

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



FIRIN İÇİNDE KULLANILAN IZGARALARIN KROM
KAPLAMA PROSESİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇAĞRI DEMİR

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK

BOLU, AĞUSTOS - 2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Çağrı DEMİR tarafından hazırlanan “**FIRIN İÇİNDE KULLANILAN IZGARALARIN KROM KAPLAMA PROSESİNİN OPTİMİZASYONU**” adlı tez çalışması Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 29/08/2022

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Murat PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL
Sakarya Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin __/__/__ tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % __ olarak tespit edilmiştir.

.....

ÇAĞRI DEMİR

ÖZET

FIRIN İÇİNDE KULLANILAN IZGARALARIN KROM KAPLAMA PROSESİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇAĞRI DEMİR

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. SABRİ ÖZTÜRK)

BOLU, AĞUSTOS – 2022

XIII + 68

Üretilen herhangi bir ürünün korozyona karşı uzun yıllar dayanması ve fonksiyonel olarak uzun yıllar kullanılması için çeşitli prosesler uygulanmaktadır. Çeşitli proseslerden en yaygın olanı yüzey kaplama prosesidir. Bu tez çalışmamda fırın içerisinde kullanılan tel ızgaraların krom kaplama prosesi incelenmiştir. Kaplama kalınlığına etki eden proses parametrelerinden akım değerlerinin ve kaplama banyosunda ürünlerin kalma sürelerinin kaplama kalınlığına etkisi araştırılıp, optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Proses parametlerinden kaplama banyolarına verilen akım değerleri ile elde edilen krom kaplama kalınlığı değerleri tepki yüzeyi metodolojisi yardımıyla irdelenmiştir. Elde edilen bulgular, müşterinin fırın içerisinde kullanılan tel ızgaraların üzerinde krom kaplama kalınlığına göre akım değerleri ve kaplama banyosu içerisinde kalma süreleri optimizasyonu sağlanmıştır. Krom kaplama prosesinde kaplama banyolarına uygulanan akım değeri ile elde edilen veriler doğrultusunda fırın içerisindeki tel ızgaranın üzerinde ortalama nikel kalınlığı, bunun akabinde krom kaplama kalınlıklarını arttırdığı anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Fırın ızgara, Krom kaplama, Nikel kalınlığı, Tepki yüzeyi metodolojisi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF CHROME PLATING PROCESS OF GRILLS USED IN THE OVEN

MSC THESIS

CAGRI DEMIR

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF.DR. SABRI OZTURK)

BOLU, AUGUST 2022

Xiii + 68

Various processes are applied to ensure that any product produced is resistant to corrosion for many years and is functionally used for many years. The most common of the various processes is the surface coating process. In this thesis, the chrome plating process of the wire grids used in the furnace was examined. The effect of the current values and the residence time of the products in the coating bath, which are among the process parameters affecting the coating thickness, on the coating thickness were investigated and their optimization was carried out. The current values given to the plating baths from the process parameters and the chrome plating thickness values obtained were examined with the help of the reaction surface methodology. Obtained findings, Optimization of current values and residence times in the plating bath was ensured according to the chrome plating thickness on the wire grids used in the oven. In line with the data obtained with the current value applied to the plating baths in the chrome plating process, it was understood that the average nickel thickness on the wire grid in the oven increased, and then the chrome plating thicknesses.

KEYWORDS: Oven grill, Chrome plating, Nickel thickness, Response surface methodology

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	2
3. YÜZEY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ.....	7
3.1 Kaplama Öncesi Yüzey Hazırlama ve Elektrolitik Metal Kaplama.....	7
3.1.1 Yüzeyi Kaplamaya Hazırlayan Ön İşlemler	8
4. NİKEL + KROM KAPLAMA	10
4.1 Nikelin Tarihçesi	10
4.1.1 Nikelin Oluşumu	11
4.1.2 Nikelin Kullanım Alanları	12
4.1.3 Nikelin Özellikleri	13
4.2 Nikel Kaplama Nedir	14
4.3 Krom.....	14
4.3.1 Kromun Özellikleri.....	15
4.3.2 Kromun Kaplama Metali Olarak Kullanımı	15
4.3.3 Kromun Elektrokimyasal Özellikleri	16
4.3.4 Elektrolitik Yöntemle Krom Kaplama	16
4.3.4.1 Elektrolitik ile İlgili Genel Tanımlar	16
4.3.4.1.1 Elektrolitik Birikimi Etkileyen Etkenler.....	17
4.3.4.1.1.1 Ortamın pH'ının Etkisi	17
4.3.4.1.1.2 Ortamın İletkenliği.....	17
4.3.4.1.1.3 Kaplanacak Metalin Türü	18
4.3.4.1.1.4 Akım Yoğunluğu	18
4.3.4.1.1.5 Sıcaklık	18
4.3.4.1.1.6 Karıştırma	18
4.4 Nikel Kaplama Banyoları	18
4.4.1 Watts Banyoları	19
4.4.1.1 En Önemli Wattts Banyo Bileşenleri.....	20

4.4.1.1.1 Nikel Sülfat	20
4.4.1.1.2 Nikel Klorür	20
4.4.1.1.3 Borik Asit	20
4.4.2 Tüm Klorürlü ve Yüksek Klorürlü Banyolar	20
4.4.3 Tüm Sülfatlı ve Yüksek Sülfatlı Banyolar	21
4.4.4 Nikel Sülfamat Banyoları	21
4.4.5 Tambur Kaplama Çözeltileri	21
4.5 Krom Kaplama Banyoları	21
5. FIRIN	24
5.1 Fırın Tarihi	24
5.2 Fırın Izgaraların Üretimi ve Meydana Gelen Hatalar	25
5.2.1 Fırın Izgara Üretimi	25
5.2.1.1 Tel Çekme	26
5.2.1.2 Tel Kesme	26
5.2.1.3 Tel Bükme	27
5.2.1.4 Tel Kaynak	27
5.3 Fırın Izgaralarında Meydana Gelen Hatalar	28
6. MATERYAL VE YÖNTEM	33
6.1 Materyal	33
6.1.1 Kalınlık Cihazı	36
6.2 Yöntem	37
6.2.1 Deneylerin Yapılışı	37
6.2.2 Sayısal Olarak Sonuçlar	39
6.2.3 Optimizasyon ve Analiz	55
6.2.4 Yüzey Yanıt Metodu ve Multi Non-Linear Regresyon	60
6.2.5 Amaç Fonksiyonu	62
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	64
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
9. KAYNAKLAR	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 Nikel Görseli ve Teknik Özellikler	10
Şekil 4.2 Nikelin Doğada Bulunduğu Yapılar	11
Şekil 4.3 Dünya Nikel Rezervleri Dağılım Grafiği	12
Şekil 4.4 Nikel Kullanım Alanları Dağılım Grafiği.....	13
Şekil 4.5 Krom Görseli ve Teknik Özellikler	14
Şekil 4.6 Krom Kaplama Örneği	15
Şekil 4.7 Kimi Elektrolitlerin Kondüktiviteilerinin Konsantrasyonla Değişimi	17
Şekil 5.1 Fırın Tipleri.....	25
Şekil 5.2 Fırın Izgara Tipleri.....	26
Şekil 5.3 Fırın Izgarası İçin Tel Çekme İşlemi	26
Şekil 5.4 Fırın Izgarası İçin Tel Kesme İşlemi	27
Şekil 5.5 Fırın Izgarası İçin Tel Bükme İşlemi	27
Şekil 5.6 Fırın Izgarası İçin Tel Kaynak İşlemi	28
Şekil 5.7 Fırın Izgaralarında Meydana Gelen Hatalar	28
Şekil 6.1 Krom Kaplama Prosesi	33
Şekil 6.2 Demanyetize İşlemi	33
Şekil 6.3 Izgaraların Askılara Asılması	34
Şekil 6.4 Sıcak Yağ Alma	34
Şekil 6.5 Nikel Krom Kaplama Tesisinin Otomasyon Bilgisi Sistemi	36
Şekil 6.6 Kalınlık Cihazı Ölçüm Metodu	36
Şekil 6.7 Kalınlık Ölçme Cihazı	37
Şekil 6.8 Parametre Bilgi Ekranı	38
Şekil 6.9 Kalınlık Ölçüm Raporu	38
Şekil 6.10 Nikel Kaplama Kalınlığı İçin Farklı Açıklayıcı Değişkenin birbirleri üzerinde etkileri.....	59
Şekil 6.11 Nikel Kaplama Kalınlığının Kaplama Süreleri ile İlişkisi.....	59
Şekil 6.12 Normal Yüzdelik Olasılık ve Harici Kalıntılar Grafiği	61
Şekil 6.13 Yarı Parlak Nikel Akımı ve Kaplama Süresinin Krom Kalınlığına Etkisi	61
Şekil 6.14 Yarı Parlak Nikel Banyosu Akımı ve Parlak Nikel Banyosu Akımı Krom Kalınlığına Etkisi.....	62

