basitleştirmekte, kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, mühendislik, üretim ve kalite kontrol alanlarında yaygın olarak tercih edilen bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

**Sinyal-Gürültü (S/N) oranı:** Taguchi, kalite performansının bir ölçüsü olarak bilinmektedir. S/N oranı, gürültü faktörlerinin istenen performans ile gerçek performans arasındaki değişimi ölçmek için kullanılmaktadır. Amaç, sağlam ve daha az hassas bir tasarımı gösteren S/N oranını maksimize etmektir. Bir analizde, deneysel denemelerin yanıtı, oldukça anlamlı olan sinyal-gürültü (S/N) oranları kullanılarak elde edilebilmektedir (Özel ve ark., 2020).

S/N oranı, İstenen çıktının (sinyalin) ortalaması (ortalama) ile bu ortalamadan (gürültü) sapma veya değişkenlik arasındaki ilişkiyi ölçerek bir sürecin, ürünün veya sistemin kalitesini veya performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Sinyal-Gürültü oranı, çıktının ortalamasını ve değişkenliğini dikkate alarak bir tasarımın veya sürecin sağlamlığının değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Taguchi yöntemlerindeki amaç, istenen sinyali maksimuma çıkarırken gürültünün etkisini en aza indirmeyi içeren S/N oranını en üst düzeye çıkarmaktır (Taylan, 2009).

İncelenen verilere bağlı olarak, Taguchi deney tasarımında kullanılan 3 farklı S/N oranı bulunmaktadır (Taylan, 2009):

- En Küçük – En İyi: Kalite değişkeni olan Y'nin hedef değeri sıfırdır. S/N oranı formülü Denklem 3.1.'de gösterilmektedir.

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3.1)$$

- En Büyük – En İyi: Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve S/N oranı formülü Denklem 3.2'de gösterilen denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (3.2)$$

Hedef Değer – En İyi: Bu problemlerde, Y için hedef değer belirlenmiştir. S/N oranı formülü Denklem 3.3.'te gösterilmektedir.

$$\frac{S}{N} = 10 \log\left(\frac{y^{-2}}{s^2}\right) \quad (3.3)$$

Optimizasyon sürecinin amacına bağlı olarak, birkaç farklı S/N oranı kullanılmaktadır. Sinyal/gürültü oranı aşağıdaki özelliklere sahiptir (Kayı, 2006):

- S/N oranı, gürültü faktörünün neden olduğu sistem yanıtındaki değişikliği göstermektedir.
- S/N oranının ortalama değerin düzeltilmesiyle hiçbir ilgisi yoktur.
- Hedef değer değişse bile, bu ölçüm kaliteyi tahmin etmek için kullanılabilir.
- S/N oranı, birbirleriyle karşılaştırılmasına fayda sağladığından, göreceli kaliteyi ölçmektedir.

- Birden fazla faktörün ürününün kalitesinin etkisini analiz ederken, S/N oranı, kontrol faktörlerinin etkileşimi gibi istenmeyen karmaşıklığa sebep olmamaktadır.

**Ortalamalar İçin Etki Grafiği:** Bir yanıt değişkeninin ortalamaları üzerindeki faktörlerin ana etkilerini görselleştirmek amacıyla kullanılan grafiksel bir gösterim olmaktadır. Bu grafik, farklı faktör düzeylerinin, verilerin merkezi eğilimini nasıl etkilediğini belirlemekte ve yanıt değişkenindeki varyasyonlara katkıda bulunmak amacıyla deneysel tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hangi faktör düzeyinin en iyi sonucu verdiği bulunmaya çalışılmaktadır.

**Standart Sapmalar İçin Etki Grafiği:** Standart sapmalar için ana etki grafiği, bir yanıt değişkeninin standart sapmaları (varyansları) üzerindeki faktörlerin ana etkilerini görselleştirmek için kullanılan grafiksel bir gösterimdir. Bu tür çizim, farklı faktör düzeylerinin; verilerin değişkenliğini veya dağılımını nasıl etkilediğini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Ortalamalarda ana etkileşim grafiği gösterildiği gibi, standart sapmalar için ana etki grafiği de yanıt değişkenliğinin faktörlerin farklı seviyeleri arasında nasıl değiştiğini göstermektedir.

**Kalite Kayıp Fonksiyonu:** Kalite kaybı fonksiyonu (QLF), bir ürünün veya süreç performansının kalitesizlik seviyesini nicel olarak ölçen bir matematiksel ifadedir. Ürünün kullanıma konulduktan sonra topluma verdiği zararı ifade etmekte ve bu zarar, ikinci derece bir matematiksel model kullanılarak hesaplanmaktadır. Genellikle, ürün veya süreç kalitesinin artması, kalite kayıp fonksiyonunun azalmasına ve topluma verilen zararın azalmasına neden olurken, düşük kaliteli ürünler veya süreçler daha yüksek kalite kayıp fonksiyonu değerlerine sahip olmaktadır. Bu fonksiyon, kalite kontrol ve kalite yönetimi süreçlerinde kalite iyileştirmeye rehberlik etmektedir. Ayrıca kalite kayıp fonksiyonu, tolerans tasarımını optimize etmek, güvenilirlik analizi yapmak ve gizli maliyetleri tahmin etmek gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Bu nedenle kalite kayıp fonksiyonu, ürün kalitesini artırmak ve maliyetleri azaltmak amacıyla önemli bir araştırma ve endüstriyel uygulama alanı olmuştur (**Liu ve ark, 2020**).

İstenen hedef performanstan sapmanın maliyetini ölçmek amacıyla kalite kaybı fonksiyonu kullanılmaktadır. Ürün veya süreç tasarımının optimize edilmesine yardımcı olmaktadır.

Taguchi felsefesi birçok alanda uygulanabilmektedir. Süreç geliştirmede üç aşamayı dikkate almaktadır (**Syrcos, 2022**):

- Sistem Tasarımı
- Parametre Tasarımı
- Tolerans Tasarımı

**Sistem Tasarımı:** Bir yazılım uygulamasının veya hizmetinin üretim ortamını destekleyen bir sistem veya altyapı tasarlama sürecini ifade etmektedir. Bir üretim sistemini çalıştırmanın

operasyonel taleplerini karşılayabilecek sağlam, ölçeklenebilir ve verimli bir sistem oluşturmaya odaklanmaktadır.

**Parametre Tasarımı:** Bir üretim sistemindeki çeşitli parametreler veya değişkenler için en uygun ve verimli değerleri belirleme sürecini ifade etmektedir. Bu parametreler, üretim sürecinin performansını, kalitesini, verimliliğini ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Yapılan bu çalışma parametre tasarımıyla yapılmaktadır.

**Tolerans Tasarımı:** Boyutsal tolerans tasarımı olarak da bilinmektedir. Bir ürünün veya bileşenin boyutlarında, spesifikasyonlarında veya diğer özelliklerinde izin verilen varyasyonları belirlemek ve kontrol etmek amacıyla üretimde kullanılan bir süreç olmaktadır. Bir süreçteki kabul edilebilecek hata oranı şeklinde ifade edilebilmektedir.

Bu çalışmada, çeşitli parametreler ve değişkenler için optimal ve verimli değerlerin belirlenmesi amacıyla parametrik tasarımı uygulanmıştır.

### **3.4. Tuz Sisi Testi**

Korozyon sürecini kontrollü bir şekilde hızlandırarak malzemelerin ve kaplamaların korozyon direncini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Üreticilerin, ürünlerinin tuz spreyine maruz kalmaya nasıl dayanacağını değerlendirmelerine ve korozyon korumasını iyileştirmek için gerekli önlemleri almalarına olanak tanımaktadır.

Tuz sisi testi genellikle üretim sırasında kalite kontrol prosedürlerinin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Üreticiler, numuneleri standartlaştırılmış bir teste tabi tutarak ürünlerinin belirli korozyon direnci gereksinimlerini ve endüstri standartlarını karşılamak zorundadır.

Tuz sisi testi farklı malzemelerin veya kaplamaların karşılaştırmalı analizini sağlamaktadır. Üreticiler, birden fazla numuneyi aynı test koşullarına tabi tutarak korozyon direnci performanslarını değerlendirebilmekte ve diğer numunelerle karşılaştırabilmektedir. Böylece malzeme seçimi hakkında bilinçli kararlar alabilmektedir.

Çeşitli malzemelerin, kaplamaların ve yüzey işlemlerinin korozyon davranışını incelemek için araştırma ve geliştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmacıların korozyon mekanizmalarını anlamalarına ve gelişmiş korozyon direncine sahip yeni ve geliştirilmiş malzemeler geliştirmelerine yardımcı olmaktadır.

Bazı endüstrilerin, ürünlerin tuz sisi testinden geçmesini gerektiren özel düzenlemeleri ve standartları vardır.

Tuz sisi testinde,

**Testin Amacı:** Boya kaplamalı test plakaları üzerinde TS EN ISO 9227 standartlarına göre 504 saat nötral tuzlu su püskürtme testinin yapılmasıyla kaplamanın korozyona karşı dayanıklılığının ölçülmesidir.

TS EN ISO 9227 standardı, metallerin korozyona karşı dayanıklılığını değerlendirmek için tuz spreyi testlerini tanımlayan bir standarttır.

Test yapılırken kullanılan standartlar, Çizelge 3.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Test ve Değerlendirme İçin Kullanılan Standartlar

| Test ve Değerlendirme İçin Kullanılan Standartlar |                     |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| ASTM B 117                                        | Tuzlu Su Sisi Testi |
| ASTM D 714-02                                     | Blister Derecesi    |
| ASTM D 610                                        | Paslanma Derecesi   |
| ASTM D 1654-08                                    | Pas İlerlemesi      |
| ASTM D 1654-05                                    | Korozyon İlerlemesi |

*ASTM B 117: Tuzlu Su Sisi Testi*

ASTM B-117, tuz sisi testi korozyon testini gerçekleştirmek için ASTM International (eski adıyla Amerikan Test ve Malzeme Derneği) tarafından oluşturulmuş, yaygın olarak tanınan ve referans verilen bir standart test yöntemi olmaktadır. Bu test, çeşitli malzemelerin, kaplamaların ve kaplamaların, özellikle metaller ve metalik kaplamaların kontrollü korozif ortamda korozyon direncini değerlendirmek için kullanılmaktadır.

*ASTM D 714 – 02: Blister Derecesi*

Blister (Kabarcıklanma) bir yüzeydeki boyanın veya kaplamanın altında veya içinde hava veya gaz birikmesi sonucu oluşan küçük kabarcıkların veya kabarcık benzeri oluşumların ortaya çıkması durumunu ifade etmektedir. Boyalı veya kaplanmış yüzeyin pürüzsüz ve homojen olması gereken durumlarda istenmeyen bir olay durum olmaktadır. Açılma oranı boyanın hangi oranda açıldığını ifade etmektedir.

Ürünlerin performansını belirlemek ve uygunluğunu değerlendirmek için önemli bir araçtır. Bu standart, endüstri standartlarına uygunluğun sağlanmasına ve tüketici güvenliğinin korunmasına katkıda bulunmaktadır.

*ASTM D610: Paslanma Derecesi*

ASTM D610, boyalı çelik yüzeylerdeki paslanma derecesinin değerlendirilmesine yönelik prosedürlerin ana hatlarını oluşturmaktadır. Bu test yöntemi, özellikle dış mekân veya zorlu çevre koşullarına maruz kalındığında çelik yüzeyler üzerindeki boyaların veya koruyucu kaplamaların korozyon direncini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

*ASTM D 1654-08: Pas İlerlemesi*

ASTM tarafından sağlanan ve çeşitli çevre koşullarına maruz kalan boyalı veya kaplanmış metal yüzeylerin korozyon direncini değerlendirmeye yönelik prosedürleri özetleyen bir test yöntemidir. Bu test yöntemi, endüstriyel, otomotiv, mimari ve diğer uygulamalarda kullanılanlar gibi

metal yüzeyler üzerindeki koruyucu kaplamaların performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### *ASTM D 1654-05: Korozyon İlerlemesi*

Çeşitli çevre koşullarına maruz kalan boyalı veya kaplanmış metal yüzeylerin korozyon direncini değerlendirmeye yönelik prosedürleri özetleyen bir test yöntemidir. Bu test yöntemi, endüstriyel, otomotiv, mimari ve diğer uygulamalarda kullanılanlar gibi metal yüzeyler üzerindeki koruyucu kaplamaların performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **3.4.1. Tuz Sisi Testi Nasıl Uygulanır?**

Taguchi deney tasarımı, hangi deneylerin uygulanacağını belirledikten sonra uygulanacak olan deneyler sırasıyla yapılmıştır ve optimum sonuç bulunmaya çalışılmıştır.

Plaka yüzeylerine bulaşmış yağ, kirlilik vb. olup olmadığı görsel olarak kontrol edilmektedir. Eğer plaka yüzeyinde kirlilik olduğu tespit edilirse yüzey hafif nemli bir bez ile kaplamaya zarar vermeyecek şekilde temizlenmektedir.

Aksi belirtilmedikçe test edilecek boyalı plakalarda pas ilerlemesini görmek amacıyla ASTM D1654-05 standardına göre boya tabakası alttaki metale kadar inecek şekilde, sivri uçlu bir bıçakla köşegenlerinden çapraz şekilde ve yaklaşık 1 mm kalınlıkta çizilmektedir.

Bu çalışma, tuz sisi testi ASTM B117 standartlarına göre yapılmıştır. Test sonrasında parçalar üzerinde oluşan pas süngerini temizlenmiş ve çeşme suyu ile durulanmıştır.



Şekil 3.2. Tuz Sisi Testinin Uygulanmadan Önceki Gösterimi

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi, Test edilecek parçanın şekli dolayısıyla ön yüzeyi dikdörtgenden farklı ise, konulacak çarpı işareti, testin uygulanabileceği şekilde uygun bir yüzeyine, yine yaklaşık 1 mm genişliğinde olmak üzere çizilmektedir. Aksi belirtilmedikçe paneller, kabinin içerisine dikey eksenle 15-30° açıyla ve birbirlerine paralel olarak yerleştirilmektedir. Boya



filmindeki açılmayı tespit etmek amacıyla parçalar ilk önce basınçlı hava ile kurutulmuştur. Sonrasında ise 25 mm enindeki yapışkan bant çekilmiştir.

### 3.4.2. Tuz Sisi Testinin Değerlendirilmesi

Test sona erdiğinde, başka bir koşul belirtilmemiş ise, test panelleri aşağıdaki işlemlere tabi tutulmaktadır:

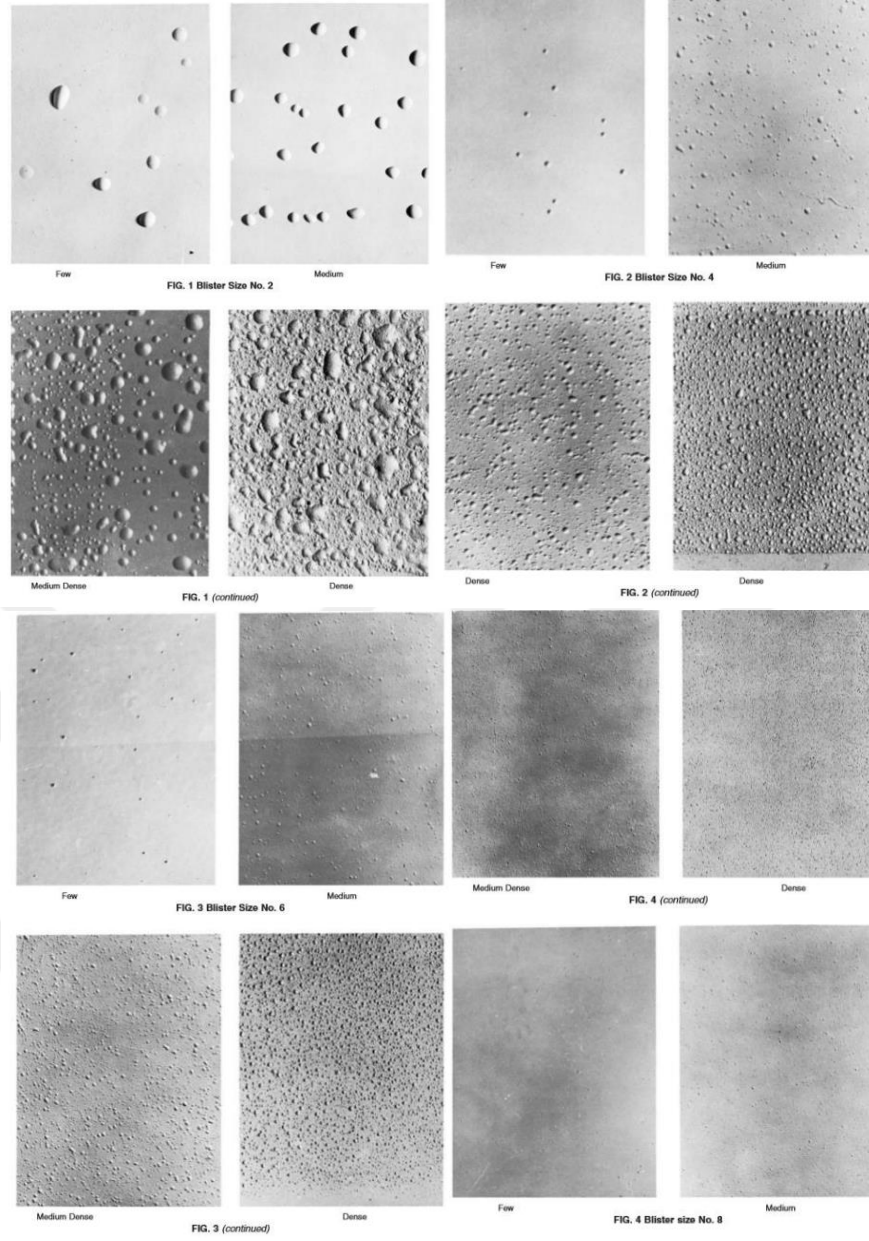
- Kabinden çıkarılan plakalar, sıcaklığı ortam sıcaklığında akan su ile, üzerlerindeki tuz kalıntılarının kaldırılması amacıyla nazikçe durulanmaktadır ve kâğıt mendil ile kurulanmaktadır.
- Test bitiminden hemen sonra kuru haldeki test yüzeylerinde ve çapraz kesik etrafında sırasıyla ASTM D1654-08 standardına göre paslanma, ASTM D 714-02 standardına göre blisterleşme, ASTM D 1654-05 standardına göre boya kalkması, ASTM D610 standardına göre paslanma derecesi ve EN ISO 2409 standardına göre de yapışma kaybı değerlendirilmektedir.
- Panel üzerindeki çarpı'dan (X) dik olarak, her iki yöne doğru pas ilerlemesi miktarı ölçülmektedir.
- Kesik etrasındaki korozyon ilerlemesinin tespiti için kesik üzerine bant yapıştırılarak kaldırılmaktadır. Plaka üzerindeki çarpı'dan (X) dik olarak her iki yöne doğru minimum ve maksimum boya kalkması hesaplanmaktadır, yüzeyin fotoğrafı çekilmektedir.
- Çizik Etrafında Korozyon İlerlemesi Denklem 3.4.'te gösterilmektedir.

$$c = \left( \frac{W_c - W}{2} \right) \quad (3.4)$$

W<sub>c</sub>: Bir uçtan bir uca korozyon genişliği, mm

W: Çizikğin orijinal eninin genişliği, mm (1 mm olarak kabul edilir) Korozyon homojen değilse, daha yakın aralıklarla ölçüm noktalarının sayısı arttırılmaktadır ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak yayılması hesaplanmaktadır. Çizikğin uç kısımlarındaki korozyon ilerlemeleri ihmal edilmektedir.

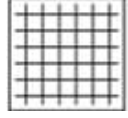
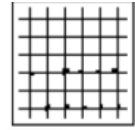
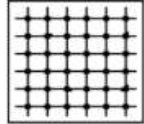
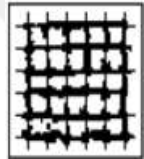
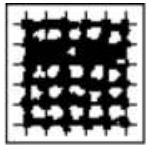
- % Blisterleşme/kabarcıklanma değerlendirilmesi Şekil 3.3.'te yer alan görsellere göre yapılmaktadır.



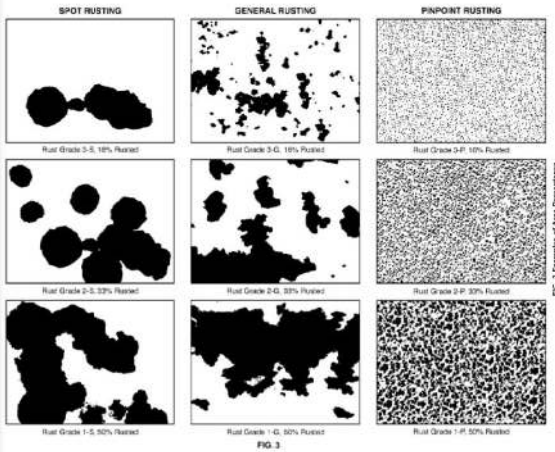
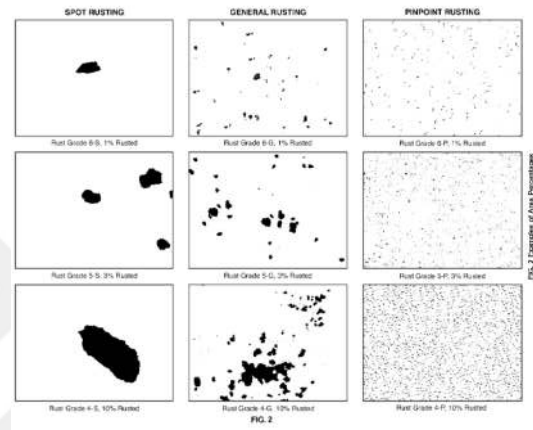
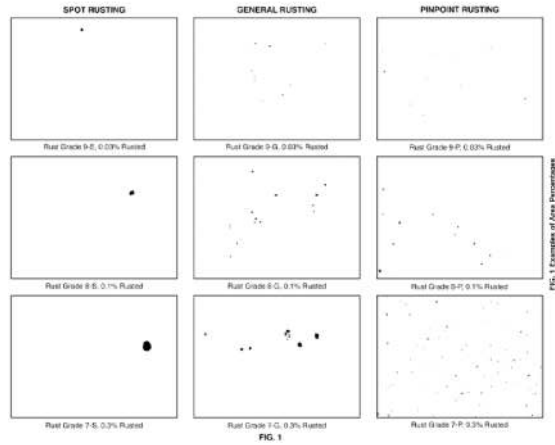
Şekil 3.3. Blisterleşme (Kabarcıklanma)

Çizelge 3.2.'de kalkmaların olduğu çapraz kesimlerin yüzey görünüşleri ve anlamlarını içeren tablo yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Çapraz Kesimlerin Yüzey Görünümleri

| Sınıflandırma | Tanımlama                                                                                                                                                                                  | Kalkmaların Oluştığı Çapraz Kesimlerin Yüzey Görünümleri                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gt 0</b>   | Kesmelerin kenarları tamamen pürüzsüz ve kafes karelerinde hiçbir kalkma bulunmamaktadır.                                                                                                  |    |
| <b>Gt 1</b>   | Kesme aralarında çok hafif kalkmalar. Çapraz kesimlerin alanları %5'ten büyük değildir.                                                                                                    |    |
| <b>Gt 2</b>   | Kenarlar ve çapraz kesimler boyunca kalkmalar %5'ten büyük fakat %15'ten küçüktür.                                                                                                         |    |
| <b>Gt 3</b>   | Kaplamada kenarlar ve çapraz kesimler boyunca büyük kalkmalar var, karelerin bazıları kısmen ya da tamamen kalkmış durumdadır. Çapraz kesim alanları %15'ten büyüktür ve %35'ten küçüktür. |  |
| <b>Gt 4</b>   | Kaplama kenarlar ve çapraz kesimler boyunca büyük kalkmalar var, bazı kareler kısmen ya da tamamen ayrılmış durumdadır. Çapraz kesim alanları %35'ten büyük, %65'ten küçüktür.             |  |
| <b>Gt 5</b>   | Boyadaki kalkmanın 4'teki sınıflandırmaya bile girmediği durumlardır (daha da kötü).                                                                                                       |                                                                                       |

Şekil 3.4'te ise ASTM D610 standartlarına göre paslanma derecesi ölçülmektedir.



Şekil 3.4. ASTM D610 Standartlarına Göre Paslanma Derecesi

### 3.5. Regresyon Analizi

Bu çalışmada, deneyden elde edilen veriler üzerinde regresyon analizi uygulanarak, bu verilerin istatistiksel olarak anlamlılığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Regresyon analizi, çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir analiz yöntemidir. Bu yöntem, aralarında ilişki bulunabileceği düşünülen iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi inceleyip modellemeyi amaçlamaktadır. Bağımlı değişken olarak adlandırılan tahmin edilmek istenen değişken ile bağımsız değişken olarak adlandırılan diğer değişkenler

arasındaki ilişki, doğrusal bir ilişki varsa doğrusal regresyon analizi kullanılarak; doğrusal bir ilişki bulunmuyorsa doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemleri tercih edilmektedir. Oluşturulan doğrusal regresyon modelinin gerçeği yeterince yansıttığından ve regresyon analizinin tüm varsayımlarını sağladığından emin olmak için modelin doğruluğu ve varsayımların geçerliliği test edilmektedir. Bu testler, modelin tahmin yeteneğini doğrulamak ve sonuçların güvenilirliğini sağlamak için önem arz etmektedir (**Uçgun, 2023**).

Regresyon analizi, bir veya daha fazla bağımsız değişkenin bir bağımlı değişken üzerindeki etkisini matematiksel olarak açıklamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, bağımlı değişken olan Y, diğer değişkenlerin değerlerinden etkilenmekte ve sonuç değişkenini temsil etmektedir. Bağımsız değişkenler ise rastgele koşullara bağlı olarak değişen ve diğer değişkenlerin değişimlerine neden olan faktörlerdir. Genellikle Y bağımlı değişkeni ve X bağımsız değişkenleri temsil ederken, birden fazla bağımsız değişken  $X_1, X_2, \dots, X_k$  olarak gösterilebilmektedir. Regresyon analizi, bu değişkenler arasındaki doğrusal veya eğrisel ilişkiyi belirlemeye ve modellemeye yönelik bir denklem oluşturmaktadır. Bu analizdeki ikili ilişki düzeyi, yönü ve önemi korelasyon analiziyle belirlenmektedir. Regresyon ve korelasyon analizleri, parametrik veya parametrik olmayan yaklaşımlarla uygulanabilmekte ve genellikle birlikte kullanılmaktadır, ancak korelasyon analizi tek başına da uygulanabilmektedir (**Özdamar, 2012**).

Regresyon denklemi, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin matematiksel olarak modellediği bir yapıyı ifade etmektedir (**Ertan, 2008**). Bu analiz, bağımsız değişkenlerin sayısına ve fonksiyon tipine bağlı olarak farklı türlerde uygulanabilmektedir. Bağımsız değişkenlerin tek olduğu durumda basit regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin olduğu durumda ise çoklu regresyon analizi kullanılmaktadır (**Orhunbilge, 2002**). Fonksiyon tipine göre ise doğrusal regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkiyi doğrusal bir denklemle modellemektedir. Doğrusal olmayan regresyon analizi ise, ilişkinin doğrusal olmadığı durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bu farklı analiz türleri, değişkenler arasındaki ilişkinin doğası ve karmaşıklığına göre tercih edilmekte ve analiz sürecinde dikkate alınmaktadır.

Doğrusal regresyon modeli; parametrik/parametrik olmayan regresyon yöntemleri, doğrusal/doğrusal olmayan regresyon yöntemleri ve basit/çoklu/çok değişkenli regresyon yöntemleri olmak üzere 3'e ayrılmaktadır (**Özdamar, 2012**):

- Parametrik regresyon yöntemleri, bağımlı değişkenin/değişkenlerin normal dağılım göstermesini ön koşul olarak kabul etmektedir. Parametrik olmayan regresyon yöntemleri ise, normallik varsayımı gerektirmemektedir.
- Doğrusal regresyon yöntemleri, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkene olan etkilerini doğrusal ve eklenebilir formda ele almaktadır. Doğrusal olmayan regresyon yöntemleri ise, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin

toplanabilir olmadığı varsayılmaktadır, örneğin eğrisel veya üssel bir ilişkiyi içerebilmektedir.

- Basit regresyon yöntemleri, bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenin bulunduğu bir modeli ifade etmektedir. Çoklu regresyon yöntemleri, bir bağımlı değişkenin ve iki veya daha fazla bağımsız değişkenin olduğu varsayılmaktadır. Çok değişkenli regresyon yöntemleri ise, iki veya daha fazla bağımlı ve bağımsız değişkenin bulunduğu bir modeli ifade etmektedir. Bu modeller, doğrusal veya eğrisel matematiksel ilişkilere göre çoklu doğrusal veya çoklu eğrisel modeller olarak adlandırılabilir.
- Bu yöntemler, regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişkileri modellemek ve tahmin etmek için kullanılmakta ve analizlerde farklı bağımlı ve bağımsız değişken kombinasyonlarına bağlı olarak uygulanabilmektedir.
- Modelde, Y ve X olmak üzere iki sürekli değişken varsa, en yaygın kullanılan regresyon yöntemleri; basit doğrusal regresyon, polinomiyal regresyon, geometrik regresyon, üssel regresyon, basit eğrisel regresyon olarak sayılabilmektedir.
- Modelde, bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişken var ise en yaygın kullanılan regresyon yöntemleri; çoklu doğrusal regresyon, çoklu doğrusal olmayan regresyon, çoklu Cox regresyon olarak sayılabilmektedir.
- Modelde, bir bağımlı değişken ve bir ya da daha fazla bağımsız değişken varsa ve en az iki kategorili isimsel, sıralı ve çoklu kategorili olduğu ve bağımsız değişkenlerin orantılı/interval/kategorik nominal ölçekli olduğu regresyon yöntemleri; lojistik regresyon (simple, multiple), ordinal regresyon, robust regresyon, poisson regresyon, Cox regresyon, parametrik olmayan regresyon, ağırlıklı regresyon, spline regresyon olarak sayılabilmektedir.
- Modelde, en az iki bağımlı değişken ve en az bir bağımsız değişken varsa ve bağımlı değişkenlerin çok değişkenli normal dağılıp gösterip göstermemesine göre en yaygın kullanılan regresyon yöntemleri; çok değişkenli regresyon, çok değişkenli lojistik regresyon çok değişkenli eğrisel regresyon, spline regresyon, yerel regresyon, gauss karma regresyon olarak sayılabilmektedir.

Bu çalışmada 3 adet bağımsız değişken, 3 adet sürekli bağımlı değişken olduğu için çoklu doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır.

### 3.5.1. Çoklu Doğrusal Lojistik Regresyon

Çoklu doğrusal regresyon, bir bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişkenle ilişkisini modellemek için kullanılan bir istatistiksel analiz tekniğidir. Bu yöntemde, bağımlı değişkenin değeri, bağımsız değişkenlerin katsayıları ve bir sabitin lineer kombinasyonu olarak tahmin

edilmektedir. Çoklu doğrusal regresyon, veri setindeki değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak, tahmin yapmak ve neden-sonuç ilişkilerini keşfetmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmaktadır.

Yapılan çalışmada bağımsız değişkenlerin (pH, kaplama süresi, sıcaklık) ve her bir bağımlı değişken için (açılma oranı, blister ebadı ve pas derecesi) bağımlı değişkenlerin her biri için ayrı ayrı çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır.

Çalışmada kullanılan çoklu regresyon analizi çıktıları:

#### *Model Özeti (Modal Summary)*

Model özeti, bir regresyon analizinde kullanılan bir çıktıdır ve genellikle regresyon modelinin performansını, modelin doğruluğunu ve istatistiksel anlamlılığını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu özet, regresyon modelinin temel istatistiksel ölçümlerini ve belirli parametrelerini içermektedir. Bu ölçümler arasında R-kare (bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki varyansın yüzde olarak açıklanma derecesi), düzeltilmiş R-kare (modelin karmaşıklığını dikkate alarak R-kare'nin düzeltilmiş versiyonu), F-değeri (modelin genel anlamda istatistiksel anlamlılığını değerlendiren test istatistiği), bağımsız değişkenlerin katsayıları ve p-değerleri (bağımsız değişkenlerin istatistiksel anlamlılığını değerlendiren ölçüt) bulunmaktadır. Model özeti, regresyon modelinin uygunluğunu ve içeriğini değerlendirmek için önem arz etmektedir.

#### *ANOVA*

Çoklu regresyon analizinde ANOVA, modelin genel anlamda istatistiksel anlamlılığını değerlendiren bir test istatistiğidir. Bu çıktı, bağımsız değişkenlerin toplam varyansı üzerindeki etkisini inceleyerek, modelin genel başarısını değerlendirmektedir. F-değeri, bağımsız değişkenlerin toplam varyansı içindeki açıklama gücünü ve bu açıklama gücünün rastgele varyans içinde anlamlı olup olmadığını belirlemektedir. Yüksek bir F-değeri ve düşük bir p-değeri, modelde en az bir bağımsız değişkenin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bu, modelin genel performansını ve bağımsız değişkenlerin toplam varyansı içindeki etkisini değerlendirmek için önem arz etmektedir.

#### *Katsayılar (Coefficients)*

Katsayılar, çoklu regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçen ve regresyon denkleminde kullanılan parametrelerdir. Ayrıca her bir bağımsız değişkenin modeldeki önemini ve katkısını değerlendirmektedir.





## 4. UYGULAMA

Bu bölüm dört adımdan oluşmaktadır. İlk adım işletme hakkında bilgi, genel iş akış diyagramı, statik boya iş akışı ve sürecin açıklanması yer almaktadır. İkinci adımda tezdeki kısıtlamalara yer verilmiştir. Üçüncü adımda kullanılan fosfat ile ilgili bilgi verilmiştir. Dördüncü adımda ise deneyin uygulanması ile ilgili bilgiler verilmiştir.

### 4.1. İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi çelik kapı üreten orta ölçekli bir işletmede çalışma yapılmıştır. İşletmede 150 kişi çalışmaktadır. 35 ülkeye ihracat yapılmaktadır. Çelik kapı üretiminde 40.000 adet yıllık kapasitesi bulunmakta iç oda kapılarında ise 100.000 adet yıllık kapasitesi bulunmaktadır. İşletmede siparişe göre üretim yapılmaktadır. Müşterinin isteğine göre özel ölçülü kapılar yapılmaktadır. İhracat ağırlıklı üretim yapılmaktadır.

Çelik kapı üretimi, iç kasa, dış kasa ve kanat olmak üzere üç temel bileşenin entegrasyonu ile gerçekleştirilmektedir. İç kasa, kapının ev içinde kalan kısmını oluştururken, dış kasa evin dışındaki kısmını temsil etmektedir. İç ve dış kasa, taşlama işlemlerinin ardından birleştirilmekte ve tek bir parça halinde üretim akışına devam etmektedir. Bu noktada, çelik kapı ürünü, kasa-kanat birleştirme aşamasında kanat ile birleştirilerek son halini almakta ve nihai ürün haline gelmektedir. Bu üretim süreci, çelik kapı endüstrisinde önemli bir aşamayı temsil etmekte ve ürünün kalitesini ve dayanıklılığını belirleyen kritik bir adım olmaktadır (Çimen, 2022).

Kasa, kanadı tutan kısımdır, kanat ise kapının hareket eden; dürbün, çekme kol vb. aksesuarları bulunan kısımdır. Ayrıca Yangın kapıları ve şaft kapağı üretimi de yapılmaktadır. Müşterinin isteğine göre kapı çeşitleri tek kanat, bir buçuk kanat, çift kanat şeklinde yapılabilir.

İşletmede kapı ahşaplarının da üretildiği, ahşabın boyandığı bölümde yer almaktadır. Hazır alınan ahşaplar, müşterinin istediği modele göre yapılmakta ve boyanmaktadır. Müşterinin istediğine göre ABD ceviz, B ceviz, kayın kaplama yapılabilmesini sağlayan pres makinesine bulunmaktadır. MDF'nin üzerine kaplama yapıldıktan sonra müşterinin isteğine göre rustik açılabilmekte ve yaş boya prosesine geçmektedir.

Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de çelik kapının görselleri gösterilmektedir.