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Yüzey Hazırlama İşlemleri	9
Tablo 4.1 Düşük ve Yüksek Konsantrasyonlu Çözelti Özellikleri.....	22
Tablo 5.1 Yanıt Yüzey Yönteminin Kullanım Alanları	29
Tablo 6.1 1. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	39
Tablo 6.2 2. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	39
Tablo 6.3 3. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	40
Tablo 6.4 4. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	40
Tablo 6.5 5. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	41
Tablo 6.6 6. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	42
Tablo 6.7 7. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	42
Tablo 6.8 8. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	43
Tablo 6.9 9. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	43
Tablo 6.10 10. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	44
Tablo 6.11 11. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	44
Tablo 6.12 12. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	45
Tablo 6.13 13. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	46
Tablo 6.14 14. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	46
Tablo 6.15 15. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	47
Tablo 6.16 16. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	47
Tablo 6.17 17. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	48
Tablo 6.18 18. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	49
Tablo 6.19 19. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	49
Tablo 6.20 20. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	49
Tablo 6.21 21. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	50
Tablo 6.22 22. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	51
Tablo 6.23 23. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	51
Tablo 6.24 24. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	52
Tablo 6.25 25. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	53
Tablo 6.26 26. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları	53
Tablo 6.27 27. Izgaranın Kalınlık Kalınlık Deney Sonuçları.....	54
Tablo 6.28 27 Izgaranın Ortalama Sonuçları	55
Tablo 6.29 Central Composite'ye Dayalı Nikel Kaplama İçin Açıklayıcı Değişkenlerin Seviyeleri	57
Tablo 6.30 Deney Tasarımı	58
Tablo 7.1 Değişken girdileri ve çıkışlar	63

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

DKP	: Karbon Çelik Maddesi
ST37	: Karbonlu Çelik Kodu
Fe37	: Karbonlu Çelik Kodu
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
Ni/Cr	: Nikel/Krom
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	: X- Işını Analiz Cihazı
µm	: Mikronmetre
B	: Bor
Mo	: Molibden
Al-6061	: 6000 Serisi Alüminyum
YYY	: Yüzey Yanıt Yöntemi
CYM	: Cevap Yüzeyi Metodu
Fx	: Radyal Kesme Kuvveti
Fy	: İlerleme Kesme Kuvveti
Fz	: Teğetsel Kesme Kuvveti
AISI 4140	: Islah Çeliği Kodu
BBD	: Box-Behnken Tasarımı
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
vb	: Ve Benzeri
M.Ö	: Millattan Önce
FeO(OH)·nH₂O	: Limonit
(Ni, Mg)₃Si₂O₅(OH)	: Garnierit
(Ni, Fe)₉S₈	: Pentlandit
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
°K	: Kelvin
°C	: Santigrat

pH	: Potansiyel Hidrojen
G	: Gram
L	: Litre
SO₄	: Sülfat
H⁺	: Hidrojen İyonu
A	: Akım
dm²	: Desimetre Kare
CrO₃	: Krom Oksit
yy	: Yüz Yıl
mm	: Milimetre
AC	: Alternatif Akım
A	: Akım
H₂CrO₄	: Kromik Asit
dm²	: Desimetre Kare
CrO₃	: Krom Oksit

TEŞEKKÜR

Tez danışman hocam Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK'e, Arş. Gör. Mehmet Fatih KAHRAMAN'a, yaptığım bu çalışmada bilgi birikimi ve zamanını ayırdığı için Serkan Eriklili'ye, Mefa Endüstri Bolu İşletmesi İşletme Müdürü Volkan SOYSAL'a, kaplama hattı sorumlusu Filiz BİLGE'ye, Mefa Endüstri Bolu işletmesi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında yanımda olan, arkama baktığımda yüce bir dağ gibi desteğini hissettiğim sevgili ailem Mehmet DEMİR, Nilgöl DEMİR, Ahmet Tuğrul DEMİR ve Cansu DEMİR'e, her zaman desteğini aldığım ve hep yanımda olduğunu bildiğim, birlikte bir hayat kurmayı planladığım, çekirdek demir ailesine geleceği günü sabırsızlıkla beklediğim sevgili Aslıhan KARADAĞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

1. GİRİŞ

Metal kaplama, metal malzemeleri fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere karşı korumak amacıyla yapılır. Metal kaplamalarla parçaların korozyon ve aşınma direnci, sertlik ve elektrik iletkenliği artırılabilirdi gibi, parlak ve düzgün yüzeyler elde edilerek bu parçalara daha iyi bir dış görünüm de kazandırılabilir. Metal kaplama; elektrolitik, sıcak dalma, sıvı metal püskürtme, metal giydirme ve iyon implantasyon yöntemleriyle yapılır (Çakır, 1990).

Endüstride kullanılan parçalar başta krom olmak üzere alüminyum, bakır, kobalt, nikel, çinko, kadmiyum, kalay ve kurşun gibi saf metallerle ya da bunların alaşımları ile kaplanır. Krom kaplanan parçalar daha çok makina endüstrisinde kullanılır. Mühendislik ve dekoratif amaçlı olmak üzere ikiye ayrılan krom kaplama; kromun korozyon ve aşınma direnci ile sertliğinin yüksek, sürtünme katsayısının düşük olması nedenleriyle tercih edilir. Mühendislik amaçlı kaplamalara sert krom kaplama da denilir (James H. 1995).

Krom kaplama vakumda buharlaştırma, sıvı metal püskürtme, plazma ve elektrokaplama yöntemleri ile yapılır. Mühendislik amaçlı kaplamalarda düzgün olmayan köşelere sahip parçaların homojen olarak kaplanabilmesi için plazma yöntemi kullanılır, ancak bu yöntemle sert bir tabaka elde edilemez. Bu nedenle hem mühendislik, hem de dekoratif amaçlı kaplamalarda elektrokaplama yöntemi uygulanır. Ayrıca, ucuz ve kolay bulunan metallere üretilen ve yüzey özellikleri iyi olmayan parçalar da krom kaplanarak kullanım süreleri arttırılabilir. Nitekim krom kaplamak suretiyle bir piston segmanının ortalama kullanım ömrünün beş kat artırılabilirdiği belirlenmiştir.

Dekoratif amaçlı krom kaplamaların en önemli özelliklerinden biri, kaplama yüzeyinin parlak bir görünüme sahip olmasıdır. Ancak, dekoratif amaçlı krom tabakasının kalınlığı 0,13 ile 1,3 mikron arasında değişir. Bu kalınlık parça yüzeylerini korozyona ve aşınmaya karşı korumada yetersiz olabilir. Bu nedenle dekoratif amaçlı krom kaplamalarda bakır ve nikel kaplandıktan sonra krom kaplanırlar. Yani dekoratif amaçlı kaplamalar altta bakır, ortada nikel ve üste krom olmak üzere üç tabaka içerirler. Bakır ve nikel kaplama tabakaları korozyonu yavaşlatarak parçayı korurlar. Tesisat araç ve gereçleri, süs eşyaları ve bazı otomobil parçaları genelde dekoratif amaçlı krom kaplanırlar (Guffie, 1989).

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Gerede A.Y tarafından hazırlanan “Krom Kaplama Teknikleri” yüksek lisans çalışmasında, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğunun ST37 standartına uygun DKP saç parçalar üzerine yapılan sert krom kaplamaların yapı ve özelliklerine etkilerini incelemiştir. Sert krom kaplama deneyleri, üç değişik kromik asit konsantrasyonu ve konvansiyonel, anorganik katalizörlü ve organik katalizörlü olmak üzere üç farklı grupta yapmıştır. Akım yoğunluğunu sabit tutarak banyo sıcaklığının sert krom kaplama hızına ve akım verim yüzdesine olan etkisi araştırmıştır. Ayrıca sabit banyo sıcaklığında, farklı akım yoğunluklarının kaplama hızına ve akım verimine etkileri incelemiştir. Genel olarak tüm banyo tiplerinde sabit akım yoğunluğunda, banyo sıcaklığı yükseldikçe kaplama hızı ve akım verimi düşmekte, ancak sabit banyo sıcaklığında, akım yoğunluğunun artması ile kaplama hızında ve akım veriminde artış olduğunu tespit etmiştir (Gerede, 2003).

Alemdağ Y.İ tarafından hazırlanan “Akım Yoğunluğunun ve Sıcaklığın Dekoratif Amaçlı ve Sert Krom Kaplamaların Yapı ve Özelliklerine Etkisi” yüksek lisans çalışmasında, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğunun Fe37 standardına uygun çelik parçalar üzerine yapılan sert ve dekoratif amaçlı krom kaplamaların yapı ve özelliklerine etkileri incelemiştir. Krom kaplanan örnekler ile kaplanmayan örneklerin korozyon dirençleri karşılaştırmıştır. Gerek sert, gerekse dekoratif amaçlı krom kaplamalarda kaplama hızının artan banyo sıcaklığı ile belirli bir aralıkta azaldığı, artan akım yoğunluğu ile de doğru orantılı olarak arttığı tespit etmiştir. Sert krom kaplamaların genelde ince taneli olduğunu, ancak banyo sıcaklığının ve akım yoğunluğunun kaplamanın tane boyutu üzerinde fazla etkili olmadığı gözlemiştir. Dekoratif amaçlı kaplamalarda ise kaplamanın tane boyutunun sıcaklıkla fazla değişmediği, ancak artan akım yoğunluğu ile belirgin olarak azaldığı belirtmiştir. Ayrıca, sert ve dekoratif amaçlı krom kaplamalarda kaplama sertliğinin artan akım yoğunluğu ile arttığı, artan banyo sıcaklığı ile de azaldığı tespit etmiştir. Korozyon deneyleri sonucunda, krom kaplanan örneklerin kaplanmamış örneklere göre korozyona daha dayanıklı oldukları gözlemiştir. Ancak, dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin sert krom kaplanan örneklere göre korozyona daha dirençli oldukları görülmüştür (Alemdağ, 2000).

Erol İ. tarafından hazırlanan “Armatürlerde Ni/Cr Kaplama Kalınlığının Korozyon Dayanımına Etkisi” adlı yüksek lisans çalışmasında endüstriyel bir armatür elektrokimyasal kaplama tesisi banyo çözeltileri ve elektrokimyasal kaplama parametreleri kullanılarak, farklı nikel (3 μm , 7 μm , 11 μm) ve krom (0,1 μm , 0,3 μm , 0,5 μm) kalınlıklarının korozyon dayanımı üzerine etkisi. Kaplamaların yüzey morfoloji ve kompozisyonu için SEM/EDX, yüzey ıslanabilirliğini tespit etmek amacıyla temas açısı ölçümleri ve korozyon dirençlerini belirlemek amacıyla EIS analizleri yapmıştır. Kaplama yüzeyindeki kusurların nikel kalınlığının artışı ile birlikte azaldığı, buna bağlı olarak nikelin korozyon dayanımı üzerine kroma göre daha etkili olduğu görmüştür. En iyi korozyon dayanımı ise 11 μm Ni, 0,5 μm Cr kaplı örnek olduğu sonucuna varmıştır. Krom ve Nikel kaplama kalınlığına bağlı olarak yüzeylerin ıslanabilirlikleri arasında bir ilişki tespit edememiştir. Ayrıca kaplama işlemi öncesi uygulanan zımpara-polisaj operasyonunun yüzeyin ıslanabilirliği üzerine daha etkili olduğu belirtmiştir (Erol, 2019).

Serin İ.G. tarafından hazırlanan “Akımsız Ni – B – Mo Kaplamalarının Tribolojik ve Koroziyon Özelliklerinin İncelenmesi” adlı yüksek lisans çalışmasında akımsız nikel kaplamalar, otomotivden havacılığa, elektrik-elektronikten müzik enstrümanlarına geniş bir alanda yüksek korozyon dayanımı, yüksek aşınma dayanımı sağlamaktır. Ayrıca parçanın geometrisi ve ebatları etkilenmeksizin bütün yüzeylerde homojen kalınlıkta kaplama oluşturulabilmesi, istenilen kalınlıkların kontrol edilebilmesi, kaplama sertliğinin ilave metal ile değiştirilebilmesi, düşük işçilik maliyeti nedenleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ST-37 çeliği altlık malzemesinin değişik sıcaklıklarda tavlanmış olan hazırlanan parçalar ile sıcaklığın aşınma ve kaplamanın koroziyon özelliklerini nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Dayanımı ve ergime sıcaklığı yüksek özelliğe sahip olan molibdenin Nikel-Bor kaplamaların olumsuz veya olumlu özelliklerini ne yönde değiştirdiği irdelenmiştir (Serin, 2013).

Çiçek Ö. tarafında hazırlanan “Nikel Kaplama Banyolarında Titanyum Sepetlerin Davranışı” adlı yüksek lisans çalışmasında Watts Banyosu’nda yapılan nikel kaplama elektrolizinde, anot sepet malzemesi olarak tercih edilen titanyumun kaplama potansiyellerindeki davranışı araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Pozitif kutubun anot veriminin katot verimine oranla daha yüksek

olduğu elektrolitik nikel kaplama proseslerinde, kazanım banyosundan ve sıralı yıkama banyolarından elde edilen nikel kimyasalları daima nikel banyosunun ihtiyacı olan nikel ilavesinden daha yüksek olmasından dolayı, anot nikel çözünme veriminin en aza indirgenerek çevrime eklenen nikelle banyonun ihtiyacı olan nikelin nasıl dengelenebileceği belirlenmiştir (Çiçek Ö., 2006).

Yanıt yüzey yöntemi gıda bilimi ve teknolojisi alanlarındada birçok uygulama yeri kazanmıştır. Sistemin yanıtını etkileyen çok sayıda değişken bir arada ve eşzamanlı olarak incelenebilmekte, basit empirik modeller kullanarak sistem modellenebilmekte ve prosesin işlem parametrelerindeki değişime verdiği yanıt en az sayıda deneme yapılarak en iyi şekilde tanımlanabilmesi yanıt yüzey yöntemi sayesinde. Yanıt yüzey yönteminin gıda işlemede diğer optimizasyon seçenekleri içerisinde öne çıkmasının en önemli sebepleri içinde, çok çeşitli gıda üretim süreçlerinde başarıyla uygulanabilmesi ve çok fazla yanıt dikkate alınarak optimum noktanın belirlenmesine olanak sağlamasıdır (B. Koç, F.K. Ertekin, 2009).

F. Sönmez, H. Başak, Ş. Baday tarafında hazırlanan “Haddeme İşleminin Yüzey Yanıt Yöntemi İle Analizi” adlı makale çalışmasında Çeşitli imalat işlemleri uygulanan makine parçaları kullanılmadan önce sonlandırma operasyonlarına tabii tutulurlar. Bu çalışmada Al-6061 malzemesinden elde edilmiş olan dönel parçaların haddelenmesi sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Alüminyum malzemeler haddeme kuvveti, ilerleme hızı ve paso sayısı parametrelerine bağlı olarak haddelenmiş ve elde edilen sonuçlar yüzey yanıt yöntemi (YYY) ile değerlendirilmiştir. YYY ile haddeme parametrelerinin etkinlikleri araştırılmış ve lineer ve ikinci dereceden matematiksel modeller ile sonuçlar ortaya konmuştur. Oluşturulan model ile yapılan tahminlerin deney sonuçları ile tutarlılığı ve optimum deney parametreleri incelenmiştir. Deney sonuçları kullanılarak oluşturulan ikinci derecedeki modelin tahmin ettiği değerler incelenmiştir. Oluşturulan modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek deney değerleri karşılaştırıldığında R2 değeri 0,891 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak YYY ile oluşturulan model ile gerçek değerlere yakın tahminlerin elde edilebileceği ortaya konmuştur (F. Sönmez, 2016).

H. Akçay tarafında hazırlanan “Yanıt Yüzeyi Yöntemi İle Çok Yanıtlı Süreç Performansının En iyilemesi” adlı doktora tezi çalışmasında bir jant üretim firmasında jant üretim kalitesini artırmak için sürece ilişkin kalite

karakteristiklerini etkileyen parametrelerin düzeylerine ilişkin en iyi değerler bulmuştur. Deney planı yapılırken; Yanıt yüzeyi yöntemi merkezi birleşik tasarımı kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçları kullanılarak süreci tariflemek için ikinci dereceden fonksiyonlar oluşturulmuş ve fonksiyon parametreleri tahmin edilmiştir. Jant kalitesine ilişkin dokuz karakteristik için eşzamanlı en iyileme yapılırken, çözüm uzayının yapısına bağlı olarak literatürdeki çok amaçlı karar verme teknikleri incelenmiş, “Çekicilik Fonksiyonu”, “Hedef Programlama”, “Bulanık Mantık Teknikleri” ve daha önce çoklu yanıt yüzeyi yöntemi eniyileme aşamasında kullanılmayan “Doğrusal Fiziksel Programlama” yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada teorik olarak elde edilen çözüm sonuçlarına ilişkin doğrulama deneylerine de yer verilmiştir (H. Akçay 2014).