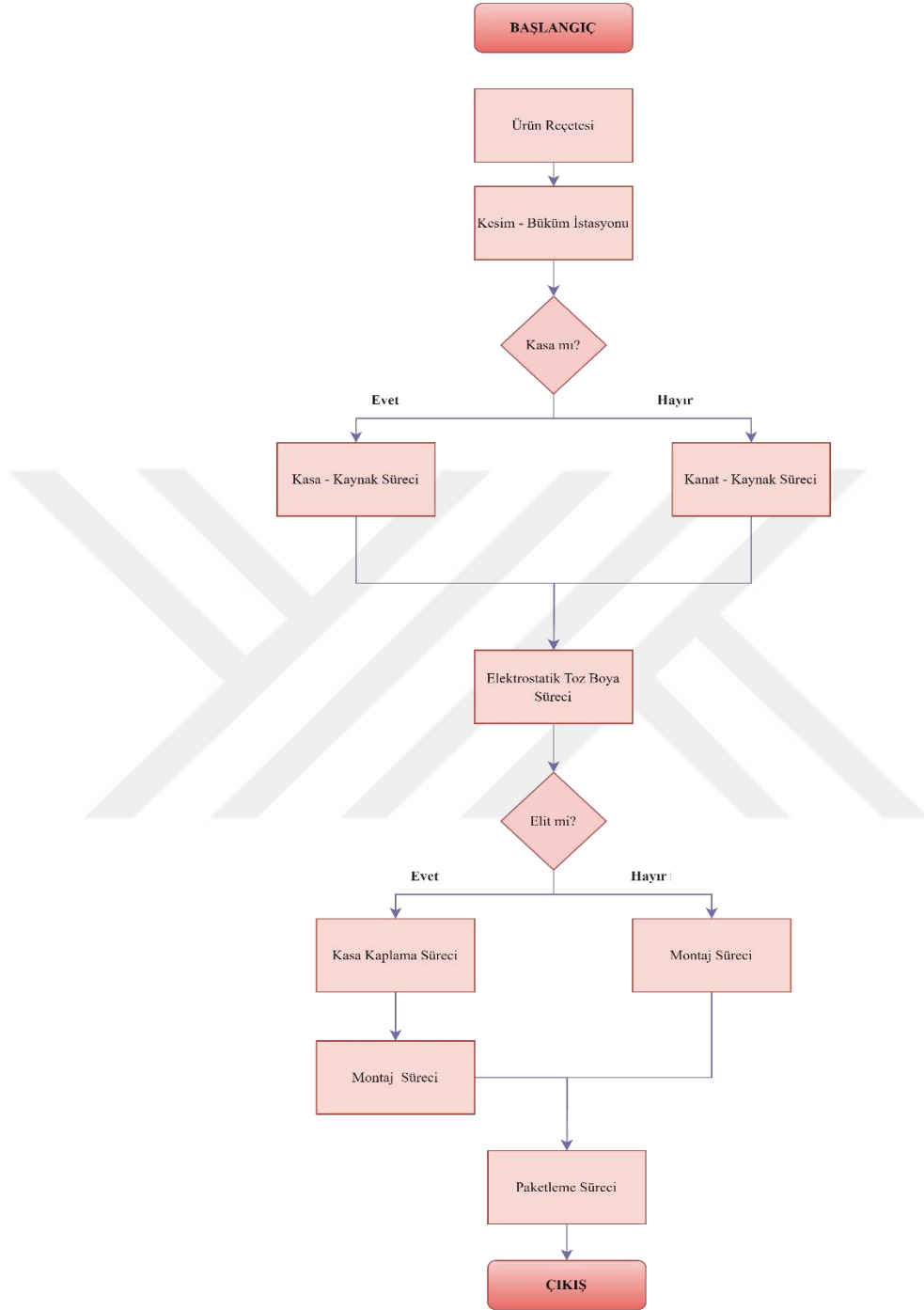


Şekil 4.1. Çelik Kapı Görünümü



Şekil 4.2. Çelik Kapı Görünümü

Fabrikanın iş akış şeması Şekil 4.3'teki gibidir.



Şekil 4.3. İşletmenin İş Akış Diyagramı

- Sac ilk önce presleme sürecinde müşterinin istediği ölçüye göre kasa ve kanat parçalar kesilmekte ve bükülmektedir.
- Kasa – Kanat kaynak sürecinde kesilip bükülen kasa ve kanat parçaları birleştirilmekte ve kaynak yapılan yerleri pürüzsüzleştirmek taşlama işlemi yapılmaktadır.

- Elektrostatik toz boya sürecinde, kaynağı ve taşlaması yapılan kasa ve kanatlar asıldıktan sonra konveyör yardımıyla fosfat kazanına girmektedir. Fosfat kazanından çıkan kasa ve kanatlar durulama kazanına geçmektedir. Durulama kazanında durulandıktan sonra müşterinin istediği renge göre, manuel olarak operatör yardımıyla boyanmaktadır. Boyandıktan sonra elektrostatik fırına girmektedir ve operatör yardımıyla indirilmektedir.
- Montaj hattı sürecinde, boyanan kanatlara müşterinin istediğine göre ahşap takılmaktadır. Aksesuarları (dürbün, barel, çelik tas, anahtar kısmı vb.) takılmaktadır.
- Paketleme sürecinde kasa ve kanat birleştirilmekte, kartonları kâğıt bant yardımıyla yapıştırılmakta ve paketleme makinesine girmektedir. Paketleme makinesinde şerit bant ve naylon takılmaktadır. Sevkiyat alanına yönlendirilmektedir.

İşletme siparişe göre üretim yapmaktadır. Müşterinin istediği ölçüye ve şekle göre üretim yapılan kapılar yapılmaktadır.

İşletmede elit kapı, metal kapı, panel kapı, yangın kapısı üretilmektedir. Ayrıca şaft kapağı üretimi de yapılmaktadır.

Elit kapı kasasına ve kanadına ahşap kaplama yapılan kapılardır. Yapımı diğer kapılara göre uzun zaman almakta ve yoğun emek kullanıldığı için maliyeti yüksek olan kapı çeşidi olmaktadır.

Metal kapı ise kasası ve kanadı metal olan kapılardır ve yangın kapılarının da kasası ve kanadı metal bir kapı çeşidi olmaktadır. Yangın kapılarında yanmaz fitil ve taş yünü konulmaktadır.

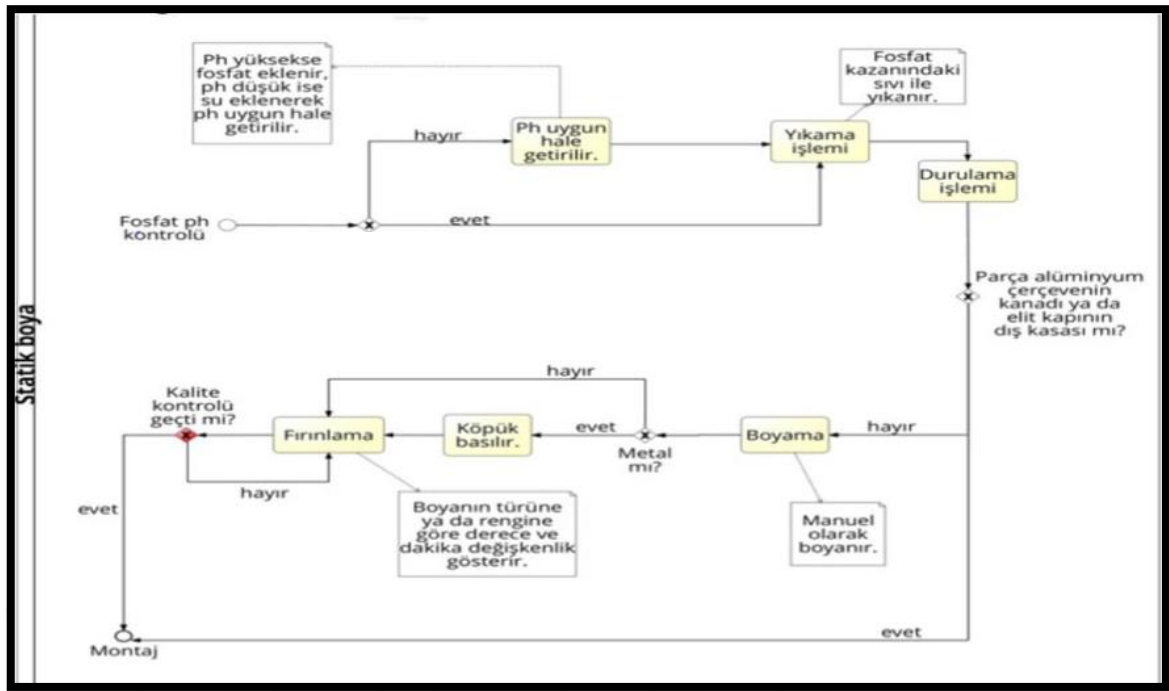
Panel kapı ise kasası metal kanadı ahşap olan kapı çeşididir. Ekonomik olması açısından en çok seçilen kapı modeli olmaktadır.

Şaft kapağı elektrik panolarının, su panolarının vb. içine konulduğu kapılardır. İşlem süresi diğer ürünlere göre daha kısa sürmektedir.

#### **4.2. Elektrostatik Toz Boya Süreci**

Bu çalışma işletmenin elektrostatik boya prosesinde gerçekleştirilmiştir. Elektrostatik boya prosesinde bir adet fosfat kazanı, iki adet durulama banyosu, bir adet boya fırını bulunmaktadır. İki kişi kasa ve kanatları asmaktadır. Diğer iki operatör ise kapıları elektrostatik toz boya tabancası ile boyamaktadır.

Şekil 4.4.'te elektrostatik boya fırının iş akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Elektrostatik Boya Prosesi İş Akış Şeması

Boya fırınlanmadan önce yüzeyin pürüzleşmesi ve korozyona karşı direnç kazanması amacıyla fosfatlama işlemi yapılmaktadır. Kimyasal ayrıştırıcılar ve asidik sıvılar kullanılmaktadır. Yaş boya proseslerinde özellikle ahşap yüzeylerde astar işlemi yapılmaktadır ancak elektrostatik boyada bu işleme gerek bulunmamaktadır. Boya tutuculuğunun daha sağlam olması açısından önem taşımaktadır. Fosfat sıcaklığı, fosfat kazanının pH derecesi ve kaplama süresi fosfatın kaplanmasında büyük önem taşımaktadır. Kalite açısından kontrol edildiğinde onaylansa da eğer uygun şekilde fosfat kaplanmazsa ilerleyen zaman boyada aşınma görülmektedir. Bu istenmeyen bir durum olmaktadır.

Şekil 4.4.'te, elektrostatik boya prosesi iş akışında kalite kontrol açısından, kasa ve kanatlar fosfat kazanına girmeden önce pH kontrolü, nozullerin kontrolü, çamur alma kazanının kontrolü yapılmaktadır.

Üretimin yoğunluğuna göre elektrostatik boya fırının çalıştırılacağı günler fosfat kazanının pH'ı kontrol edilmektedir. Elektrostatik toz boya prosesi çalıştığında 3 saatte bir demir fosfat pH kontrolü yapılmaktadır.

Elektrostatik toz boya sürecine başlanmadan önce demir fosfatı püskürtmeye yarayan nozullerin kontrolü yapılmaktadır.

Demir fosfat kaplamaya giren kasa ve kanatların temizlendikten sonra kirli sular çamur alma kazanına geçmektedir. Bu durum sonucunda çamur kazanı temizlenmesi gerekmektedir. Elektrostatik toz boya sürecine başlanmadan önce çamur kazanının temizlik kontrolü yapılmaktadır.

Ayrıca operatörler kimyasalları solumaması için iş sağlığı ve güvenliği açısından her hafta hava filtrelerinin temizliği operatör tarafından yapılmakta, kalite kontrolü sağlanmaktadır.

Her ay fosfat kazanının suyu boşaltılmakta kazan temizlenmekte ve tekrar su ve fosfat eklenmektedir.

Şekil 4.5.'te fosfat kazanının resmi gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Fosfat Kazanı

Son olarak her altı ayda bir fosfat kaplamanın etkisini azaltmamak amacıyla ve boyanın topraklanmasını engellemek amacıyla çelik kapının takıldığı kancalar yakılıp temizlenmekte ya da yakıldıktan sonra düzelmeyen parçalar tekrar satın alınmaktadır.

Fosfat olarak Chemphos800 kullanılmaktadır. PH uygun hale getirildikten sonra fosfat kazanındaki sıvı ile yıkanmaktadır.

Yıkama işlemi bittikten sonra durulama sürecine kasa ve kanatlar girmektedir ve durulanmaktadır.

Parça alüminyum çerçevenin dış kanadı ya da alüminyum çerçevenin dış kasası ise direkt montaj istasyonuna girmektedir çünkü dışı kaplandığı için boyama işlemi yapılmamaktadır.

Boyama sürecine giren kasa ve kanatlar manuel şekilde elektrostatik boya ile operatörler tarafından boyanmaktadır.

Boyandıktan sonra malzemeler elektrostatik boya fırınına girmektedir. Elektrostatik toz boyama işleminde fırına girmesiyle püskürtülen boya partiküllerinin nesnenin yüzeyine yapışmasını güçlendirmek ve boyanın dayanıklılığını artırmak açısından önem arz etmektedir. Fırının derecesi boyanın türüne ya da rengine göre değişiklik göstermektedir.

Eğer çelik kapı çeşidi metal ise montaj hattına girmeden önce kanadın içine köpük konulmaktadır ve montaj hattına geçmektedir.





Şekil 4.6. Elektrostatik Toz Boya Prosesi

Şekil 4.6.'da elektrostatik toz boya prosesinin başlangıç noktası gösterilmektedir. İki operatör tarafından kapılar yukarıdaki kancalara asılmaktadır. Konveyörle fosfat kaplama aşamasına doğru ilerlemektedir.



Şekil 4.7. Demir Fosfat Kaplama Süreci

Şekil 4.7.'de fosfat kaplama aşaması görülmektedir. Nozuller yardımıyla demir fosfat kaplama yapılmaktadır. Demir fosfat kaplama yapıldıktan sonra konveyör yardımıyla elektrostatik toz boya aşamasına doğru hareket etmektedir.



Şekil 4.8. Elektrostatik Toz Boya Süreci

Şekil 4.8.'de elektrostatik toz boya aşaması gösterilmektedir. İki operatör tarafından, kapının iç kısmı ve dış kısmı karşılıklı olarak boyanmaktadır. Boyandıktan sonra elektrostatik toz boya fırınına doğru ilerlemektedir.





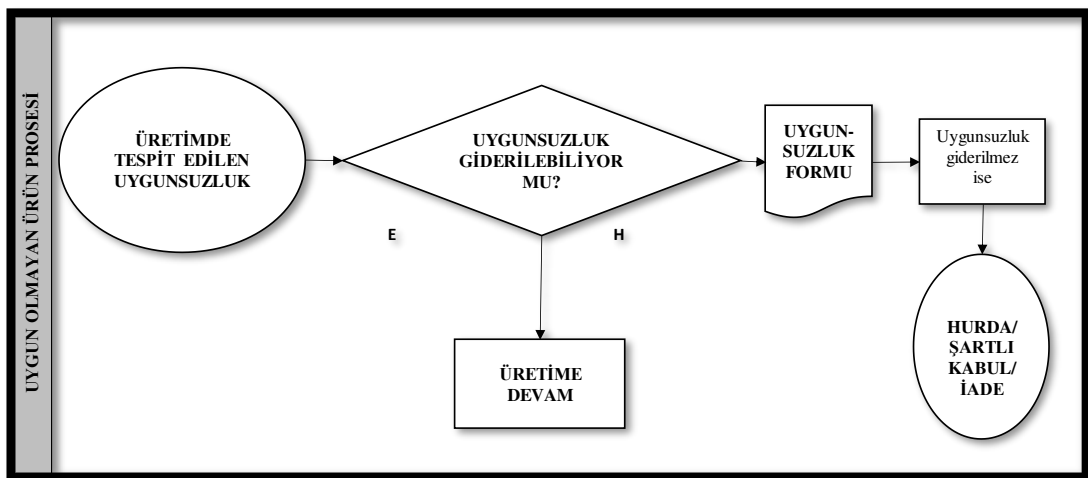
Şekil 4.9. Elektrostatik Toz Boya Prosesi Konveyör Hattı

Şekil 4.9.'da boya fırınından çıkan kapılar gösterilmektedir. Boyanmış kasa ve kanatlar konveyör yardımıyla sürece başladığı noktaya gönderilmektedir. İki operatör tarafından çıkarılmaktadır. Ara stok alanına taşınmakta üretim planlamasına göre montaja alınmaktadır.

#### 4.3. İşletmede Elektrostatik Toz Boya Prosesinde Uygulanan Kalite Kontrol Sistemi

İşletmede daha önce kalite kontrol sistemi bulunmamaktaydı. Müşterilerden gelen şikâyet sayıları arttıkça kalite kontrol sistemi kurulmaya başlanmıştır. Hammadde alımından ürün çıkıp müşteriye sevkiyatı sağlanana kadar kalite kontrol sistemi kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca idari kısımda da kalite kontrol sistemi oluşturulmuştur. İşletmede kalite kontrol dokümantasyonunun kurulmasının sebebi bilgi saklama, standardizasyonu (süreçlerin ve ürünlerin belirli bir standart veya norma uygun olarak tutarlı bir şekilde her çalışan tarafından aynı şekilde uygulanması) sağlama, süreç standartlarını belirleme, hata takibini kolaylaştırmak amacıyla yapılmıştır.