S. Neşeli, İ. Asiltürk, S. Yıldız, H. Sağlam tarafında hazırlanan “Tornalama İşleminde Cevap Yüzey Metodu ile Kesme Kuvvetlerinin Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Modellenmesi” adlı makale çalışmasında tornalama operasyonu için Cevap Yüzey Metodu (CYM) ile kesme parametrelerine bağlı olarak radyal (F_x), ilerleme (F_y) ve teğetsel (F_z) kesme kuvvetlerinin modellenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği kullanılarak L27 (313) Taguchi ortogonal deney tasarımı ile 27 deney gerçekleştirilmiştir. Kuru kesme şartlarında AISI 4140 çelik numuneler, karpit uçlar kullanılarak silindirik dış yüzey tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetlerindeki değişimin gerçek zamanlı olarak bilgisayar ortamına kaydedilmesi için MATLAB yazılımı ile geliştirilen özel bir program kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre CYM tahmin modeli Minitab 15 yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Deney ve tahmin modellerinden elde edilen verilerin karşılaştırılması kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar göstermiştir. Kesme parametrelerinin radyal, ilerleme ve teğetsel kuvvetler üzerindeki etkileri ise ANOVA kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre kesme derinliğinin tüm kesme kuvvetleri bileşenleri üzerinde en etkin parametre olduğu tespit edilmiştir (S. Yıldız, 2012).

M.F. Karaman, S. Öztürk tarafından hazırlanan “Tepki yüzeyi optimizasyonu ve Monte Carlo simülasyonu dikkate alınarak yeni yapısal tasarımlı taşıma taşının deneysel çalışması” adlı makale çalışmasında taşıma işlemi, kırılğan ve sert malzemelerdeki yapıların işlenmesi sırasında büyük bir

avantaja sahiptir. Bu durumda, yeni taşlama taşı - taşlamanın kesme yüzeyi - yapısal olarak yeniden tasarlandı, bu da her boyutta taşlama aletinin üretilmesine ve uygulanmasına olanak sağladı. Bu yeni tasarlanmış taşlama taşı ile sert-kırılgan malzemelerin taşlanması sırasında tane boyutu, tane konsantrasyonu ve bağ tipi ile çalışma parametrelerinin malzeme kaldırma mekanizmaları üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu nedenle, operasyonun üretkenliği, kalitesi ve maliyet yönü üzerinde iyi bir kontrole sahip olmak için taşlama operasyonunun parametreleri ile doğru bir şekilde optimize edilmesi bir zorunluluk haline geliyor. Ayrıca, üç yaklaşımı kullanarak öğütme işleminin modellemesini ve optimizasyonunu göstermek. Öncelikle, Yüzey pürüzlülüğüne dayalı proses modelini belirlemek için Box-Behnken tasarımına (BBD) dayalı çoklu doğrusal olmayan regresyon (MNLR) kullanıldı. Daha sonra öğütme parametreleri yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) dikkate alınarak optimize edilmiştir. Son olarak Monte Carlo simülasyonları, yüzey pürüzlülüğünde deterministik yollarla yakalanması mümkün olmayan belirsizliklerin belirlenmesinde oldukça etkili bulunmuştur (M.F. Karaman, 2019).

S. Öztürk, M.F. Karaman tarafında hazırlanan “Monte Carlo simülasyonuna dayalı yanıt yüzeyi metodolojisi ve olasılıksal belirsizlik analizi kullanılarak düz camın taşlanması sırasında işleme parametrelerinin modellenmesi ve optimizasyonu” adlı makale çalışmasında elmas taşlama taşlarının performansı araştırılmıştır. 140/170 ağ boyutunda endüstriyel elmas kristalleri kullanıldı. Taşlama takımının mikro yapısı, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını Analiz Cihazı (EDX) kullanılarak gözlemlendi. Deneyler Box-Behnken yöntemi kullanılarak tasarlanmış ve cam için optimum öğütme parametreleri analitik olarak belirlenmiştir. Düz cam fabrikasında yüzey taşlama makinesinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Taşlama özellikleri yüzey pürüzlülüğüne göre incelenmiştir. Öğütme parametresinin çıktı tepkileri üzerindeki etkileri, varyans analizi (ANOVA) kullanılarak incelenmiştir. Olasılıksal belirsizlik analizi Monte Carlo simülasyonuna dayalı olarak uygulanmıştır. Ayrıca optimize edilmiş kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneylerden sonra, taşlama disklerinin mikro yapısı analiz edildi. (S. Öztürk, 2019).

3. YÜZEY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ

Gelişen günümüz teknolojilerinin hızlı bir şekilde değişmesi neticesinde ve günden güne zorlaşan çalışma şartlarında kullanılan makine parçaları ve kullanılan metaryellerinin özellikle korozyon, aşınma, oksidasyon, yorulma ve yüksek sıcaklığa dayanım v.b. gibi konularında istenilen özellikleri sağlayamamaktadır. Kullanılan yer bakımından farklı sorunlara maruz kalması sebebiyle metal ve alaşımları ile beraber kullanımı fikri ortaya çıkmıştır. Bu sentez, alaşım veya metalden yapılmış bir taban malzeme yüzeyine ince ve koruyucu değeri yüksek bir tabaka oluşturmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma koşullarının etkisinde metalik malzemelerin kimyasal yapıları ve fiziksel özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Üretilen parçanın kalitesini ve ömrünü uzatmak, çalışma koşullarının olumsuz etkilerini azaltmak ve bir takım mekanik özelliklerini istenilen seviyelere yükseltmek amacıyla çeşitli metalik ve metalik olmayan kaplama yöntemleri bulunmuştur.

Özellikle mühendislikte kullanılan malzemelerin yüksek dayanıma sahip olması ve maruz kaldığı yükleri taşıması beklenmektedir. Bu tür özellikler malzemenin kendisi ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca, malzemeler daha verimli olarak kullanılabilmek için bir takım yüzey özellikleri de istenmektedir. Özetle istenilen özellikleri(mekanik+yüzey) bir tek malzemede bulmak ya çok zor, ya da çok pahalı olmaktadır. Bundan dolayı mühendislikte kullanılan çeşitli malzemelerinin tercih edilmesi ve farkı yüzey özelliklerinin ise yüzey kaplamala yöntemleriyle en uygun ve yaygın olan çözümdür (Hüseyin Ş. Soykan & Yılmaz Karakaş, 2006).

3.1 Kaplama Öncesi Yüzey Hazırlama ve Elektrolitik Metal Kaplama

Genel olarak elektrolitik metal kaplama, metalik veya metalik olmayan bir malzeme yüzeyine elektrokimyasal yöntemler kullanılarak malzemelerin yüzeyine metalik ince bir tabaka film tabakası meydana getirilmektedir. Günümüzde kullandığımız birçok üründe elektrolitik yöntemler kullanılarak yüzeyi kaplanmış malzemeler kullanılmaktadır. Elektrolitik kaplama, günümüzde çeşitli endüstri alanlarında önemli bir prosestir. Nedeni ise elektrolitik kaplama ile elde edilen yüzey özelliklerini diğer yöntemlerle elde etmek zor, yüksek maliyetli ya da mümkün değildir. Özellikle aşınmaya ve korozyona karşı gösterdiği dirençten dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir. Metallerin kaplanmasıdaki nedenler içinde fiziksel ve kimyasal özellikleri ile görüntüsünü korumak ve hatta

iyileştirmek gibi istekler yer almaktadır. Genel prensip çelik parçaların üzerine belirli özelliklerde ince bir metalik film tabakası oluşturmaktır. Çeliklerin çeşitli metallerle kaplanmasında birçok neden söz konusu olmaktadır. Bunlar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Korozyon dayanımı arttırmak,
2. Güzel görünmesi,
3. Daha iyi aşınma direnci ve daha yüksek sertlik,
4. Kaynak ve lehimlenebilme kabiliyetini iyileştirmek,
5. Isıl işlemde kısa süreli duraklamaya etki etmek,
6. Bir sonraki operasyonların daha iyi yapılabilmesi,
7. Hava ortamında paslanmayı engellemek,
8. Yüksek elektrik iletkenliği,
9. Dekoratif özellik ve yağlayıcı özelliği sağlamak,
10. Atmosferik ortamda ve düşük veya yüksek sıcaklıkta oksitlenmeyi engellemek
11. Sülfürlü bileşikler, asit, tuz ya da bazlardan yüksek sıcaklıklarda dahi etkilenmeyi engellemek,
12. Süsleme amacıyla altın görseli yapmak.

Elektrolitik kaplama mühendislik hizmetlerine kolaylık ve güvenlik getirmiştir. Elektrolitik kaplama, korozyon ve aşınmaya karşı daha iyi korumayı temin etmesi yanında, düşük maliyeti, her türlü zevk ve stile hitap edebilmesi gibi nedenlerle yaygın kullanılan bir uygulama olmuştur (Hüseyin Ş. Soykan & Yılmaz Karakaş, 2006).

3.1.1 Yüzeyi Kaplamaya Hazırlayan Ön İşlemler

Zayıf bir kaplama mükemmel bir ön işlemler idare edebilir, fakat mükemmel bir kaplamayı zayıf bir ön işlemle kullanmak mümkün değildir. Gelişen teknolojiyle desteklenen kaplama proseslerinde artık performans yükünün ağırlığı ön işleme doğru kaymış bulunmaktadır. Kaplamanın esas metale iyi yapışabilmesi için ana metalin son derece temiz olması, yüzeyin herhangi bir film veya oksit tabakası içermemesi gerekmektedir (Hüseyin Ş. Soykan & Yılmaz Karakaş, 2006).

Tablo 3.1’de yüzey hazırlama işlemlerinin metod sınıflandırılması yapılmıştır.

Tablo 3.1 Yüzey Hazırlama İşlemleri

I)Yağ Gibi Kirliliklerin Uzaklaştırılması	II)Metal Artık ve Pullarının (tufal) vb. uzaklaştırılması
Islatmak suretiyle temizleme	Mekanik işlemle temizlenmesi (polisaj)
Püskürtme ile temizleme	Alkalen temizleme
Solvent ile yağ giderme	Asidik temizleme
Elektrolitik alkali temizleme	
Ultrasonik temizleme	
Parçaların birlikte temizlenmesi	

4. NİKEL + KROM KAPLAMA

4.1 Nikelin Tarihçesi

Nikelin geçmişi M.Ö 20 yılına kadar dayandığı bilinmektedir. Ayrıca bir takım uzak doğu dokümanlarında, beyaz nikelin Doğu'da M.Ö 1400-1600 yıllarında kullanıldığı anlatılmaktadır. Fakat gümüş ile nikel benzerliğinden dolayı kullanıldığı kesin olamakla birlikte netlike kazanmamıştır (Baltacı, 2017).

Nikelin saf hali ve teknik özellikleri Şekil 4,1'de gösterildiği gibi olup sağlamlığından dolayı kullanılır. Kimyasal etkenlerden (pas) ve hava değişikliklerinden etkilenmez. Bu özelliklerinden dolayı nikel, birçok alaşım türünün yapımında istenilen ve aranan bir elemandır. Alaşım gruplarından bazılarında yüksek oranda nikel bulunur (ferronikel, Nikrom). Bu alaşımlar genişliği az, yüksek ısıya dayanıklı ve deniz suyundan etkilenmez. Bazı alaşımlar da çelik esasına dayandırılır. İçerisinde Nikel-krom barındıran çelikler, hiç paslanma yani oksitlenmediklerinden, sanayi ve pek çok alanda kullanılır (Baltacı, 2017).

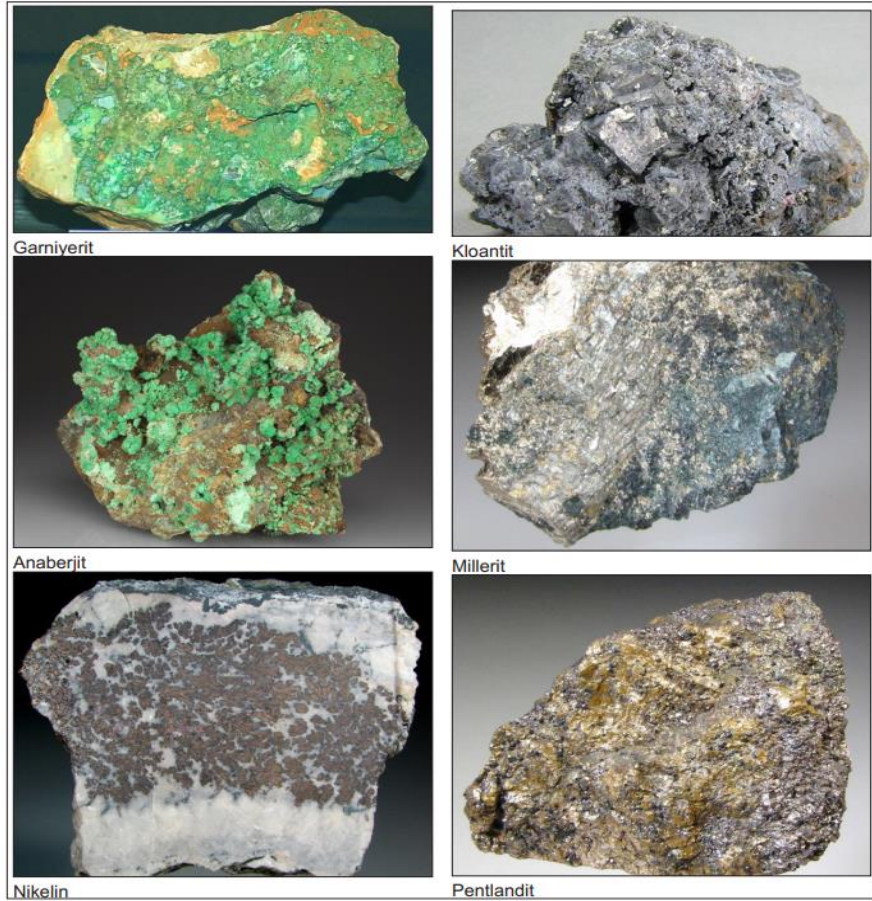


Şekil 4.1 Nikel Görseli ve Teknik Özellikleri (www.ogreniyo.com.tr/nikel).

Minerallerden nikel içerenler cama yeşil renk vermesinde rol oynadığı için kullanılır. 1751 yılında Axel Fredrik Cronstedt ilk olarak nikeli keşfeden bilim insanıdır. 1751'de, Baron Axel Fredrik Cronstedt bakırı nikolitten ayırmaya çalışırken, nikeli elde etti. Özelliklerinden dolayı saf nikelden imal edilmiş olan madeni paralar ise ilk olarak 1881'de İsviçre'de üretildi (Baltacı, 2017).

4.1.1 Nikelin Oluşumu

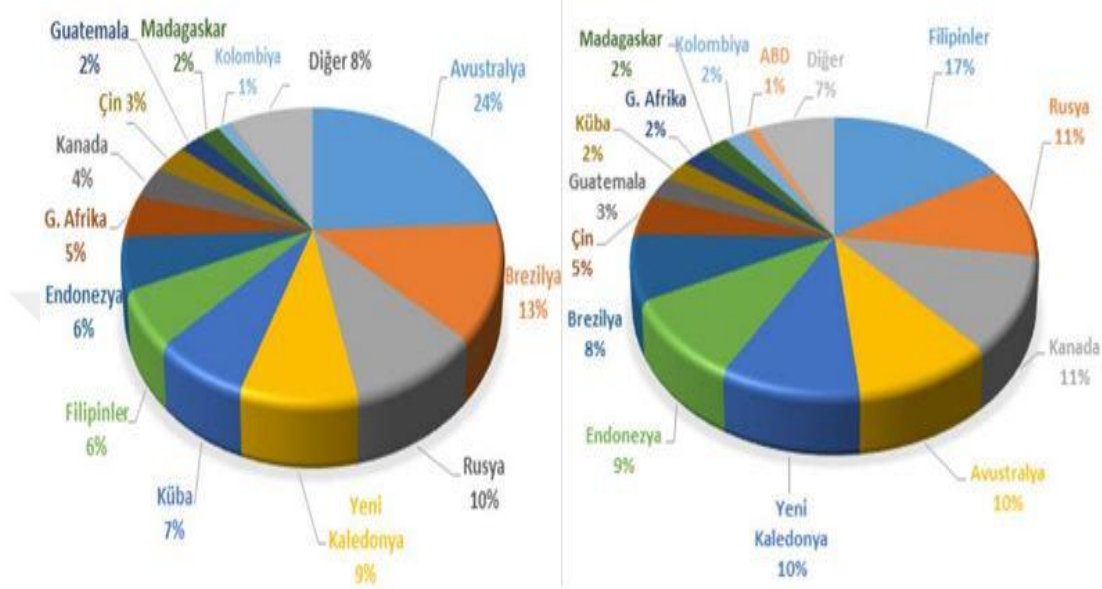
Nikel temel olarak iki tür maden yataklığından elde edilir. Birincisi, temel minerallerin limonit $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ve garnierit $(\text{Ni}, \text{Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$ olan lateritik yataklardır. İkincisi ise, ana minerali pentlandit $(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$ olan magmatik sülfür yataklardır.



Şekil 4.2 Nikelin Doğada Bulunduğu Yapılar (MTA, Dünyada ve Türkiye’de Nikel, Ekim 2018).