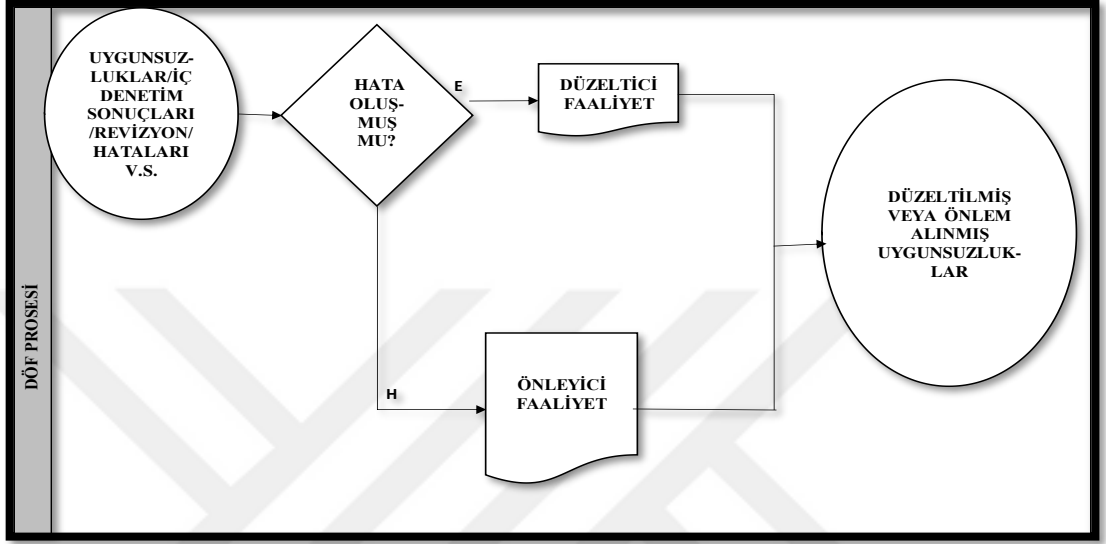
İşletmede elektrostatik toz boya prosesi içinde uygulanan kalite kontrol yönetimi Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Uygun Olmayan Ürün Prosesi

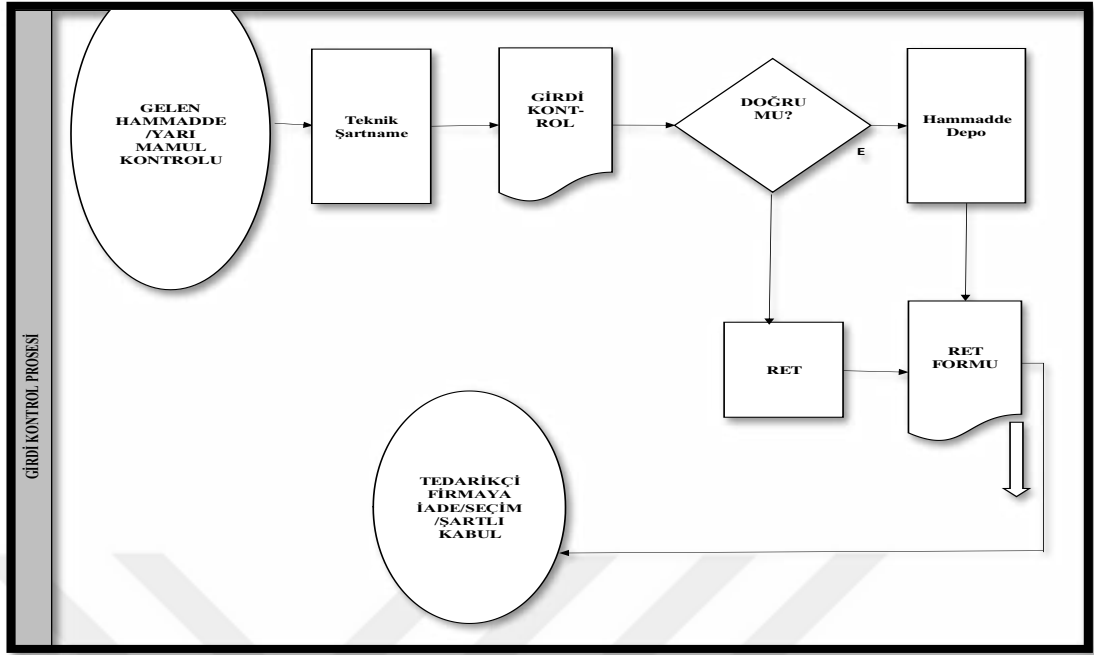
Üretimde tespit edilen müşterinin isteğine veya standartlara uygun olmayan ürünün tespit edilmesidir.

- Her uygunsuzluk tespit edildiğinde, uygunsuzluk düzeltiliyorsa üretime devam edilmekte, düzeltileniyorsa uygunsuzluk formu yapılmaktadır.



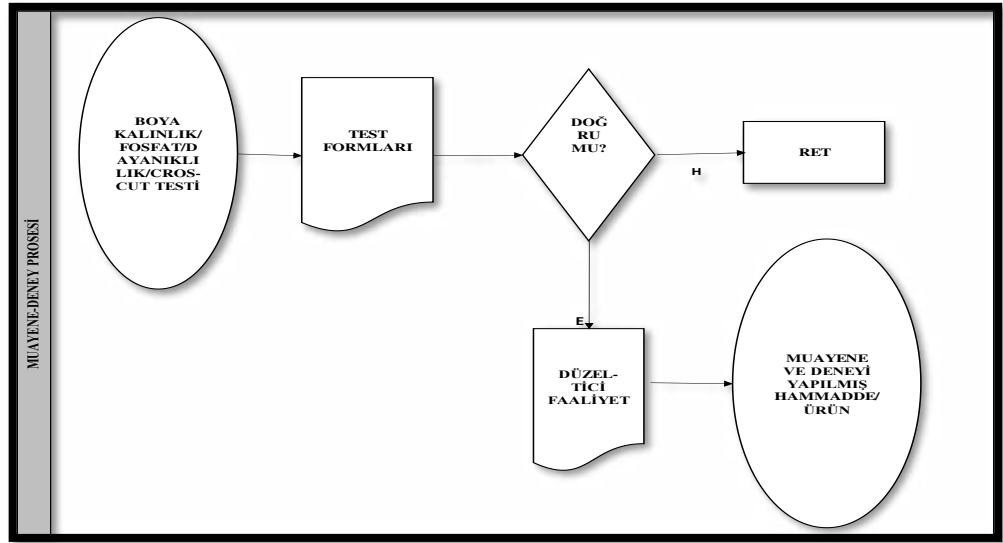
Şekil 4.11. DÖF Prosesi

- Müşteriden gelen şikayetler, iç denetimde görülen eksiklikler, üretimde yapılması gerekenlerin yapılmaması, hatalar vb. gibi durumlarda eksikliklerin düzelmesi amacıyla DÖF (Düzenleyici ve Önleyici Faaliyet) oluşturulmaktadır.
- Düzenleyici faaliyet, bir uygunsuzluğun tespit edilmesinden sonra bu sorunu ortadan kaldırmaya yönelik gerçekleştirilen faaliyettir. Önleyici faaliyet ise, Bir sapma veya uygunsuzluk meydana gelmeden, olası sapma ve uygunsuzlukların tespit edilmesini sağlamak için yapılan planlı ve sistematik faaliyetlerdir.
- Kalite hatasını azaltmak ve önlemek amacıyla kayıt altına alınmaktadır.
- Örneğin; Fosfat kaplama işlemi sırasında pH, kaplama süresi ve uygulama sıcaklığının doğru ayarlanması ve sürekli izlenmesi, metal yüzeylerin daha iyi korozyon direnci ve boya yapışmasını sağlayarak elektrostatik toz boya işleminin kalitesini artırmakta, maliyetleri düşürmekte ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır. Bu sorun oluşmadan önce önlem alınırsa, önleyici faaliyet; eğer uygunsuz durum meydana geldikten sonra düzeltilirse, düzenleyici faaliyet olmaktadır.



Şekil 4.12. Girdi Kontrol Prosesi

- Tedarikçilerden gelen hammaddenin sayısının kontrolüdür.
- Tedarikçilerden gelen mamullerin hazırlanan teknik şartnameye göre uygun olup olmadığına bakılmaktadır.
- Teknik şartnameye uygun ürünlerin girdi kontrolü yapılmaktadır.
- Girdi kontrolü onaylanmış ürünler hammadde depoya gelmektedir.
- Hammaddeler kalite kontrolden geçmezse ret formu hazırlanmaktadır ve iade edilmektedir.
- Fosfat hammaddesinin, pH'ı içindeki konsantrasyonu vb. kalite kontrole uyduğu zaman kabul edilmesi uymadığı kalite kontrolden geçememesi ve bu nedenle tedarikçi firmaya iade edilmesi örnek verilebilir. Örneğin eksik sayıda hammadde gelirse şartlı olarak kabul edilip sipariş edilen ürünlerin gelmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 4.13. Muayene- Deney Prosesi

- Pütürlü boya kalınlığı 100- 130  $\mu\text{m}$ , ince pütürlü boya kalınlığı 60-80  $\mu\text{m}$  kalınlığında olması (bu işte en az 10 yıldır tecrübeli kişilerden öğrenilmiştir) gerekmekte boya kaplama aletiyle ölçülmektedir. Boyayı iyi tutması ve yağı temizlemesi açısından fosfatın pH'ı 4,5- 5,5 arasında olmak zorundadır (bu işte en az 10 yıldır tecrübeli kişilerden öğrenilmiştir). Boyanan numune, preste bükülerek dayanıklılık testine bakılmaktadır. Eğer boyada kırılma varsa fosfat kazanının pH'ına ya da atılan boya kalınlığı tekrar kontrol edilmektedir. Boyanan numune sac plakanın üzerine çizikler atılıp bant yapıştırılıp çekilerek boyanın sac tabakaya yapışıp yapışmadığına bakılmaktadır.
- Alınan numunenin test sonuçları doğru ise düzeltici faaliyet uygulanmaktadır. Hatalı ise ürün bir sonraki prosese geçememektedir.
- Kalite hatasının boyutuna göre yeniden işleme yapılabilmekte ya da hurdaya ayrılmaktadır.

#### 4.5. Kullanılan Fosfat (Chemphos800) Özellikleri

Püskürtmeli sistemler için yağ alma ve demir fosfat maddesi olarak üretilmiştir.

Boyama öncesi çelik, galvaniz ve hafif metaller ve demir içermeyen ağır metaller için, boya öncesi veya ara temizleme amacıyla kullanılmaktadır. İyi temizleme ve yağ alma performansı sağlamaktadır. Boyanın yapışma mukavemetini artıran ve korozyonu engellemesine yardımcı olan bir fosfat tabakası oluşturmaktadır. Konsantrasyonu %0,5 - 2.0 şeklindedir. 1 yıl kullanım süresi bulunmaktadır. +5/+30°C'de kapalı ambarda saklanmaktadır.

Kirlenmiş çözeltiler uygun bir arıtma işleminden sonra deşarj edilmektedir.

Püskürtme metodu ile kullanılmakta ve soğuk olarak uygulanmaktadır. Korozyona, aşınmaya karşı direnç kazandırmaktadır. İçerisinde fosforik asit, nitrik asit, sodyum florür, hidroklorik asit bulunmaktadır.

Kullanılan fosfatın PH derecesi 2'dir. Su dolu bir kazana fosfat atılıp, fosfatlı suyun pH'ını 4,5 – 5,5 derece olacak şekilde uygun seviyeye getirilmektedir.

#### **4.6. Deneyde Kullanılan Numune Sacın Özellikleri**

İşletme, çelik kapı üretimi yaparken DKP sac ve galvaniz sac hammadde olarak kullanılmaktadır. Anonim 1: <https://etalazer.com/sac-cesitleri-ve-ozellikleri/> [19.04.2021].

##### **4.6.1. DKP Sac**

DKP sac, slab adı verilen sıvı çeliğin sürekli dökümle katılaştırılması sonucu elde edilen yarı mamul bir üründür. Bu yarı mamul, sıcak olarak haddelenerek kalınlığı 0,4 ila 2,00 mm arasında değişen levha saclar haline getirilmektedir. DKP saclar, diğer sac türlerine göre daha yumuşak bir yapıya sahiptir, bu durumda istenilen şekil ve deseni elde etmeyi kolaylaştırmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle inşaat, otomotiv ve beyaz eşya gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

##### **4.6.2. Galvanizli Sac**

Galvaniz sac, çoğunlukla yangın kapılarında kullanılmaktadır. Demirin oksijen ve neme tepki verme özelliğinden dolayı nemli ortamlarda yavaşça paslanma eğilimi göstermektedir. Bu sebeple, ıslak koşullarda siyah sac tercih edilmez. Bunun yerine, çinko kaplamalı galvaniz saclar kullanmak hem maliyet açısından daha uygun hem de işlevsel bir çözüm olmaktadır. Çinko kaplama, demiri koruyarak paslanma sürecini yavaşlatmakta veya önlemektedir. Bu sayede malzemenin dayanıklılığı artmaktadır ve uzun ömürlü kullanım sağlamaktadır. Bu durum, farklı sektörlerde daha sağlam ve güvenilir sonuçlar elde etmeyi mümkün kılmaktadır.

Müşterinin isteğine göre sac kalınlığı ve sac çeşidine göre üretim yapılmaktadır.

Deneyde 1,2 mm'lik 20 × 50'lik DKP sac numuneleri kullanılmıştır

Şekil 4.14.'te işletmede yer alan sac stoku gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Sac Stoku

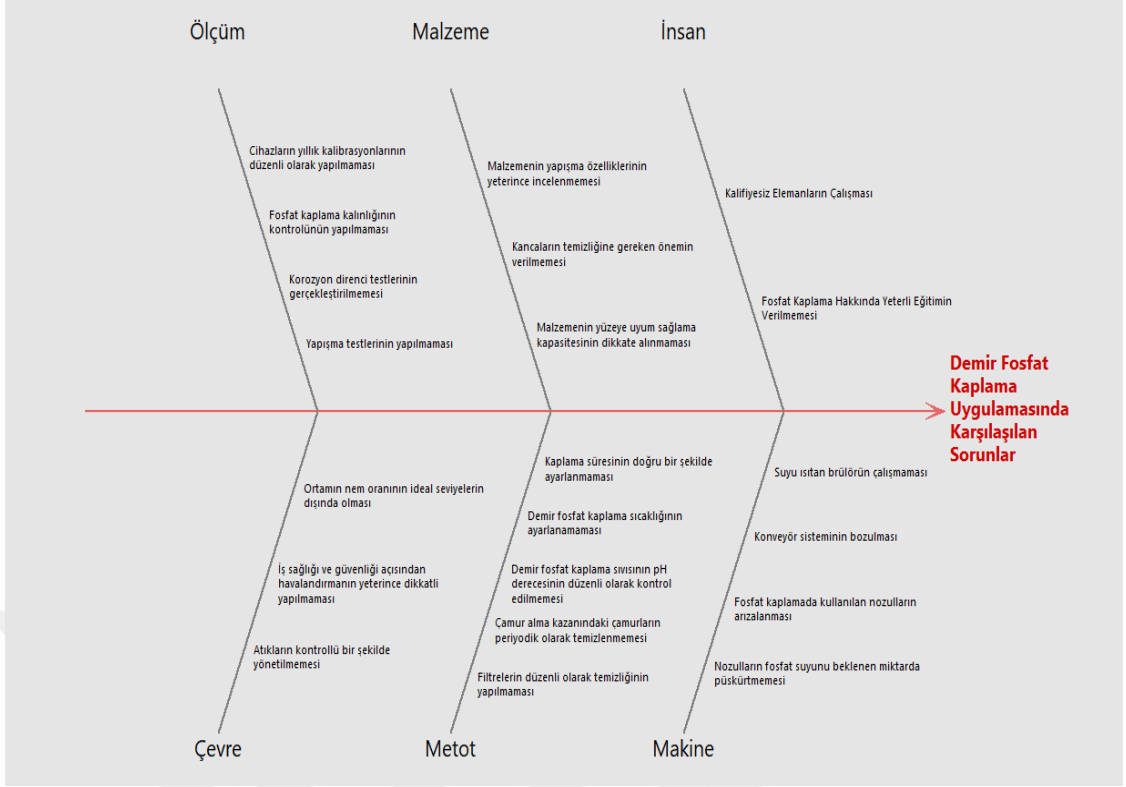
#### 4.7. Deneyin Uygulanması

İşletmede bir adet yağ alma kazanı ve bir adet fosfat kazanı vardır ancak iki kazana da aynı kimyasal konulmaktadır. İşletmede üretim çok yoğun olduğundan fosfat kaplamayı gerçekleştirmek için deneylerin planlanmasında zorluklar yaşanmıştır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için yapılan deney çalışmalarında tek tip fosfat markası ve boya markası kullanılmıştır. L9 ortogonal dizini kullanılarak zaman ve maliyet tasarrufu yapılmıştır. Sıcaklık, kaplama süresi pH derecesi değiştirilerek deney uygulanmıştır.

Deney uygulanırken ilk bölümde fosfat kaplama sürecinin sorunların kök nedenine inmek için balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur. İkinci bölümde Minitab17 programı üzerinden Taguchi deney tasarımı için L9 ortogonal dizini oluşturulmuş ve çıkan bu diziye göre deneyler üzerinde tuz sisi testi gerçekleştirilmiştir.

##### 4.7.1. Demir Fosfat Kaplama Süreci Balık Kılçığı Diyagramı

Sorunları ele almak, daha net bir şekilde görünmesi ve kök nedenine ulaşmak açısından balık kılçığı diyagramı Minitab17 Programı üzerinden hazırlanmıştır. Şekil 4.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Demir Fosfat Kaplama Süreci için Balık Kılçığı Diyagramı

İnsan: Fosfat kaplama sürecinde çalışan operatörlerin deneyimi, becerisi ve eğitimi, kaplamanın kalitesi üzerinde büyük etkiye sahip olabilmektedir.

Bu İşletmede İnsan Kaynaklı Nedenler:

- Operatörlere gerekli eğitimlerin yeterince sağlanmaması,
- Operatörlerin işlerinde yeterli deneyime sahip olmamaları,
- Operatörlerin üretim sürecindeki ürünlerin kalite kontrolünü düzenli olarak gerçekleştirmemeleri şeklindedir.

Elektrostatik toz boya prosesinin kullanımına yönelik, operatörlere eğitim verilerek bilgilenmesi sağlanmalıdır. Operatörlerin alanındaki deneyimin geliştirilmesinde daha fazla fırsat sunulması ve operatörlerin sürekli kalite kontrol yapması gerektiğini bilinçlendirilmelidir.

Malzeme: Demir fosfat kaplanması için kullanılan malzeme yapılan kaplamanın performansını etkilemektedir.

Bu İşletmede Malzeme Kaynaklı Nedenler:

- Malzemenin yapışma özelliklerinin yeterince incelenmemesi,
- Kapıların asılmasını kolaylaştıran kancaların temizliğine gereken önemin verilmemesi,
- Malzemenin yüzeye uyum sağlama kapasitesinin dikkate alınmaması şeklindedir.

Demir Fosfat kaplama, tedarikçiden satın alınırken hammadde kalite kontrollerinin yapılması ve uygunsu ürünün alınması önem arz etmektedir.

Kapıları takılan kanca zamanla aşınarak kapıların topraklanmasını (nötrleşmesini) engellemektedir. Bu durum kapının boya tutuculuğuna zarar vermektedir. Dolayısıyla parçaların yakılarak temizlenmesi ya da değiştirilmesi gerekmektedir.

Ölçüm: Fosfat kaplama sürecinde ölçüm, kaplamanın kalitesini ve uygunluğunu değerlendirmek için önemli bir rol oynamaktadır.

Bu İşletmede Ölçüm Kaynaklı Nedenler:

- Cihazların yıllık kalibrasyonlarının düzenli olarak yapılmaması: Ölçüm cihazlarının (örneğin: pHmetre) yıllık kalibrasyonunun yapılması doğru ölçüm yapılması için önem arz etmektedir.
- Fosfat kaplama kalınlığının kontrolünün yapılmaması: Fosfat kaplamanın kalınlığı, kaplamanın performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Kaplama kalınlığı ölçümü, ultrasonik kalınlık ölçerler veya manyetik indüksiyon cihazları gibi cihazlar kullanılarak yapılabilmektedir. Bu ölçümler, kaplamanın belirlenen spesifikasyonlara uygun olup olmadığını kontrol etmek için gerçekleştirilmektedir.
- Korozyon direnci testlerinin gerçekleştirilmemesi: Fosfat kaplama, metal yüzeylerin korozyona karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Bu nedenle, kaplanmış parçaların korozyon direnci ölçülmelidir. Tuz püskürtme testleri gibi testler, kaplamanın korozyon direncini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.
- Yapışma testlerinin yapılmaması: Fosfat kaplamanın yapışması, kaplamanın kalitesi ve dayanıklılığı açısından önem arz etmektedir. Yapışma testleri, pull-off testleri veya çapraz çizik testleri gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bu testler, kaplamanın yüzeye sağlam bir şekilde bağlandığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

Makine: Fosfat kaplama işlemi için kullanılan ekipmanlar, kaplamanın uygun şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Örneğin, kaplama banyosunu karıştıran ve malzemeleri taşıyan otomatik bir karıştırıcı-pompa sistemi kullanılabilir.

Bu İşletmede Makine Kaynaklı Nedenler:

- Nozulların fosfat suyunu beklenen miktarda püskürtmemesi,
- Fosfat kaplamada kullanılan nozulların arızalanması,
- Konveyör sisteminin bozulması,
- Suyu ısıtan brülörün çalışmaması şeklindedir.



Nozul sıvı ya da su püskürtme sistemlerinde borunun ucuna veya üzerine bağlanarak suyu püskürtmeye yarayan eleman olmaktadır. Fosfat kaplamada kullanılan nozul, kaplama çözeltisinin hedeflenen yüzeylere püskürtülmesini sağlayan bir malzeme olmaktadır **(Esen, 2016)**.

Fosfat kaplama işlemi genellikle bir püskürtme sistemi veya sprey tabancası aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sprey tabancaları, kaplama çözeltisini bir nozul aracılığıyla yüzeye püskürtülmektedir. Nozul, kaplama çözeltisinin doğru şekilde dağılmasını, yayılmasını ve yapışmasını sağlamaktadır.

Kazan brülörü, doğalgaz tüketimini optimize etmek amacıyla hava/yakıt oranının ayarlandığı bir cihazdır. Bu ayarlamalarla kazan, optimum hava/yakıt oranıyla çalıştırıldığında önemli doğalgaz tasarrufu sağlayabilmektedir. Yakıtın daha verimli bir şekilde yanmasını ve enerjinin daha etkili bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla, hava/yakıt oranı doğru bir şekilde ayarlandığında, kazanın performansı artmakta ve enerji maliyetleri azalmakta, çevresel etkiler de minimize edilmektedir. Bu nedenle, kazan brülörünün doğru şekilde ayarlanması, enerji verimliliği ve kaynak tasarrufu açısından kritik bir öneme sahip olmaktadır **(Kılıç ve ark., 2018)**.

Metot: Fosfat kaplama sürecinde kullanılan yöntemler, kaplamanın kalitesini etkileyebilmektedir. Örneğin, uygun bir ön temizlik prosedürü (örneğin, yüzeyin yağ, kir ve pas gibi maddelerden arındırılması) kaplamanın yapışmasını ve dayanıklılığını artırabilmektedir.

Bu İşletmede Metot Kaynaklı Nedenler İse:

- Filtrelerin düzenli olarak temizliğinin yapılmaması,
- Çamur alma kazanındaki çamurların periyodik olarak temizlenmemesi,
- Demir fosfat kaplama sıvısının pH derecesinin düzenli olarak kontrol edilmemesi,
- Demir fosfat kaplama sıcaklığının ayarlanamaması,
- Kaplama süresinin doğru bir şekilde ayarlanmaması şeklindedir.

Çevre: Fosfat kaplama sürecinde, çevresel etkilere dikkat edilmesi gerekmektedir. Kaplama işleminden kaynaklanan atık maddelerin kontrol edilmesi ve uygun şekilde bertaraf edilmesi açısından önem arz etmektedir. Ayrıca, kaplama tesisinin havalandırma sistemi, işçilerin sağlığını korumak ve zararlı buharları uzaklaştırmak amacıyla tasarlanmaktadır.

Bu İşletmede Çevre Kaynaklı Nedenler:

- Atıkların kontrollü bir şekilde yönetilmemesi,
- İş sağlığı ve güvenliği açısından havalandırmanın yeterince dikkatli yapılmaması,
- Ortamın nem oranının ideal seviyelerin dışında olması şeklindedir.

Sonuç olarak balık kılçığı diyagramı mevcut olan demir fosfat kaplama yapılırken yaşanan sıkıntıların kök nedenine inilmiştir ve ilk adım olarak kontrol edilebilen değişkenlerin (pH, sıcaklık ve kaplama süresi) sürecinin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.7.2. Taguchi Deney Tasarımı

PH, Kaplama Süresi ve Sıcaklık parametrelerinin deney faktörleri belirlenmiş L9 ortogonal dizisine göre yapılmış 27 adet deney sayısı Taguchi Deney Tasarımı sayesinde 9 indirilmiştir. Her biri bağımsız değişkenin kategori sayısının 3 olması sebebiyle L9 ortogonal dizini kullanılması açısından önem arz etmektedir. Çizelge 4.1.'de Taguchi deney tasarımı kullanılan kategoriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Taguchi Deney Tasarımında Kullanılan Kategoriler

|   | pH  | Kaplama Süresi(dk) | Sıcaklık(°C) |
|---|-----|--------------------|--------------|
| 1 | 3,5 | 4                  | 28           |
| 2 | 5,5 | 6                  | 36           |
| 3 | 7,5 | 8                  | 44           |

Çizelge 4.1.'de belirtilen deney parametreleri bu işte en az on yıl tecrübeli tedarikçi firma ile görüşülmüştür. Tecrübelerine dayanılarak yapılan deney parametreleri yukarıdaki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 4.1'de gösterilen kategoriler doğrultusunda Taguchi deney tasarımı yöntemiyle analiz edilen L9 ortogonal dizinine göre yapılması gereken deneyler Çizelge 4.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Analiz Sonucu Uygulanacak Deneyler

|   | pH  | Kaplama Süresi(dk) | Sıcaklık(°C) |
|---|-----|--------------------|--------------|
| 1 | 3,5 | 4                  | 28           |
| 2 | 3,5 | 6                  | 36           |
| 3 | 3,5 | 8                  | 44           |
| 4 | 5,5 | 4                  | 36           |
| 5 | 5,5 | 6                  | 44           |
| 6 | 5,5 | 8                  | 28           |
| 7 | 7,5 | 4                  | 44           |
| 8 | 7,5 | 6                  | 28           |
| 9 | 7,5 | 8                  | 36           |

Çizelge 4.2.'de gösterilen deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir ve tuz sisi testi uygulanmıştır.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde; Birinci adımda Taguchi deney tasarım yöntemi uygulanmış olup; S/N oranı, ortalamalar için ana etki ve standart sapmalar için ana etki grafiği bulunmaktadır. İkinci adımda, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki etkiyi belirlemek için bir regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Üçüncü adımda optimum çözümü bulmak için doğrulama deneyi uygulanmış olup sonuçlar analiz edilmiştir.

### 5.1. Balık Kılçığı Diyagramının Uygulanması

Balık kılçığı diyagramı uygulanarak mevcut durumda olan demir fosfat kaplama yapılırken yaşanan sıkıntıların kök nedenine inilmiştir. İşletme tarafından yapılan değerlendirme sonucuna göre ilk adım olarak kontrol edilebilen değişkenlerin (sıcaklık, pH ve kaplama süresi) süreçlerinin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

### 5.2. Taguchi Deney Tasarım Yönteminin Uygulanması

Üretim çok yoğun bir şekilde çalışmaktadır ve üretimi aksatmayacak şekilde deneyler uygulanmaya çalışılmıştır. Yüzey işlem demir fosfat kaplamadır. Tuz sisi testi yapılmıştır ve test süresi 504 saat (21 gün) uygulanmıştır.

Blister ebadı, açılma oranı ve pas derecesi şeklinde sonuçlar bulunmuştur.

- Blister ebadı en düşük 8'dir. En yüksek ise 2'dir. Blister ebadının düşük olması gerekmektedir. Sonuç olarak "8" en iyi sonucu vermektedir.
- Açılma oranı arttığında boya tutuculuğunu azalttığı için artması iyi bir durum olmamaktadır (Açılma oranı: %100 en yüksek, Açılma oranı en düşük: %0). Sonuç olarak açılma oranı ne kadar azsa o kadar iyi olduğu anlamını taşımaktadır.
- Pas derecesi, metal yüzeylerin korozyon durumunu belirlemek amacıyla kullanılan bir terimdir. Bu terim, bir metal yüzeyin paslanma seviyesini ifade etmektedir. (Pas derecesi en düşük:8, Pas derecesi en yüksek: 2'dir) Pas derecesi "8" ise deney sonucunun optimum olduğunu, pas derecesi "2" ise deney sonucunun en kötü olduğunu ifade etmektedir

Şekil 5.1.'de deneyin sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Deney Sonuçları

| Rapor Numarası | pH  | Kaplama Süresi(dk) | Sıcaklık | Blister Ebadı | Açılma Oranı | Pas Derecesi |
|----------------|-----|--------------------|----------|---------------|--------------|--------------|
| 1              | 3,5 | 4                  | 28°C     | 8             | 0,18         | 7            |
| 2              | 3,5 | 6                  | 36°C     | 7             | 0,62         | 4            |
| 3              | 3,5 | 8                  | 44°C     | 5             | 0,75         | 2            |
| 4              | 5,5 | 4                  | 36°C     | 8             | 0,12         | 8            |
| 5              | 5,5 | 6                  | 44°C     | 7             | 0,63         | 4            |
| 6              | 5,5 | 8                  | 28°C     | 8             | 0,10         | 8            |
| 7              | 7,5 | 4                  | 44°C     | 7             | 0,65         | 3            |
| 8              | 7,5 | 6                  | 28°C     | 8             | 0,16         | 8            |
| 9              | 7,5 | 8                  | 36°C     | 8             | 0,25         | 7            |

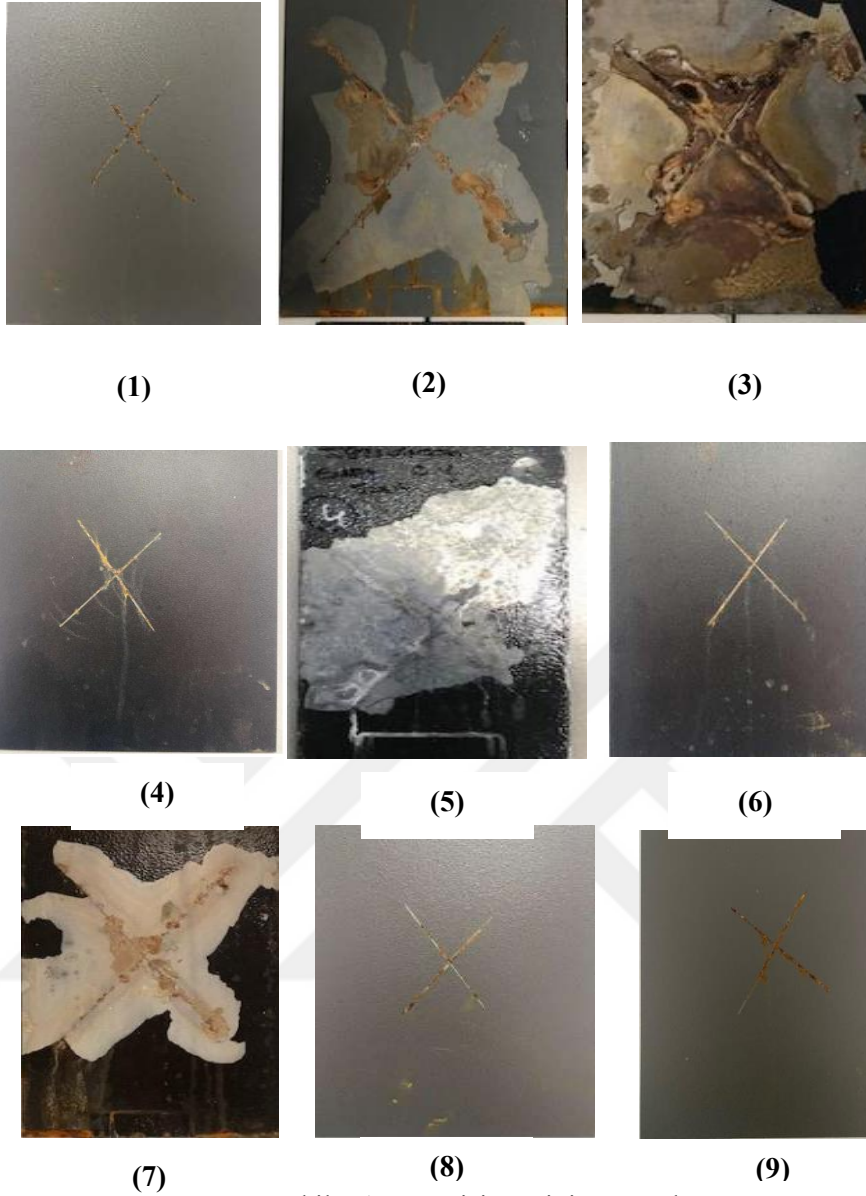
Çizelge 5.1.'de gösterilen deney sonucuna göre; bağımsız değişkenler pH, kaplama süresi ve sıcaklıktır. Bağımlı değişken ise blister ebadı, açılma oranı ve pas derecesi şeklindedir.

Blister ebadı için sonuçlar değerlendirildiğinde; 1., 4., 6., 8. ve 9. deneylerde blister ebadı 8 olduğu ve diğer deney sonuçlarına göre kıyaslandığında en iyi sonucu verdiği gözlemlenmektedir. 3. Deneyde ise blister ebadının 5 çıkması diğer deneyler ile kıyaslandığında en kötü sonucu vermektedir. Yapılan deneylere göre en düşük pH (3,5), en yüksek kaplama süresi (8 dk) ve sıcaklığın (44°C) olması deney sonucunu olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Açılma oranı için sonuçlar değerlendirildiğinde; 6. Deneyde açılma oranının 10 olduğu ve diğer deney sonuçlarına göre kıyaslandığında en iyi sonucu verdiği gözlemlenmektedir. 3. Deneyde ise açılma oranının 0,75 olduğu ve diğer deneyler ile kıyaslandığında en kötü sonucu vermektedir. Sonuçlar analiz edildiğinde; 6. deneyde pH derecesinin 5,5 olması, en yüksek ve en düşük sıcaklığın (28°C) olması açılma oranını olumlu bir şekilde etkilemiştir. 3. deney değerlendirildiğinde ise en düşük pH (3,5) ve en yüksek sıcaklığa (44°C) olması deney sonucunu olumsuz etkilemiştir. Açılma oranı sonucu değerlendirildiğinde kaplama süresinin etkisinin az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Pas derecesi için sonuçlar değerlendirildiğinde; 4., 6., ve 8. deneylerde pas derecesinin 8 olduğu ve diğer deney sonuçlarına göre kıyaslandığında en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. 3. deneyde ise pas derecesinin 2 olduğu ve diğer deneyler ile kıyaslandığında en kötü sonucu vermektedir. Yapılan deneylere göre en düşük pH (3,5), en yüksek kaplama süresi (8 dk) ve sıcaklığın (44°C) olması deney sonucunu olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Deney numunelerinin sonuçlarının fotoğrafları sırasıyla Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Tuz Sisi Testinin Sonuçları

Şekil 5.1.'de, uygulanan tuz sisi testi raporunda sonuçlarının görselleri hali bulunmaktadır.

Özellikle boyama veya kaplama işlemlerinde; yüzeyin temizliği, alt tabakanın hazırlığı, boyanın doğru uygulanması ve uygun kurutma işlemleri gibi faktörler blister oluşumunun (kabarcıklanmanın), pas oluşumunun, korozyonun önlenmesi açısından önem arz etmektedir. Blister oluşumu, boyanın altındaki yüzeydeki hava veya gazın yükselmesi sonucu kabarcık veya kusurlu bir görünüm oluşturabilmektedir. Pas akması yüzeyin içinde korozyon belirtileri gösterip göstermediğini ifade etmektedir. Açılma oranı ise metalin yüzeye ne kadar iyi yapıştığını ifade etmektedir. Açılma oranının yüksek olması, kaplamanın metal yüzeyden ayrılma eğiliminde olduğunu ve korozyon riskini artırdığını göstermektedir. Pas derecesi, kaplanan metal yüzeyin belirli bir standart ve kriter setine göre korozyona karşı direncini tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Düşük pas derecesi, kaplamanın başarılı olduğunu metal yüzeyinin yüksek korozyon direncine sahip olduğunu

göstermektedir. Yüksek pas derecesi ise korozyonun başladığını veya kaplamanın etkinliğinin azaldığını gösterebilmektedir.

Taguchi deney tasarımı S/N oranı önemli bir ölçüm olmaktadır. Temel prensibi olarak kabul edilmektedir.

Taguchi deney tasarımının analizi yapılırken bağımsız değişkenler; pH, kaplama süresi ve sıcaklık şeklindedir.

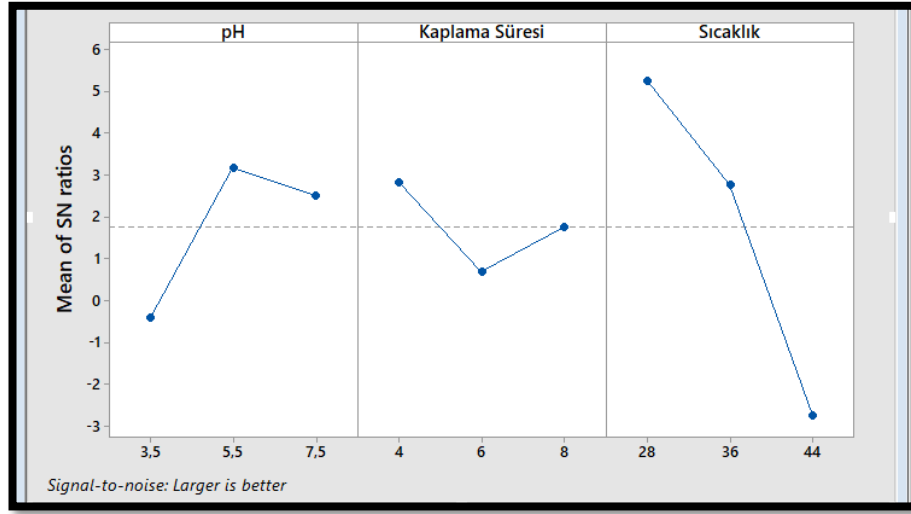
Taguchi deney tasarımının analizi yapılırken bağımlı değişkenler ise; blister ebadı, açılmama oranı ve pas derecesi şeklindedir.