Kanada’da bulunan Sudbury bölgesi günümüzde Dünya nikel imalatının %30’unu yapmaktadır. Sadbury cevher yatağının, ilk jeolojik zamanlarda Dünya’ya vurmuş olan büyük bir meteorun sonucu olduğu tahmin edilmektedir. Nikelin doğada bulunduğu yapılar Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Şekil 4.3’de Dünya nikel rezervleri dağılım grafiği ve dünya nikel üretimi gösterilmiştir. Günümüzde toplam nikel rezervinin %40’ı ise Rusya’ nın Norilsk bölgesinde yer almaktadır. Bu bölgedeki yataklar, rus madencilik firması MMC Norilsk Nickel tarafından işletilerek Dünya pazarına sunulmaktadır. Diğer büyük nikel yatakları ise Fransa

(New Caledonia), Avustralya, Küba ve Endonezya'dadır. Tropikal bölgelerdeki yatakların çoğu, ultramafik kayaçların yoğun yağışlarla yıkanmasıyla ortaya çıkan ikinci bir konsantre olan lateritik yataklardır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucu, Türkiye' nin batısında bulunan nikel yatağının Avrupa'daki tesisler için uygun özellikte olduğu tespit edilmiştir (Akgök, 2018).



Şekil 4.3 a) Dünya Nikel Rezervleri Dağılım Grafiği b) Dünya Nikel Üretimi (2016) Dağılım Grafiği (MTA, Dünyada ve Türkiye’de Nikel, Ekim 2018).

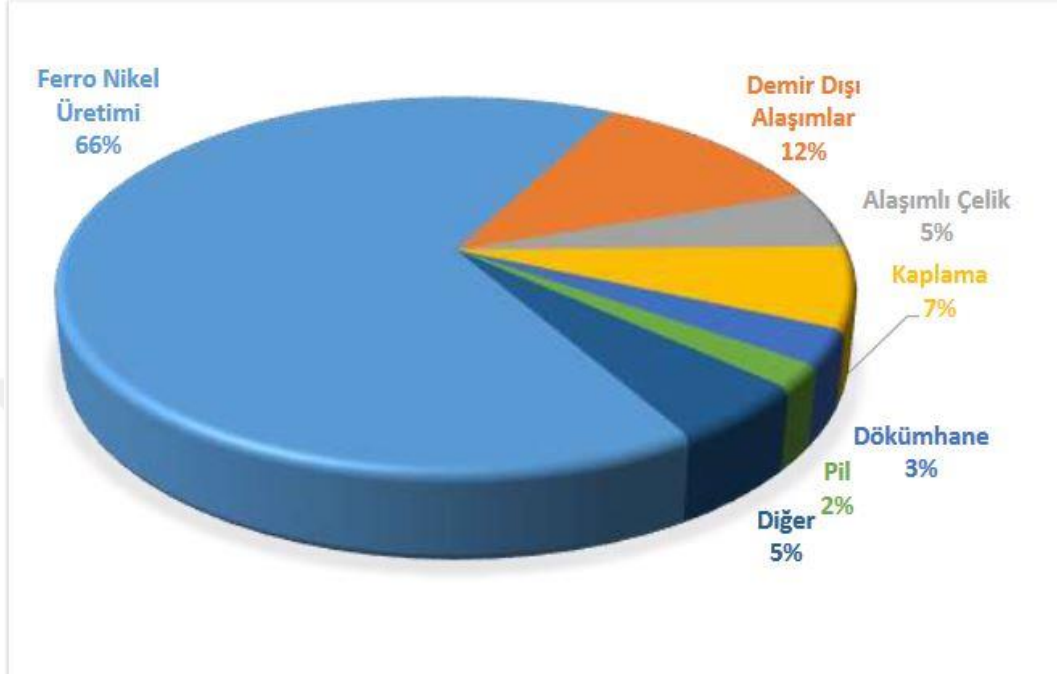
4.1.2 Nikelin Kullanım Alanları

Nikel mıknatıs, paslanmaz çelik, özel alaşımlar ve madeni para gibi birçok endüstriyel ve son kullanıcı ürünlerinde kullanılmaktadır. Hatta cam malzemelere yeşil renk vermek istendiğinde de kullanılmaktadır. Her şeyden önce nikel bir alaşım metalidir. Bu sebeple alaşım olarak kullanım alanı geniştir. Bu alaşımlar örneğin krom, bakır, kurşun, alüminyum, altın, gümüş ve kobalt ile kullanılan başlıca önemli alaşımlardır.

Nikel ayrıca madeni paraların imalatında ve dekoratif gümüş yerine tercih edilmektedir. Örneğin ABD’de kullanılan beş sentlik madeni paraların %75’i Bakır elementini içermektedir. 1922-1981 yılları arasında imalatı yapılan Kanada madeni parasının %99,9 nikel elementi bulundurmaktaydı ve manyetik yapıya sahipti (Akgök, 2018).

Nikel (III) oksit ise birçok nikel- kadmiyum, nikel- demir ve nikel- metal hidrit şarj edilebilir pilde katot olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak bakıldığında Şekil 4.4’de görüldüğü gibi üretilen nikelin büyük miktarı paslanmaz çelik (ferro nikel) yapımında, kalan kısmı demir dışı alaşımlar, alaşımlı çelik, kaplama, dökümhane ve pil üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 4.4 Nikel Kullanım Alanları Dağılım Grafiği (MTA, Dünyada ve Türkiye’de Nikel, Ekim 2018).

4.1.3 Nikelin Özellikleri

Nikel beyaz – gümüş renkli bir metal elementidir. Yeterince sert olup, periyodik cetvelde geçiş metal elementleri arasındadır. Çoğunlukla pentlandit içinde sülfür ve demir ile, milerit içinde sülfür ile, nikelinin içinde arsenik ile birlikte görünür.

Nikelin havaya karşı gösterdiği oksitlenme direnci sayesinde; madeni para imalatında, kimyasal araç ve gereçlerin üretiminde ve Alman Gümüşü gibi birçok çeşit alaşımın imalatında kullanılmaktadır.

Nikel elementi doğada yaygın olarak kobalt elementi ile birlikte bulunmaktadır. Alaşımlar (özellikle süper alaşımlar) ve paslanmaz çelik imalatında önem arz etmektedir. Bunun yanında nikel elementinin doğal bir özelliği sayesinde manyetik bir alan içinde bir miktar boyut değiştirme yeteneğine sahiptir. Bu değişim nikelde negatif yöndedir.

4.2 Nikel Kaplama Nedir

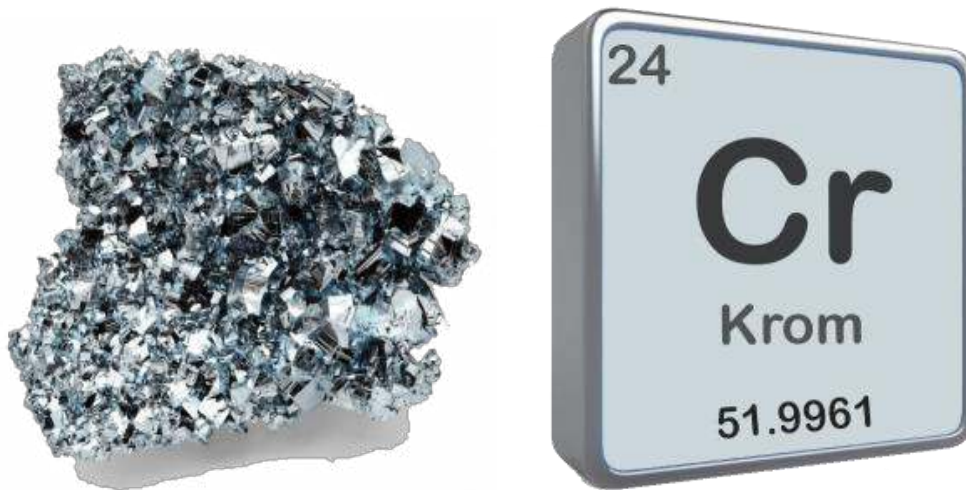
Film gibi bir nikel tabakasını altta bulunan herhangi metal parçanın üzerine biriktiren yüzey kaplama işlemine nikel kaplama denir. Nikel kaplamanın faydalarından birkaçı pas veya korozyon oluşumuna gösterdiği yüksek direnç, aşınmaya karşı gösterdiği yüksek direnç, geliştirilmiş süneklik ve dayanıklılıktır. Nikel kaplama, genellikle kapı menteşeleri, armatürler, fırın içi ızgaralar, musluklar ve ekmek kızartma makineleri gibi ev kullanımı için donanımlarda bulunmaktadır. Havacılık ve uzay sanayi, otomotiv ve askeri parçaları korozyon etkisinden korumak için kullanılan yüzey kaplama seçeneklerinden biridir.