Açılma oranı yerine, açılmama oranının kullanılmasının sebebi; blister ebadı ve pas derecesi en yüksek değer en iyisi olmaktadır. Pas akmasında da en düşük değer en iyi olmaktadır. Taguchi deney tasarımı yapılırken karışmaması amacıyla açılmama (1-açılma oranı) alınmıştır.

Çizelge 5.2. Taguchi Deney Tasarımı Yöntemine Göre Analiz Sonuçları

| Deney No | pH  | Kaplama Süresi(dk) | Sıcaklık(°C) | Blister Ebadı | Açılmama Oranı | Pas Derecesi |
|----------|-----|--------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| 1        | 3,5 | 4                  | 28           | 8             | 0,82           | 7            |
| 2        | 3,5 | 6                  | 36           | 7             | 0,38           | 4            |
| 3        | 3,5 | 8                  | 44           | 5             | 0,25           | 2            |
| 4        | 5,5 | 4                  | 36           | 8             | 0,88           | 8            |
| 5        | 5,5 | 6                  | 44           | 7             | 0,37           | 4            |
| 6        | 5,5 | 8                  | 28           | 8             | 0,90           | 8            |
| 7        | 7,5 | 4                  | 44           | 7             | 0,35           | 3            |
| 8        | 7,5 | 6                  | 28           | 8             | 0,84           | 8            |
| 9        | 7,5 | 8                  | 36           | 8             | 0,75           | 7            |

Deneme üretimleri sonucunda metot bölümünde verilen Denklem 3.1.'de yer alan en yüksek en iyi sonucuna göre; Şekil 5.3.'te S/N için ana etki grafiği, Şekil 5.4.'te ortalamalar için ana etki grafiği ve Şekil 5.5.'te standart sapmalar için etki grafiği bulunmuştur.

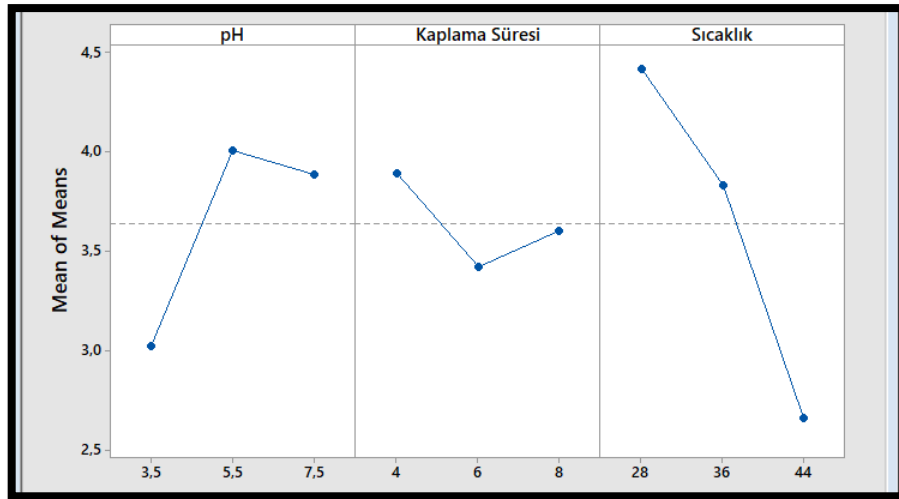


Şekil 5.2. S/N için Ana Etki Grafiği

Şekil 5.2’de, sinyal/gürültü oranını bulmak amacıyla oluşturulan ana etki grafiğinde; Sıcaklık derecesinin, demir fosfat kaplama üzerinde en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

İkinci en önemli faktör ise, pH derecesi olduğu gözlemlenmiştir. En düşük etki ise kaplama süresine ait olduğu anlaşılmaktadır.

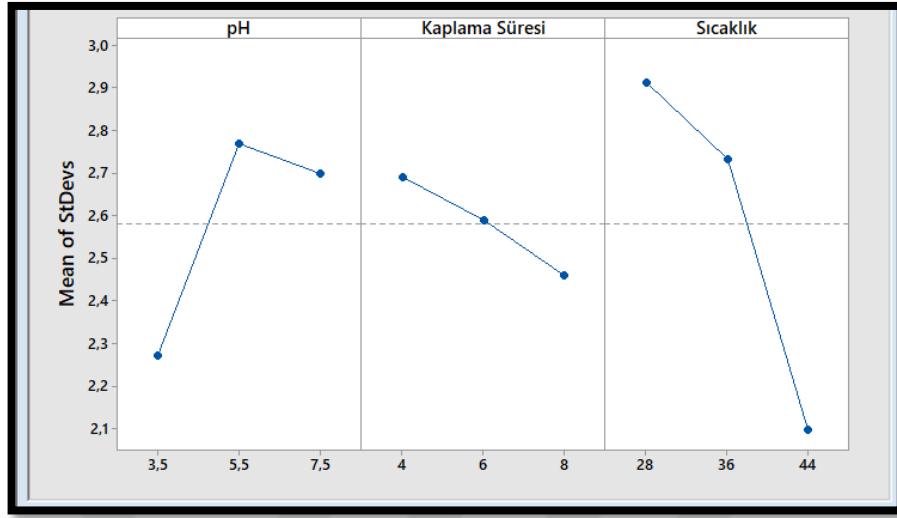
Sonuçlara bakılarak; demir fosfat kaplamanın en yüksek en iyiye göre optimum şekilde uygulanabilmesi için; “pH: 5,5- Kaplama Süresi: 4 dk- Sıcaklık: 28°C” olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5.3. Ortalamalar için Ana Etki Grafiği

Şekil 5.3’te görüldüğü gibi ortalamalar üzerinde ana etkiler grafiği incelendiğinde, demir fosfat kaplama üzerindeki en etkili faktörün sıcaklık olduğu sonucuna varılmıştır. İkinci en önemli faktör ise pH derecesi olduğu görülmektedir.

Kaplama süresi ise, demir fosfat kaplama üzerinde en düşük etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4. Standart Sapmalar için Etki Grafiği

Şekil 5.4'te, standart sapma üzerinde ana etkiler grafiği incelendiğinde; demir fosfat kaplama üzerindeki en etkili faktörün sıcaklık olduğu sonucuna varılmıştır. İkinci en önemli faktör ise pH derecesi olduğu görülmektedir.

Kaplama süresi ise, demir fosfat kaplama üzerinde en düşük etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bulunan sonuçların birbirleri üzerindeki etkilerini incelemek, güvenilirliğini kontrol etmek Regresyon analizi yapılmıştır.

### 5.3. Regresyon Analizi

Modelde 3 bağımsız değişken (pH, kaplama süresi, sıcaklık) bulunmaktadır.

Analiz sonucunda çıkan bağımlı değişkenlerden ise sürekli değişkenlerdir

Her bir bağımlı değişken için regresyon modeli kurulmuştur. Blister ebadı, açılma oranı ve pas derecesi için çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır.

#### 5.3.1. Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinin Uygulanması

*Blister Ebadı için Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi*

Çizelge 5.3. Blister Ebatı İçin Model Özeti

| Model | R    | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | Tahminin Standart Hatası | Durbin-Watson |
|-------|------|----------------|----------------------------|--------------------------|---------------|
| 1     | 0,89 | 0,792          | 0,667                      | 0,577                    | 2,150         |



Çizelge 5.3.'te belirtilen model özetine göre, regresyon modeli blister ebadını açıklamak için uygun görünmektedir. Durbin-Watson istatistiği ise modeldeki hata terimlerinin belirli bir otokorelasyona sahip olmadığını gösterirken, bu da modelin güvenilirliği açısından olumlu bir bulgu olarak kabul edilebilmektedir (Özdamar, 2012). Sonuç olarak, bu model blister ebadını tahmin etmek için kullanışlı bir başlangıç noktası sunmaktadır, ancak daha fazla veri ve analiz gerekebilmektedir.

Çizelge 5.4. Blister Ebadı için ANOVA

| Model     | Kareler Toplamı | df(serbestlik derecesi) | Ortalama Kareler | F     | Sig. (Anlamlılık) |
|-----------|-----------------|-------------------------|------------------|-------|-------------------|
| Regresyon | 6,333           | 3                       | 2,111            | 6,333 | 0,037             |
| Kalıntı   | 1,667           | 5                       | 0,333            |       |                   |
| Toplam    | 8               | 8                       |                  |       |                   |

Çizelge 5.4.'te belirtilen ANOVA tablosu, regresyon modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Modeldeki bağımsız değişkenlerin (Sıcaklık, Kaplama Süresi, pH Derecesi) bağımlı değişken olan blister ebadını (çizgide ve yüzeyde) açıklamada anlamlı bir katkısı olduğu sonucuna varılmıştır. Regresyonun anlamlılığını test etmek için kullanılan F istatistiği 6,333'tür ve p değeri 0,037'dir, bu da regresyonun modelde anlamlı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak regresyon modelinin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu ve modelin genel uyum sağladığını göstermektedir.

Çizelge 5.5. Blister Ebadı için Katsayılar

| Model          | B      | Standart Hata | t      | Sig. (Anlamlılık) |
|----------------|--------|---------------|--------|-------------------|
| 1              |        |               |        |                   |
| Sabit          | 10,708 | 1,433         | 7,421  | 0,001             |
| pH             | 0,250  | 0,118         | 2,121  | 0,087             |
| Kaplama Süresi | -0,167 | 0,118         | -1,414 | 0,216             |
| Sıcaklık       | -0,104 | 0,029         | -3,536 | 0,017             |

Çizelge 5.5.'te belirtilen regresyon modelinin katsayıları ve ilişkilendirilmiş istatistikler sunulmuştur. Sıcaklık değişkeni istatistiksel olarak olduğunu ifade etmektedir (p=0,017). PH derecesi ve kaplama süresi ise anlamlılığı kabul edilebilir düzeyde bulunmamaktadır (p>0,05). Sonuç olarak, Sıcaklık değişkeninin blister ebadı için anlamlı şekilde etkilediğini ve modelde belirgin bir rol oynamaktadır.

Blister Ebadı için regresyon modeli Denklem 5.1.'de gösterilmektedir.

$$\text{Blister Ebadı} = 10,708 - 0,104 \times \text{Sıcaklık} \quad (5.1)$$

Üretimden elde edilen bağımlı değişkenlerin sonucu ile formülde elde edilen bağımlı değişkenlerin blister ebadı için uyumu ortalama %90 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.6.'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.6. Blister Ebadi İçin Yüzde Uyum

| Bağımsız Değişkenler |                   |          | Bağımlı Değişken                     |                                      | Mutlak Hata<br>( Formül Değeri<br>Blister Ebadi-<br>Üretim Sonucu<br>Blister Ebadi ) | Bağıl<br>Hata<br>(Mutlak<br>Hata/Formül<br>Değeri Blister<br>Ebadi) | Yüzde<br>Uyum<br>(1-Bağıl<br>Hata) |
|----------------------|-------------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| pH                   | Kaplama<br>Süresi | Sıcaklık | Üretim<br>Sonucu<br>Blister<br>Ebadi | Formül<br>Değeri<br>Blister<br>Ebadi |                                                                                      |                                                                     |                                    |
| 3,5                  | 4                 | 28       | 8                                    | 7,796                                | 0,204                                                                                | 0,02617                                                             | 0,97383                            |
| 3,5                  | 6                 | 36       | 7                                    | 6,964                                | 0,036                                                                                | 0,00517                                                             | 0,99483                            |
| 3,5                  | 8                 | 44       | 5                                    | 6,132                                | 1,132                                                                                | 0,18461                                                             | 0,81539                            |
| 5,5                  | 4                 | 36       | 8                                    | 6,964                                | 1,036                                                                                | 0,14877                                                             | 0,85123                            |
| 5,5                  | 6                 | 44       | 7                                    | 6,132                                | 0,868                                                                                | 0,14155                                                             | 0,85845                            |
| 5,5                  | 8                 | 28       | 8                                    | 7,796                                | 0,204                                                                                | 0,02617                                                             | 0,97383                            |
| 7,5                  | 4                 | 44       | 7                                    | 6,132                                | 0,868                                                                                | 0,14155                                                             | 0,85845                            |
| 7,5                  | 6                 | 28       | 8                                    | 7,796                                | 0,204                                                                                | 0,02617                                                             | 0,97383                            |
| 7,5                  | 8                 | 36       | 8                                    | 6,964                                | 1,036                                                                                | 0,14877                                                             | 0,85123                            |
|                      |                   |          |                                      |                                      |                                                                                      | <b>Ortalama</b>                                                     | <b>0,90568</b>                     |

*Açılma Oranı için Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi*

Çizelge 5.7. Açılma Oranı İçin Model Özeti

| Model | R     | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | Tahminin<br>Standart<br>Hatası | Durbin-<br>Watson |
|-------|-------|----------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 1     | 0,895 | 0,801          | 0,681                      | 0,15225                        | 1,853             |

Çizelge 5.7'de belirtilen model özeti, regresyon modelinin performansını değerlendirmek amacıyla önemli istatistikleri içermektedir. R<sup>2</sup> değeri, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki varyansın ne kadarını açıkladığını göstermekte ve 0,801 sonucuna ulaşılmıştır. Bu, modelin açıklanabilir varyansın %80,1'ini kapsadığını belirtmektedir. Standart hata tahmini, modelin tahminlerinin ne kadar doğru olduğunu belirtmiştir ve 0,15225 olarak bulunmuştur. Durbin-Watson istatistiği, modelin hata terimlerinin otokorelasyonunu değerlendirilmiş ve 1,853 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, modelin genel olarak makul bir uyum sağladığını göstermekte, ancak başka faktörlerin de modelin performansını etkileyebileceğini göz önünde bulundurmamak önem arz etmektedir.

Çizelge 5.8. Açılma Oranı İçin ANOVA

| Model     | Kareler Toplamı | df(serbestlik derecesi) | Ortalama Kareler | F     | Sig. (Anlamlılık) |
|-----------|-----------------|-------------------------|------------------|-------|-------------------|
| Regresyon | 0,465           | 3                       | 0,155            | 6,688 | 0,034             |
| Kalıntı   | 0,116           | 5                       | 0,023            |       |                   |
| Toplam    | 0,581           | 8                       |                  |       |                   |

Çizelge 5.8.'de belirtilen ANOVA tablosu, regresyon modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Modeldeki bağımsız değişkenlerin (Sıcaklık, Kaplama Süresi, pH Derecesi) bağımlı değişken olan açılma oranını açıklamada anlamlı bir katkısı olduğu sonucuna varılmıştır. Regresyonun anlamlılığını test etmek için kullanılan F istatistiği 6,688'dir ve p değeri 0,034'tür, bu durum regresyonun modelde anlamlı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak regresyon modelinin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu ve modelin genel uyum sağladığını göstermektedir.

Çizelge 5.9. Açılma Oranı İçin Katsayılar

| Model          | B       | Standart Hata | t      | Sig. (Anlamlılık) |
|----------------|---------|---------------|--------|-------------------|
| 1              |         |               |        |                   |
| Sabit          | -0,658  | 0,381         | -1,73  | 0,044             |
| pH             | -0,0413 | 0,031         | -1,314 | 0,246             |
| Kaplama Süresi | 0,013   | 0,031         | 0,402  | 0,704             |
| Sıcaklık       | 0,03    | 0,08          | 4,263  | 0,008             |

Çizelge 5.9'da belirtilen regresyon modelinin katsayıları ve ilişkilendirilmiş istatistikler sunulmuştur. Sıcaklık değişkeni istatistiksel olarak olduğunu ifade etmektedir ( $p=0,008$ ). PH derecesi ve kaplama süresi ise anlamlılığı kabul edilebilir düzeyde bulunmamaktadır ( $p>0,05$ ). Sonuç olarak, Sıcaklık değişkeninin açılma oranı için anlamlı şekilde etkilediğini ve modelde belirgin bir rol oynamaktadır.

Açılma oranı için regresyon modeli Denklem 5.2.'de gösterilmektedir.

$$\text{Açılma Oranı} = -0,658 + 0,03 \times \text{Sıcaklık} \quad (5.2)$$

Üretimden elde edilen bağımlı değişkenlerin sonucu ile formülden elde edilen bağımlı değişkenlerin açılma oranı için uyumu ortalama %74 olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.10.'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.10. Açılma Oranı İçin Yüzde Uyum

| Bağımsız Değişkenler |                |          | Bağımlı Değişken           |                            | Mutlak Hata<br>( <b>Formül Değeri<br/>Açılma Oranı-<br/>Üretim Sonucu<br/>Açılma Oranı</b> ) | Bağıl Hata<br>( <b>Mutlak<br/>Hata/Formül<br/>Değeri<br/>Açılma<br/>Oranı</b> ) | Yüzde Uyum<br>( <b>1-Bağıl Hata</b> ) |
|----------------------|----------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| pH                   | Kaplama Süresi | Sıcaklık | Üretim Sonucu Açılma Oranı | Formül Değeri Açılma Oranı |                                                                                              |                                                                                 |                                       |
| 3,5                  | 4              | 28       | 0,18                       | 0,182                      | 0,002                                                                                        | 0,01099                                                                         | 0,98901                               |
| 3,5                  | 6              | 36       | 0,62                       | 0,422                      | 0,198                                                                                        | 0,46919                                                                         | 0,53081                               |
| 3,5                  | 8              | 44       | 0,75                       | 0,662                      | 0,088                                                                                        | 0,13293                                                                         | 0,86707                               |
| 5,5                  | 4              | 36       | 0,12                       | 0,422                      | 0,302                                                                                        | 0,71564                                                                         | 0,28436                               |
| 5,5                  | 6              | 44       | 0,63                       | 0,662                      | 0,032                                                                                        | 0,04834                                                                         | 0,95166                               |
| 5,5                  | 8              | 28       | 0,1                        | 0,182                      | 0,082                                                                                        | 0,45055                                                                         | 0,54945                               |
| 7,5                  | 4              | 44       | 0,65                       | 0,662                      | 0,012                                                                                        | 0,01813                                                                         | 0,98187                               |
| 7,5                  | 6              | 28       | 0,16                       | 0,182                      | 0,022                                                                                        | 0,12088                                                                         | 0,87912                               |
| 7,5                  | 8              | 36       | 0,25                       | 0,422                      | 0,172                                                                                        | 0,40758                                                                         | 0,59242                               |
| Ortalama             |                |          |                            |                            |                                                                                              |                                                                                 | <b>0,7362</b>                         |

*Pas Derecesi için Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi*

Çizelge 5.11. Pas Derecesi İçin Model Özeti

| Model | R     | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | Tahminin Standart Hatası | Durbin-Watson |
|-------|-------|----------------|----------------------------|--------------------------|---------------|
| 1     | 0,897 | 0,804          | 0,687                      | 1,342                    | 1,556         |

Çizelge 5.11.'de R<sup>2</sup> değeri varyansın yüzde olarak açıklanma derecesini göstermektedir. Bu modelde, R değeri 0,897 ve R Square değeri 0,804'tür. Bağımsız değişkenlerin (Sıcaklık, Kaplama Süresi ve pH derecesi) toplam varyansın %80,4'ünü açıkladığını göstermektedir. "Durbin-Watson" sütunu, modelin otokorelasyonunu ölçmektedir. Bu modelde, Durbin-Watson istatistiği 1,556'dır. 1,556 değeri bu modeldeki otokorelasyonunun olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5.12. Pas Derecesi İçin ANOVA

| Model     | Kareler Toplamı | df(serbestlik derecesi) | Ortalama Kareler | F     | Sig. (Anlamlılık) |
|-----------|-----------------|-------------------------|------------------|-------|-------------------|
| Regresyon | 37,000          | 3                       | 12,333           | 6,852 | 0,032             |
| Kalıntı   | 9,000           | 5                       | 1,800            |       |                   |
| Toplam    | 46,000          | 8                       |                  |       |                   |

Çizelge 5.12.'de Regresyon modelinin anlamlı olduğu, F değeri 6,852 ve p değerinin 0,032 olduğu görülmektedir. P değeri 0,05 değerinden küçük olduğu için bu modelin bağımsız

değişkenlerin en azından birinin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna işaret etmektedir.

Çizelge 5.13. Pas Derecesi İçin Katsayılar

| Model |                | B      | Standart Hata | t      | Sig. (Anlamlılık) |
|-------|----------------|--------|---------------|--------|-------------------|
| 1     | Sabit          | 15,375 | 3,353         | 4,287  | 0,008             |
|       | pH             | 0,417  | 0,274         | 1,521  | 0,189             |
|       | Kaplama Süresi | 0,083  | 0,274         | -0,304 | 0,773             |
|       | Sıcaklık       | -0,292 | 0,068         | -4,260 | 0,008             |

Çizelge 5.13.'te belirtilen regresyon modelinin katsayıları ve ilişkilendirilmiş istatistikler sunulmuştur. Sıcaklık değişkeni istatistiksel olarak olduğunu ifade etmektedir ( $p=0,008$ ). PH derecesi ve kaplama süresi ise anlamlılığı kabul edilebilir düzeyde bulunmamaktadır ( $p>0,05$ ). Sonuç olarak, Sıcaklık değişkeninin pas derecesi için anlamlı şekilde etkilediğini ve modelde belirgin bir rol oynamaktadır.

Pas derecesi için regresyon modeli Denklem 5.3.'te gösterilmektedir.

$$\text{Pas Derecesi} = 15,375 - 0,292 \times \text{Sıcaklık} \quad (5.3)$$

Üretimden elde edilen bağımlı değişkenlerin sonucu ile formülden elde edilen bağımlı değişkenlerin pas derecesi için uyumu ortalama %77 olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.14.'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.14. Pas Derecesi İçin Uyum Yüzdesi

| Bağımsız Değişkenler |                |          | Bağımlı Değişken           |                            | Mutlak Hata<br>(Formül Değeri<br>Pas Derecesi-<br>Üretim Sonucu<br>Pas Derecesi) | Bağıl Hata<br>(Mutlak Hata/Formül<br>Değeri Pas Derecesi) | Yüzde Uyum<br>(1-Bağıl Hata) |
|----------------------|----------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
| pH                   | Kaplama Süresi | Sıcaklık | Üretim Sonucu Pas Derecesi | Formül Değeri Pas Derecesi |                                                                                  |                                                           |                              |
| 3,5                  | 4              | 28       | 7                          | 7,199                      | 0,199                                                                            | 0,02764                                                   | 0,97236                      |
| 3,5                  | 6              | 36       | 4                          | 4,863                      | 0,863                                                                            | 0,17746                                                   | 0,82254                      |
| 3,5                  | 8              | 44       | 2                          | 2,527                      | 0,527                                                                            | 0,20855                                                   | 0,79145                      |
| 5,5                  | 4              | 36       | 8                          | 4,863                      | 3,137                                                                            | 0,64508                                                   | 0,35492                      |
| 5,5                  | 6              | 44       | 2                          | 2,527                      | 0,527                                                                            | 0,20855                                                   | 0,79145                      |
| 5,5                  | 8              | 28       | 7                          | 7,199                      | 0,199                                                                            | 0,02764                                                   | 0,97236                      |
| 7,5                  | 4              | 44       | 3                          | 2,527                      | 0,473                                                                            | 0,18718                                                   | 0,81282                      |
| 7,5                  | 6              | 28       | 8                          | 7,199                      | 0,801                                                                            | 0,11127                                                   | 0,88873                      |
| 7,5                  | 8              | 36       | 7                          | 4,863                      | 2,137                                                                            | 0,43944                                                   | 0,56056                      |
|                      |                |          |                            |                            |                                                                                  | <b>Ortalama</b>                                           | <b>0,77413</b>               |

Regresyon analizi sonucunda, uygulanan deneylerin işletmenin üretim yoğunluğundan ve yüksek maliyetlerinden dolayı minimum seviyede tutulmuştur. Ancak, daha ileriki çalışmalarda daha etkili sonuçlar elde etmek için daha fazla deney yapılması gerektiği ve bu çalışmaların gelecekteki araştırmalara rehberlik edeceği sonucuna varılmıştır.

#### 5.4. Doğrulama Deneylerinin Uygulanması

Doğrulama deneyi, verilen numunelerdeki Taguchi deney tasarımı yöntemiyle bulunan optimum sonucu; geçerliliğini, doğruluğunu ve güvenilirliğini ispat etmek amacıyla yapılmaktadır.

“pH: 5,5 - Kaplama süresi: 4 dk - Sıcaklık Derecesi: 28°C” olacak şekilde 3 adet deney uygulanmıştır.

Deney yapıldıktan sonra sonuç numuneleri Çizelge 5.15.’te gösterilmektedir.

Çizelge 5.15. Doğrulama Deneyi Sonuçları

| Rapor No | PH  | Kaplama Süresi(dk) | Sıcaklık (°C) | Blister Ebadı | Blister Y.(Çizgi) | Blister Y.(Yüzey) | Açılma Oranı | Pas Akması | Pas Der. |
|----------|-----|--------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------|------------|----------|
| 1        | 5,5 | 4                  | 28            | 8             | F                 | F                 | 0,10         | YOK        | 8        |
| 2        | 5,5 | 4                  | 28            | 8             | F                 | F                 | 0,10         | YOK        | 8        |
| 3        | 5,5 | 4                  | 28            | 8             | F                 | F                 | 0,13         | YOK        | 8        |

Çizelge 5.15’teki doğrulama deneyi için, blister(kabarcıklanma) deneylerin hiçbirinde gözlemlenmemiştir.

Birinci deney sonucunda; blister ebadı 8, blister yoğunluğu çizgide ve yüzeyde F, açılma oranı 0,10’dur. Pas akması bulunmamaktadır ve pas derecesi 8’dir.

İkinci deney sonucunda; blister ebadı 8, blister yoğunluğu çizgide ve yüzeyde F, açılma oranı 0,10’dur. Pas akması bulunmamaktadır ve pas derecesi 8’dir.

Üçüncü deney sonucunda; blister ebadı 8, blister yoğunluğu çizgide ve yüzeyde F, açılma oranı 0,13’tür. Pas akması bulunmamaktadır ve pas derecesi 8’dir.



(1)

(2)



(3)

Şekil 5.5. Doğrulama Deneyi Sonucunun Numuneleri

Şekil 5.5.'te doğrulama deneyinin sonucunun numuneleri gösterilmektedir. Deney sonuçları, Taguchi deney tasarımında çıkan optimum sonucun geçerliliğini ve tutarlılığını doğrulamaktadır.

### 5.5. Regresyon Modelinin Uygulanması

Doğrulama deneyi sonuçlarından istatistiksel olarak güvenilirliğini bulmak amacıyla regresyon analizi sonucunda elde edilen denklemlere optimum çözüm olan “pH: 5,5 – Kaplama Süresi: 4 dakika – Sıcaklık: 28°C” olacak şekilde regresyon modelinde yerine konularak tahmin edilmiştir.

Blister ebadı için model sonucu Denklem 5.7’de gösterilmektedir.

$$\text{Blister Ebadı} = 10,708 - 0,104 \times \text{Sıcaklık}$$

$$= 10,708 - 0,104 \times 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 7,796 \quad (5.7)$$

Blister ebadının doğrulama deneyinin sonucu 8’dir. Regresyon denkleminde ise 8,503 sonucu tahmin edilmiştir. Doğrulama deneyi ve regresyon denklemi sonucu %98 oranında uyum yüzdesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Açılma oranı için model sonucu Denklem 5.8’de gösterilmektedir.

$$\text{Açılma Oranı} = -0,658 + 0,03 \times \text{Sıcaklık}$$

$$= -0,658 + 0,03 \times 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 0,182 \quad (5.8)$$

Açılma oranı için doğrulama deneylerinin sonuçları sırasıyla 0,10- 0,10 – 0,13 şeklindedir. Regresyon denkleminde ise 0,182 değeri tahmin edilmiştir. Doğrulama deneyi ve regresyon denklemi sonucu arasında %73 oranında uyum yüzdesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Pas derecesi için model sonucu Denklem 5.9’da gösterilmektedir.

$$\text{Pas Derecesi} = 15,375 - 0,292 \times \text{Sıcaklık}$$

$$= 15,375 - 0,292 \times 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 7,199 \quad (5.9)$$

Açılma oranı için doğrulama deneylerinin sonuçları 8’dir. Regresyon denkleminde ise 7,199 değeri tahmin edilmiştir. Doğrulama deneyi ve regresyon denklemi sonucu arasında ortalama %88 oranında uyum yüzdesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



## 6. SONUÇ

İşletmelerin kalite yönetimi süreçlerinde, yalnızca son proses aşamasındaki sonuçları değil, aynı zamanda her bir üretim adımını kapsayan kalite standartları belirlemeleri kritik bir öneme sahip olmaktadır. Bu yaklaşım, kalite standartlarının tüm aşamalarda titizlikle takip edilmesini ve olası hataların erkenden tespit edilip düzeltilmesini sağlamaktadır. Sadece son proses kontrolüne değil, tüm üretim sürecinin kalite standartlarına uygunluğunu güvence altına almak, kalite seviyelerini yükseltmek ve işletme verimliliğini artırmak için çok daha etkili bir strateji sunmaktadır.

Üretim işletmelerinde en önemli süreçlerden biri olan elektrostatik boya prosesi, üretimde kalite kontrolden geçse bile gözle görünmediği için müşteriye ulaştıktan sonra kalite hataları çıkabilmektedir. Elektrostatik toz boya sürecinde, özellikle fosfat kaplama aşamasına özel bir önem vermek, üretimden müşteriye ulaşan ürünlerin uzun vadeli dayanıklılığını güvence altına alarak müşteri memnuniyetini artırmak ve güvenilirlik sorunlarını önlemek amacıyla önem arz etmektedir. Bu tür hatalar olmaması için gerekli kontrol boyanmadan önce yapılmalıdır. Metaller, elektrostatik toz boyaya girmeden önce; korozyonu önlemek, boya tutuculuğunu artırmak ve yüzey altında pas oluşumunu engellemek amacıyla fosfat kaplama yapılmaktadır. Dolayısıyla boyanın ömrünü uzatarak açılma ve kırılmaların önüne geçmesini sağlamaktadır.

Bu çalışma, elektrostatik toz boya prosesi içinde kritik bir rol oynayan fosfat kaplama aşamasının optimize edilmesini hedeflemektedir. Fosfat kazanının içine konulan fosfat miktarı, kaplama süresi ve kazan sıcaklığı gibi kontrol edilebilen faktörlerin israf oluşturabilmek ve ürün kalitesini etkileyebilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, fosfat kaplama işlemi sırasında optimum çözümlere ulaşarak israfı minimize etmek ve yüksek kaliteli ürünler elde etmektir. Korozyonun çelik yüzeyler üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek amacıyla fosfat kaplamanın kullanılmakta ve bu yöntemin metal malzemelerin dayanıklılığını artırarak uzun ömürlü kullanımını sağlamaktadır. Sonuç olarak, çalışma elektrostatik toz boya sürecinin kritik bir aşaması olan fosfat kaplamanın optimize edilmesinin, çelik kapı üretiminde ürün kalitesini artırarak müşteri memnuniyeti ve güvenini sağlamaya yönelik önemli bir adım olmaktadır. Taguchi deney tasarımı yöntemiyle elde edilen sonuçların, yöntemlere kıyasla daha etkili olduğu ve işletmelerin fosfat kaplama sürecini optimize ederek israfı önlemesine katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışma Taguchi deney tasarımı yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Taguchi metodolojisi, üretim kalitesini etkileyen gürültü veya kontrol edilemeyen değişkenleri tanımlamak ve bu faktörlerin ürün kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir süreç tanımlamaktadır. Taguchi deney tasarımı, deneme sayısını minimize etmenin yanı sıra proses ve ürün geliştirmenin her aşamasında yüksek kaliteyi desteklemektedir. Bu yöntem, süreç ve ürünün üretim koşullarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyet gösterirken gerekli toleransları ekonomik bir şekilde sağlamayı amaçlamaktadır. Taguchi, kayıp fonksiyonu aracılığıyla ürünün meydana getirdiği kaybı minimize etmeyi amaçlamakta ve üretimdeki fazla değişkenliklerden kaynaklanan

maliyetleri azaltmayı hedeflemektedir. Taguchi'nin kullanılan ortogonal dizilimlere dayanan deney tasarımı stratejisi, mümkün olan en fazla bilgiyi minimum deneysel çalışma ile elde etmeyi amaçlamaktadır.

Taguchi deney tasarımı L9 ortogonal dizininde çıkan uygulanması gereken deney sonuçlarına göre tuz sisi testi uygulanmıştır. İşletme maliyetini minimum sayıda tutmak amacıyla 9 deney sayısı ile çalışma uygulanmıştır. Tuz sisi testi sonucunda çıkan optimum sonuca göre doğrulama deneyi uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar arasında istatistiksel anlamlı bir fark olup olmadığını değerlendirmek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır.

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren orta ölçekli bir çelik kapı üretim işletmesinde çalışma gerçekleştirilmiştir. İşletme, 150 kişilik bir çalışan kadrosuyla 35 ülkeye ihracat yapmakta olup yılda 40.000 adet çelik kapı ve 100.000 adet iç oda kapısı üretme kapasitesine sahiptir. Müşteri taleplerine göre özel ölçülü kapılar üretilmekte ve ihracata yönelik üretim ağırlıklı olarak sürdürülmektedir. Çelik kapı üretimi, iç kasa, dış kasa ve kanat olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.

Deneyleri uygulamadan önce,

- İlk olarak deney yapılırken işletme ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.
- İşletmenin iş süreçlerini anlamak ve iyileştirmek amacıyla işletme için genel iş akış diyagramları oluşturulmuştur.
- İşletmede bulunan demir fosfat kazanıyla ilgili bilgiler verilmiştir.
- İşletmedeki kalite kontrol sistemi ile ilgili bilgiler verilmiştir.
- Deneyde kullanılacak olan demir fosfat kaplamanın ve numune sacın özelliklerine yer verilmiştir.
- Sorunların nedenlerini belirlemek, kök nedenleri analiz etmek ve bu nedenlere odaklanarak sorunların çözümünü bulmak amacıyla balık kılçığı diyagramı kullanılmıştır.
- Yapılan tuz sisi testinde kullanılan standartlar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Deney uygulama aşamasında ise,

- Minitab17 programı kullanılarak Taguchi deney tasarımı üzerinden hangi deneylerin kullanılması gerektiği bulunmuştur.
- Deneylerin uygulanması için kullanılmıştır. 9 adet deney numunesi, Taguchi deney tasarımındaki deneylere göre uygulanmıştır.
- İlgili numuneler demir fosfatı tedarik ettiğimiz firmaya gönderilmiştir. Tuz sisi testinin uygulanmasını sağlanmıştır

- Deney sonuçları elde edilmiştir ve yorumlanmıştır.
- Minitab17 programı yardımıyla S/N oranı, ortalamalar için etki grafiği ve standart sapmalar için etki grafiği bulunmuştur ve sonuçlar üzerinde yorumlar yapılmıştır.
- Test sonucunun güvenilirliği ve doğruluğunu bulmak amacıyla SPSS programı ile regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi kurulmuş ve doğrulama deneyiyle kıyaslanması yapılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma,

Kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini azaltmak için kontrol edilebilen faktörlerin kalite kontrolünü sağlamak amacıyla çalışma yapılmıştır.

Kontrol edilemeyen faktörler çevresel faktörler daha çok çevresel faktördür. Havanın nemli veya sıcak olması, çalışanların iş sağlığı kurallarına uymaması gibi durumları oluşturmaktadır.

Kontrol edilebilen faktörler ise pH, sıcaklık, kaplama süresidir. Bu çalışmada Taguchi deney tasarımı bu üç değişkenle yapılmıştır.

Deneylerde,

pH: 3,5 – 5,5 – 7,5

Sıcaklık: 28 °C- 36 °C- 44 °C

Kaplama Süresi: 4 dk – 6dk – 8 dk

Şeklinde uygulanmıştır. Bu şekilde uygulanmasında tedarikçi firmanın görüşü alınmıştır. Bu şekilde uygulanırsa en etkili ve optimum sonuçları verebileceği öğrenilmiştir.

Taguchi deney tasarım uygulanarak elde edilen deneylere göre 20×50 DKP sac numuneleri uygulanmış ve ilgili numunelere tuz sisi testi uygulanarak deney sonuçları elde edilmiştir.

Deney sonuçlarında Taguchi deney tasarımı uygulayarak S/N oranı, ortalamalar için ana etki grafiği ve standart sapmalar için ana etki grafiği bulunmuştur.

Sonuç olarak,

pH: 5,5 - Sıcaklık: 28°C – Kaplama Süresi 4 dakika olacak şekilde deneyler uygulanırsa optimum sonuç elde edileceği bulunmuştur.

Ortalamalar ve standart sapmalar için ana etki grafiğinde sıcaklık değişkeninin fosfat kaplamayı en çok etkilediği bulunmuştur. En az etkileyen faktör ise kaplama süresi olarak belirlenmiştir.