4.3 Krom

Periyodik sistemin 5. periyot 6B grubunda bulunan, atom numarası 24, iyi parlatılabilen, sert ve çelik grisi renge sahip metal elemettir. 1797 yılında Fransız kimyacı Louis Nicolas Vauquelin tarafından saf olarak elde edilmiştir. Saf olarak elde edilmeden önce de cevherleri yaygın kullanım alanına sahipti.

Krom çok renkli bileşikler oluşturmasıyla bilinir; zümrüte, serpentine (yılantaşı) ve kromlu mikaya yeşil rengini, yakuta ise kırmızı rengini veren madde kromdur.

Krom sözcüğü Fransızca, “chrome (bir element)” sözcüğünden alıntıdır. (İlk kullanımı: 1797 Nicolas-Louis Vauquelin, Fr. kimyacı (1763-1829).) Fransızca sözcük, Latince “chroma (renk)” sözcüğünden gelmektedir.



Şekil 4.5 Krom Görseli ve Teknik Özellikler (www.ogreniyo.com.tr/krom).

4.3.1 Kromun Özellikleri

Krom elementi, gri renkli ve sert bir metal elementi olup, çok iyi parlatma işlemi yapıldığında mavimsi bir renk aldığı görülür. Özgül ağırlığı $7,1 \text{ kg/dm}^3$ dür. Yaygın olarak 3 veya 6 bağ yapar. Koruyucu bir oksit tabakası oluşturduğu için, normal şartlarda atmosfer koşullarında korozyona uğramaz.

Erime Noktası : 2180°K , 1907°C

Kaynama Noktası : 2944°K , 2671°C

Elektron Dizilimi : $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$

4.3.2 Kromun Kaplama Metali Olarak Kullanımı

Krom kaplamanın ticari boyut kazanması 1930' lara dayanmaktadır. Bugüne kadar krom kaplama kullanımı çok hızlı bir şekilde artmıştır. Kullanım alanı olarak 3 ana başlık altında toplanabilir: (1) Şekil 4.6'da gösterildiği gibi yaygın olarak, nikel kaplama üzerine yapılan, süs, dekoratif amaçlı, kararmayan ve parlak kaplama elde etmek için, (2) Aşınmış metal yüzeyleri, metal işleme takımları veya döküm yüzeyleri gibi çok sert olması gerekli yüzeylerin kaplanması için, (3) Özellikle motor silindirlerinin iç yüzeyleri, mil yatakları gibi, aşınmaya maruz kalan ve bu nedenle sert ve gözenekli yapıda olması gereken yüzeylerde. Gözenekli yapı yağın gözeneklerde tutunup motor ömrünün uzun olmasını sağlar (Baltacı, 2017).



Şekil 4.6 Krom Kaplama Örneği (<http://www.tarantogalvano.com/krom-kaplamalar-ve-ozellikleri-3>, 2020)

4.3.3 Kromun Elektrokimyasal Özellikleri

Teorik olarak, eğer krom 3 değerlikli (trivalent) formunda bulunuyorsa, %100 katot veriminde 1 amper-saat enerji sarfıyatı ile 0,647 gram krom kaplamak mümkündür. Eğer krom 6 değerlikli (heksavalent) formunda bulunuyorsa, aynı şartlarda 0,323 gram krom kaplamak mümkündür. Bununla birlikte çoğu ticari işletmede 3 değerlikli krom banyoları ve ticari banyolar kullanılarak krom kaplama yapılmaktadır.

Ne yazık ki 6 değerlikli krom kaplama banyolarının katot verimi oldukça düşük olup, bu değer ortalama olarak %14 civarında, bazen %27'ye kadar çıktığı görülmekte veya %12 ya da daha da alt seviyelere kadar düştüğü görülmüştür. Bu değişkenliğin sebebi, krom elementinin elektrokimyasal serideki konumundan kaynaklıdır. Hidrojen elementi krom elementinin üzerinde yer aldığından dolayı, krom elementiyle beraber belli bir oranda da hidrojen elementi kaplanmış olur. Bu sebepten dolayı krom kaplama verimliliğinin düşmesine neden olur. Meydana gelen şiddetli gaz kabarcıklarının oluşumuna neden olan bu durumun etkileri, krom kaplama yüzeyinde görülmektedir.

4.3.4 Elektrolitik Yöntemle Krom Kaplama

4.3.4.1 Elektrolitik ile İlgili Genel Tanımlar

Bir sistemin elektrik iletkenliği; elektrik alanının etkisi altındaki elektrik yüklerinin geçişini sağlama özelliğidir. Belirli bir yüke sahip olan atom veya atom gurubuna iyon; belirli bir pozitif yüke sahip olan atom ya da atom gurubuna katyon; belirli bir negatif yüke sahip olan atom veya atom gurubuna anyon denir. Elektrik iletkenliğine sahip olan her faza iletken denir. İletkende hareket eden yükler sadece elektronlar olduğunda bu tür, iletkenlere birinci sınıftan ya da elektronik iletken denir. Saf metaller bu sınıfa girer. İletkende hareket eden yükler sadece anyon ve katyonlar olduğunda bu tür iletkenlere ikinci sınıftan ya da iyonik iletken denir. Katı, sıvı yada çözelti halinde ikinci sınıftan bir iletkenlik gösteren saf cisimlere elektrolit denir. İletkende hareket eden elektrik yüklerinin bir kısmı elektron, bir kısmıda iyon ise bu tür iletkenlere de karışık iletken denir. Bazı metalik oksit ve tuzlar kristal halinde karışık iletkenlerdir.

4.3.4.1.1 Elektrolitik Birikimi Etkileyen Etkenler

4.3.4.1.1.1 Ortam pH'nın Etkisi

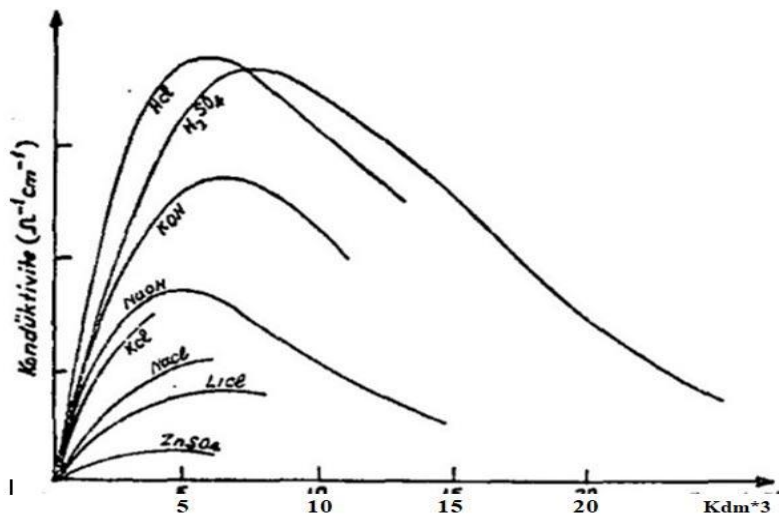
Anodik birikim için pH normal olarak 8,5 dolayındadır. Katodik birikim için ise 4,5 ile 6,5 arasında değişir. Her iki tip birikimde de elektrodların yüzeyinde H^+ ve OH^- iyonları oluşur, ve bu iyonlardan yalnız birisi birikim için kullanıldığından, diğeri çözeltide kalacak ve OH^- 'in değişimini sağlayacaktır. Anodik birikim sırasında OH^- değerindeki artış birikimin (Coulombic) verimini düşürecek ve çözeltideki reçinenin kimyasal yapısını etkileyecektir (ester gruplarının hidrolizi gibi).

Elektrolitik birikim işleminde pH kontrolü iki yolla gerçekleştirilebilir.

- 1-Hücre bölücülerinin kullanılması ya da
- 2-Elektrolitik birikim tankının daha az alkali reçine ile yeniden doldurulması (İkinci yöntem A.B.D' de birincisi ise Avrupa ülkelerinde daha yaygın olarak uygulanmaktadır).

4.3.4.1.1.2 Ortamın İletkenliği

Elektrolitik birikimde kullanılan çözeltilerin iletkenliği 500-3000 mho arasında değişir. Bu değerler büyük oranda reçinenin nötralizasyon derecesine bağlıdır. Düşük iletkenlik değerleri sert kaplama eldesine sebep olur. Çünkü elektrik akımına karşı gösterilen direnç ısıya dönüşüne sebep olacaktır. Bununla beraber artan iyonik hareketle süresizlikler arz eden kaba kristal yapıya sahip bir kaplama yapısı elde edilir (Temelkuran, 1997).



Şekil 4.7 Kimi Elektrolitlerin Kondüktivite (Ω⁻¹cm⁻¹) ile Konsantrasyonla Değişimi (Temelkuran, 1997).