Regresyon analizinde, 3 tane bağımsız değişken (pH – Kaplama Süresi – Sıcaklık) bulunmaktadır. Bağımlı değişkenlerde ise blister ebadı, açılma oranı ve pas derecesi sürekli değişkendir. Bu nedenle blister ebadı, açılma oranı ve pas derecesi bağımlı değişkenler için çoklu doğrusal regresyon uygulanmıştır.

Çoklu doğrusal lojistik regresyon sonucuna göre, blister ebadı, açılma oranı ve pas derecesi için fosfat kaplamayı en çok etkileyen faktörün sıcaklık olduğu bulunmuştur. Sıcaklık değişkeninin bağımlı değişkenler üzerinde anlamlı bir farkı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Taguchi deney tasarımı sonucuna göre doğrulama deneyi uygulanmış ve regresyon modeli ile kıyaslanmıştır.

Optimum sonuç olarak bulunan, “pH: 5,5 - Kaplama Süresi: 4 dk - Sıcaklık: 28°C” olacak şekilde 3 adet doğrulama deneyi uygulanmıştır.

- 1. Deney: “Blister Ebadı:8 - Açılma Oranı: 0,10 - Pas Derecesi:8” olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- 2. Deney: “Blister Ebadı:8 - Açılma Oranı: 0,10 - Pas Derecesi:8” olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- 3. Deney: “Blister Ebadı:8 - Açılma Oranı: 0,13 - Pas Derecesi:8” olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında Taguchi deney tasarımında bulunan optimum çözüm doğrulama deneyi ile doğrulanmıştır.

Regresyon denklemine göre hesaplanan sonuçlar ise:

Çoklu Doğrusal Regresyon Sonuçları:

- Blister Ebadı: 7,796
- Açılma Oranı: 0,182
- Pas Derecesi: 7,199

Blister Ebadı: Regresyon modeli ve doğrulama deneyi sonuçları sırasıyla 7,796 ve 8’dir. Doğrulama deneyi ve regresyon denklemi sonucu arasında ortalama %98 oranında uyum yüzdesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Açılma Oranı: Regresyon modeli ve doğrulama deneyi sonuçları arasında ortalama %73 oranında uyum yüzdesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Pas Derecesi: Regresyon modeli ve doğrulama deneyi sonuçları sırasıyla 7,199 ve 8’dir. Regresyon denklemi ve doğrulama deneyi sonucu arasında ortalama %88 oranında uyum bulunmaktadır.

Özetle bu çalışma, Taguchi deney tasarımı kullanılarak optimizasyonunu ele almaktadır. Temel faktörler olan pH, sıcaklık ve kaplama süresinin sistematik değişimleri üzerindeki etkileri inceleyerek, demir fosfat kaplama işleminin verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. L9 ortogonal

dizini kullanılarak yapılan deneyler, zaman ve maliyet tasarrufu sağlamak amacıyla tek tip fosfat ve boya markaları ile gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler birbiri arasındaki etkileri araştırmak amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar, çelik kapı üreticilerine, üretim süreçlerini iyileştirmek, ürün kalitesini artırmak ve müşteri şikayetlerini azaltmak için pratik bilgiler sunmaktadır.

Literatür taraması sonucunda, çelik kapı sektöründeki elektrostatik toz boya sürecinde fosfat kaplama parametrelerinin Taguchi deney tasarımı metoduyla optimize edilmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışma öncelikle çelik kapı üretim işletmeleri için başlangıç olarak önem arz etmektedir. Ancak ilerleyen çalışmalarda daha fazla deney ile analiz yapılması gerekmektedir.

Çelik kapı imalat sektöründe yapılan bu çalışma genel rekabet gücünü ve sürdürülebilirliği artırmayı hedeflemekte olup, sektöre ve literatüre önemli katkılar sağlamaktadır.





## 7. SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Elektrostatik toz boya sürecindeki fosfat kaplamanın optimizasyonunu Taguchi metodu ile çalışılmıştır. Üç parametre üzerinden pH – kaplama süresi – sıcaklık üzerinden (kontrol edilebilen faktörler) çalışma yapılmıştır. Bir sonraki tez çalışmasında, elektrostatik toz boya sürecini daha verimli hale getirmek için proses iyileştirmelerini, farklı kaplama malzemelerinin karşılaştırılmasını veya çevresel etkilerin incelenmesini konu alınabilir. Kullanılan fosfat miktarı üzerinde araştırma yapılabilir. İşletme fazla yoğun ve deney maliyetleri çok yüksek olduğu için 9 deney sayısı ile yapılan bu çalışma deney sayısı artırılarak matematiksel formüllerin güvenilirlikleri artırılabilir.







## KAYNAKLAR

- Akgündüz, M., 2019. Farklı malzemelerle kaplanmış segman-silindir çiftinin sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, 79s.
- Ayoola, A. A., Durodola, B. M., Babalola, R., Adeniyi, O. D., & Ilobinso, C. E. (2023). Corrosion inhibitive effects of calcium-modified zinc phosphate coating on A36 mild steel. *Results in Engineering*, 17, 100880. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100880>
- Baloyi, T., Maledi, N., & Andrews, A. (2022). Corrosion performance of zinc phosphate coatings deposited on AA6061-HDG steel. *Materials Chemistry and Physics*, 283, 126009. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126009>
- Bendell A., Disney, J., Pridmore, W. A. 1989. Taguchi methods: applications in world industry.
- Berk, V., 2004. Yüzey işlem teknolojileri 1. Sarıyer, İstanbul, 123s.
- Bhatti, R., Singh, R., 2015. Optimization of cutting parameters on AISI H11 steel using multi-coated carbide tool by taguchi method. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(4): 2418-2424.
- Bhalamurugan, R. & Prabhu, S., 2015. Performance characteristic analysis of automated robot spray painting using Taguchi method and gray relational analysis. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40, 1657-1667.
- Canıyılmaz E., 2001. Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Chen, W. H., Uribe, M. C., Kwon, E. E., Lin, K. Y. A., Park, Y. K., Ding, L., Saw, L. H. 2022. A comprehensive review of thermoelectric generation optimization by statistical approach: Taguchi method, analysis of variance (ANOVA), and response surface methodology (RSM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112917. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112917>
- Chidhambara, K. V., & Shankar, B. L., 2018. Optimization of robotic spray painting process parameters using taguchi method. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 310, No. 1, p. 012108). IOP Publishing.
- Çağlaroğlu, A. 2006. AISI 1045 Çeliğinin Fretting Yorulmasına ve Korozyon Davranışına Fosfat Kaplamanın Etkisi. Yüksek Lisan tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 97s.
- Çevik, O., 2004. Lojistik regresyon analizi ile tokat sanayi sitesi işletmelerinde bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(3-4).
- Çiftler, M., M., 2019. Vites kutusu dişlilerinin fosfat kaplama prosesindeki fosfatlama banyolarının karakterizasyonu. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 51s.
- Çimen, N. S., 2022. Yalın üretime geçişte süreç yönetimi ve süreç iyileştirme: Çelik kapı imalatında uygulama. Yüksek Lisans tezi, Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, 121 s.

- Daniyan, I., Muvunzi, R., Mpofu, K., & Adeodu, A., 2023. Optimisation of Process Parameters during the Turning Operation of Titanium Alloy (Ti6Al4V) using the Taguchi Methodology. *Procedia CIRP*, 118, 408-413. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.070>
- Darowicki, K., Ślepski, P., Szociński, M. 2020. Novel application of dynamic electrochemical impedance monitoring to a cathaphoretic coating process. *Progress in Organic Coatings*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105906>
- Deepak, J. R., Bupesh Raja, V. K., & Kaliaraj, G. S., 2019. Mechanical and corrosion behavior of Cu, Cr, Ni and Zn electroplating on corten A588 steel for scope for betterment in ambient construction applications. *Results in Physics*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102437>
- Emre Ertek, H., 2019. Taguchi yöntemi ile nokta direnç kaynaklı TWIP çeliklerin dayanım optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1): 778-787. <https://doi.org/10.29130/dubited.476683>
- Ertan, H., 2008. Örgütsel bağlılık, iş motivasyonu ve iş performansı arasındaki ilişki: Antalya’da beş yıldızlı otel işletmelerinde bir inceleme.
- Esen, S. G., 2016. Otomobil tampon boya hatlarında plazma yüzey aktivasyonu ile yüzey enerjisinin kontrolü ve uygulanabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 124s.
- Gad, S. M., Zhou, X., Lyon, S. B., & Emad, S. (2023). *Progress in Organic Coatings*, 174, 107266. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107266>
- Gurugubelli, S., Chekuri, R. B. R., & Penmetsa, R. V., 2022. Experimental investigation and optimization of turning process of EN8 steel using Taguchi L9 orthogonal array. *Materials Today: Proceedings*, 58, 233-237. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.474>
- Gülyaşar, F., 2010. Effects of Phosphating Process Pre-treatment Parameters on the Phosphate Coating Crystal Size and Pitting Corrosion. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 131s.
- Gün, T. ve Özaydın, F., 2013. Sfero chill döküm kam millerinde mangan fosfat kaplamanın aşınma direncine etkisi. *Sakarya University Journal of Science*, 17(3), 471-476.
- Güney, M., 2023. İkili lojistik regresyon analizinde aykırı değer belirleme yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 87s.
- Hayat, E., ve Özden, A. S., 2021. Genelleştirilmiş sıralı lojistik regresyon analizi ile bireylerin mutluluk düzeylerine etki eden faktörlerin belirlenmesi. *OPUS International Journal of Society Researches*, 18(40), 2288-2316.
- <https://etalazer.com/sac-cesitleri-ve-ozellikleri/> [17.04.2021].
- Hermawan, H., Wiktor, V., Gruyaert, E., & Serna, P., 2023. Optimization of concrete mix designs toward the bond properties of steel reinforcement in self-healing concrete by Taguchi method. *Journal of Building Engineering*, 76, 107294. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107294>

- Hu, S., Muhammad, M., Wang, M., Ma, R., Du, A., Fan, Y., Zhao, X., 2020. Corrosion resistance performance of nano-MoS<sub>2</sub>-containing zinc phosphate coating on Q235 steel. *Materials Letters*, 265, 127256. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127256>
- MEB, 2012. Kimya Teknolojisi Elektrostatik Toz Boyama için Yüzey Hazırlığı, Ankara, 50s.
- Jiang, C., & Cheng, X. (2019). Anti-corrosion zinc phosphate coating on building steel via a facile one-step brushing method. *Electrochemistry Communications*, 109, 106596. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2019.106596>
- Karagöz, İ., 2006. Altı sigma yönteminin orta ölçekli işletmelerde uygulanabilirliğinin analizi ve örnek işletme uygulaması. Yüksek Lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 77s.
- Karidkar, S., & Mali, R., 2016. Optimization of powder spray process parameters using Taguchi methodology. In *International Conference on Communication and Signal Processing* 71-76. 10.2991/icccsp-16.2017.12
- Kayı, Y., 2006. Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin Taguchi metodu ile incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 126s.
- KILIÇ, F. Ç., Eyidoğan, M., Sapmaz, S. 2018. Bir otomobil montaj işletmesinde enerji verimliliği artırıcı çözümlerin irdelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 6(1): 149-162. <https://doi.org/10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.331104>
- Liliana, L., 2016. A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. In *Iop conference series: Materials science and engineering* (Vol. 161, No. 1, p. 012099). IOP Publishing.
- Liu, X., Mao, K., Wang, X., Wang, X., & Wang, Y., 2020. A modified quality loss model of service life prediction for products via wear regularity. *Reliability Engineering and System Safety*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107187>
- Luca, L., Pasare, M., Stancioiu, A., Brancu, C., 2017. Study to determine a new model of the Ishikawa diagram for quality improvement. *Reliability Durab*, 1, 249-254.
- Meral, G., Sarıkaya, M., Dilipak, H., 2011. Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(4): 332-338
- Mercan, Ş., 2019. Deney tasarımı ve yapay zekâ tekniklerinden yararlanarak ürün kalitesinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 111 s.
- Michla, J. J., Rajini, N., Ismail, S. O., Prabhu, T. R., Mohammad, F., Siengchin, S., & Devi, M. I. (2023). Effects of nitriding on salt spray corrosion resistance of additively manufactured 17-4 PH steels. *Materials Letters*, 330, 133258. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133258>
- Ogbonna, O. S., Akinlabi, S. A., Madushele, N., Fatoba, O. S., & Akinlabi, E. T. (2023). Grey-based taguchi method for multi-weld quality optimization of gas metal arc dissimilar joining of mild steel and 316 stainless steel. *Results in Engineering*, 17, 100963. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100963>

- Orhunbilge, N. 2002. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, İ.Ü. İşletme Fakültesi Yayınları, II. Baskı İstanbul
- Önal, Ş., Bölümü, E. M., Üniversitesi, A. B., Ankara, T., & Yazar, S., 2021. Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle Üretilen Parçadaki Çekme Probleminde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu. ANKARA SCIENCE UNIVERSITY, RESEARCHER (C. 1, Sayı 1).
- Öz, A., Demir, A., Sağiroğlu, S., & Yakut, A. K., 2019. Plazma Sprey Tekniği ile Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplanmış Fren Diskinin Frenleme Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. European Journal of Science and Technology, 394-403. <https://doi.org/10.31590/ejosat.522361>
- Özdamar, K., 2012. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Nisan Kitabevi, Eskişehir, 574s.
- Özden, E., 2020. Elektrostatik toz boya proses parametrelerinin deney tasarımı yöntemleri ile optimizasyonu ve endüstriyel uygulaması. Yüksek Lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir
- Özel, S., Vural, E., & Binici, M. (2020). Optimization of the effect of thermal barrier coating (TBC) on diesel engine performance by Taguchi method. Fuel, 263. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116537>
- Peng, Y., Zhao, J., Liu, Y., Han, R., Liu, Z., & Gao, J. (2023). Galvanic corrosion between Al–Zn–Mg–Cu alloy and stainless steel in the salt-spray atmosphere. Materials Chemistry and Physics, 294, 127009. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.127009>
- Polyakov, N. A., Botryakova, I. G., Glukhov, V. G., Red'kina, G. V., Kuznetsov, Y. I., 2021. Formation and anticorrosion properties of superhydrophobic zinc coatings on steel. Chemical Engineering Journal, 421, 127775.
- Pontes, F. J., Paiva, A. P. De, Balestrassi, P. P., Ferreira, J. R., Silva, M. B. Da., 2012. Optimization of Radial Basis Function neural network employed for prediction of surface roughness in hard turning process using Taguchi's orthogonal arrays. Expert Systems with Applications, 39(9): 7776-7787. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.058>
- Prabhakaran, M., Madan, D., Sivakandhan, C., Anandan, K., & Marichamy, S. (2021). Parametric effect and taguchi optimization of cryogenic treatment of OHNS steel. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1979-1982. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.269>
- Prasad, L. K., McGinity, J. W., & Williams, R. O., 2016. Electrostatic powder coating: Principles and pharmaceutical applications. International Journal of Pharmaceutics, 505(2): 289-302 <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.04.016>
- Rekha, R., Kumar, S. V., Raj, V. A., Baboo, B. A., Raj, P. G., & Vignesh, A. J. (2023). Optimization of cylindrical grinding process parameters on austenitic stainless steel 304 using Taguchi based Grey Relational Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2569-2573. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.120>

- Sabırlı, A., ve Fırlalı, A., 2020. Optimum Çekirdek Çapını Elde Etmek İçin Elektrik Direnç Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2): 223-229.
- Sever, G., 2021. İstatistiksel daraltıcı yöntemlerden ridge regresyon, lasso regresyon ve elastik net regresyonun tahminleme ve sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 98 s.
- Syrcos, G. P., 2003. Die casting process optimization using Taguchi methods. Journal of materials processing technology, 135(1): 68-74. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01036-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01036-1)
- Şanyılmaz, M. (2006). Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde Taguchi yöntemi ile bir uygulama. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 109s.
- Taylan, D., 2009. Taguchi deney tasarımı uygulaması. Yüksek Lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 73s.
- Uçgun, N., 2023. Regresyon ve bulanık regresyon yöntemleri kullanılarak teslim sürelerinin tahminlenmesi. Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 113s.
- Wang, C. M., Liao, H. C., Tsai, W. T., 2006. Effects of temperature and applied potential on the microstructure and electrochemical behavior of manganese phosphate coating. Surface and Coatings Technology, 201(6), 2994-3001. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.06.010>
- Wang, H. K., Wang, Z. H., & Wang, M. C., 2020. Using the Taguchi method for optimization of the powder metallurgy forming process for Industry 3.5. *Computers & Industrial Engineering*, 148, 106635. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106635>
- Yaman, E., Ulubayrak, S., & Özbay, N. (2021). Fosfat Kaplama İşleminde Aktivasyon Parametreleri ve Kaplama Süresinin Kaplama Kalitesine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 629-634. <https://doi.org/10.31590/ejosat.832850>
- Yağmur, S., Çakıroğlu, R., Acır, A., Şeker, U., 2017. AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde İtme Kuvvetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 5 (2): 241-246.
- Yargıç, A. Ş., Eren, B. Özbay, N., 2021. Sıcak-Dövme Döküm Malzemelerin Performans Özelliklerini İyileştirmeye Yönelik Kaplama Koşullarının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 506-517. DOI: 10.31590/ejosat.836802
- Yıldız, Ü. G., 2021. Çok Yanıtlı Taguchi Optimizasyonunda ROC – CODAS yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 92 s.
- Zhang, Y., Chen, X., & Tan, H. (2023). Effect of ultrasonic treatment on the morphology and corrosion resistance of zinc-manganese phosphate coatings on 16Mn steel in 3.5% sodium chloride. *International Journal of Electrochemical Science*, 18(9), 100274. <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100274>



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÖZER, Elif Dicle

### Eğitim

| Derece        | Kurum                                                 | Mezuniyet Yılı |
|---------------|-------------------------------------------------------|----------------|
| Yüksek Lisans | Çukurova Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği         | 2024           |
| Yüksek Lisans | Ankara Üniversitesi – Bankacılık Tezsiz Yüksek Lisans | 2024           |
| Lisans        | Erciyes Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği          | 2019           |
| Ortaöğretim   | Niğde Cumhuriyet Anadolu Lisesi                       | 2015           |

### Çalışma Tecrübesi

| Yıl        | İşyeri                                                             | Unvan                                                 |
|------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 2022-Halen | T.C. ZİRAAT BANKASI A.Ş.                                           | İş Mimarisi Asistanı/Uzman Yardımcısı                 |
| 2020-2022  | EMEK METAL DEMİR DOĞRAMA ÇELİK KAPI İNŞ. MOB. SAN. VE TİC. LTD.ŞTİ | Üretim Planlama Mühendisi ve Kalite Kontrol Mühendisi |