4.3.4.1.1.3 Kaplanacak Metalin Türü

Uygulamada elektrolitik birikimde kullanılacak metallerin çoğuna kaplamadan önce bir ön işlem uygulanır. (Korozyona karşı direnci arttırmak amacıyla). Bu ön birikim sırasında boya ile karışıp kaplamanın istenen nitelikte olmamasına neden olabilir, bu yüzden ön işlem için kullanılacak maddelerin elektrodun yapısına uygun biçimde seçilmesine özen gösterilmelidir (Temelkuran, 1997).

4.3.4.1.1.4 Akım Yoğunluğu

Genel olarak, metal parça üzerine kaplama yapılabilmesi için minimum bir akım yoğunluğuna ulaşma gereği vardır.

Uygulamada yüksek akım yoğunluğu kullanılır, düşük akım yoğunluğu (suyun varlığı nedeniyle) yumuşak ve istenmeyen tür kaplama elde edilmesine neden olmaktadır. Bunun yanında akım yoğunluğu çok yüksekse aşırı ısı ve gaz çıkışına sebep olacaktır. Bunun sonucunda ise kaplamanın filminin kırılmasına neden olacaktır (Temelkuran, 1997).

4.3.4.1.1.5 Sıcaklık

Bir çok elektrolitik kaplama normal sıcaklıkta (oda sıcaklığı, ya da çok az altında) gerçekleştirilir. Fakat, birikim sırasında ısı çıkışı olur, bunun ise kontrolü gerekmektedir. Bu durum özellikle sürekli işlemler için daha geçerlidir. Uygulamada elektrolitik kaplama tankları soğutma birimlerini içerir (Temelkuran, 1997).

4.3.3.1.1.6 Karıştırma

Bir çok elektrolitik birikim sistemleri İçerisinde dağıtılmış pigmentli reçinelerden oluştuğundan bu dağılımın dibe çökmesini önlemek amacı ile sürekli karıştırılması gerekir, buna karşın (boyanın çökme hızını da etkilemesi nedeniyle) karıştırma hızının kontrol edilmesi de gereklidir.

Bu yüzden aşın karıştırma (reçinenin elektrot yüzeyinde tutunamamasını sağlayacağından) birikim hızını düşürecektir.

Metal yüzeyinde boyanın elektrolitik birikimi sırasında belirli değişkenlerin saptanması gerekir, bunlar ise aşağıdaki gibi özetlenebilir (Temelkuran, 1997).

4.4 Nikel Kaplama Banyoları

Günümüzde en çok tercih edilen kaplama banyosu Oliver P. Watts ın 1916 yılında geliştirdiği ve onun adıyla kullanılan “Watts” banyosudur. Watts

elektrolitinin temel bileşimleri nikel klorür, boric asit ve nikel sülfattır. Parça üzerinde çukur yani oyuklanmayı engellemek amacıyla bir takım organik maddeler de çözeltiye ilave edilmektedir.

Nikel sülfat ile klorür içermeyen banyolar arasında sülfamat ve fluoborat banyoları bulunmaktadır. Nikel sülfamatlı banyolar yüksek kaplama hızları ve düşük iç gerilimli kaplama yapılmak istenildiğinde ilk tercih olmakla birlikte, kolay şekil verilebilmesi ve az gerilimli olması istenildiğinde fluoboratlı banyolar elde edilecek kaplamaya uygulanmaktadır (Çicek, 2006).

Nikel kaplama banyoları banyo bileşimine göre,

1. Watt banyoları
2. Tüm klorürlü banyolar
3. Tüm sülfatlı banyolar
4. Parlak nikel kaplama banyoları
5. Nikel sülfamat banyoları
6. Tambur kaplama, siyah kaplama, plastik üzerine kaplama gibi özel amaçlı banyolar şeklinde sınıflandırılabilir.

Amaca yönelik olarak ise,

1. Dekoratif kaplama
2. Korozyon direnci arttırılmış dekoratif kaplamalar
3. Mühendislik kaplamaları olarak sınıflandırabiliriz.

4.4.1 Watts Banyoları

Günümüzde endüstride kullanılan Watts Banyo'larının bileşimleri aşağıdaki gibidir.

Nikel sülfat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) = 150-400 g/l

Nikel klorür veya sodyum klorür = 20-80, 10 – 40 g/l

Boric asit = 15 – 50 g/l

Watts banyo kullanım şartları ve özellikle bakır, çinko ve demir esaslı alaşımları bulundukları ortamın etkisinden korumak için yapılan nikel kaplamalar bu tip banyolardan elde edilmektedir. Watt banyolarında mühendislik amacı ile sert nikel kaplama yapılabildiği gibi çözeltiye ilave edilen değişik katkı maddeleriyle dekoratif amaçlı, parlak, yarı parlak kaplamalar da elde edilmektedir.

Watts banyo bileşenlerinden en önemli elementleri borik asit, nikel sülfat ve nikel klorürdür. (Çicek, 2006).

4.4.1.1 En Önemli Watts Banyo Bileşenleri

4.4.1.1.1 Nikel Sülfat

Su içerisinde yüksek çözünme kabiliyetine sahip (570g/l, 50 °C) olmakla birlikte nikel sülfat watt banyolarının en önemli nikel kaynaklarından. SO_4^{2-} anot veya ta katot oksitlenip redüklenmemekle birlikte klorürlere kıyasla daha az koroziftir.

4.4.1.1.2 Nikel Klorür

Klorür iyonunun çözelti içerisinde olması anot polarizasyonunu düşürerek tank voltajını azaltır. Anot çözünmesini kolaylaştırmakla birlikte nikel iyonlarının yayınma hızını da artırır. Sonuç olarak nikel redüksiyonuna harcanacak akımın artışı sağlanmaktadır. Klorür iyonları çözeltinin iletkenliğini de yükseltir. Bunun neticesinde de eski kutup katot verimi, dolayısıyla dağıtma gücü artar.

4.4.1.1.3 Borik Asit

Borik asit, kaplama işlemi sırasında pH değerinin tamponlanması neticesinde başarılı bir kaplama yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bilindiği üzere katot verimi % 100 olamadığından, H^+ iyonları katot hidrojen gazı oluşumuna sebep verir ve sülfürik asit ilavesiyle bu pH ayarlanması ihtiyacı oluşmaktadır. Borik asit, pH ın değişimini sınırlandırarak beklenen kalitede kaplama yapılmasına yardımcı olur. Yapılan kaplama pH değeri 3-5 aralığındadır. Borik asidin etkisi düşük pH değerlerinde önem arz etmektedir. Yüksek pH değerlerinde katot civarında hidroksit iyon konsantrasyonu artarak nikel hidroksidin çökmesine sebep olmaktadır. Tampon çözeltisi banyonun her tarafında pH değerinin değişimini ayarlayarak kaplama özelliklerinin beklenen seviyede olmasını sağlar.

Borik asit çözeltideki konsantrasyonuna bağlı olarak yapılan kaplamanın görselini değiştirebilir. Düşük konsantrasyonlarda 15 – 23 g/l kaplamada yanık görünümlü, çatlaklı ve oyuklu görsel hatalar çıkmasına sebep olur. Ayrıca 45 g/l gibi yüksek konsantrasyonlarda bu etki görünmemektedir.

4.4.2 Tüm Klorürlü ve Yüksek Klorürlü Banyolar

Watts tipi banyolar arasında klorür/sülfat oranı yüksek olup genellikle parlak kaplamanın yüksek hızda yapılması istenilen durumlarda tercih edilir. Çok iyi dağıtma gücü ile çalışan bu banyolar yüksek akım yoğunluklarında ve parça

kenarlarında yumru yapmamaktadır. Çözelti iletkenliği yüksek olduğu için anot polarizasyonu azalarak daha düşük tank voltajlarına ihtiyaç duyarlar.

Oyuklaşma kaplama prosesinde bir tehlike olarak görülmemektedir, anot ve katot verimi yüksektir. Bu tip banyolar kullanılarak düzgün yüzeyli ve ince taneli kaplama kolaylıkla elde etmek mümkündür.

Bu banyolardan elde edilen kaplama iç gerilimi yüksek, sert ve düktilitesi düşük olmasına rağmen kare dalgalı frekans kullanılarak iç gerilimi düşük, mat ve yumuşak kaplamalar da elde etmek mümkündür (Çiçek, 2006).

4.4.3 Tüm Sülfatlı ve Yüksek Sülfatlı Banyolar

Tüm sülfatlı banyolar, boru parçalarının içi gibi kaplanırken çözünmeyen anot kullanılması gereken yerlerde tercih edilirlerken yüksek sülfatlı banyolar çinko alaşımlarının direk nikel kaplanması ve zinkat işlemi uygulanmış alüminyum nikel kaplanmasında kullanılır.

Kullanılan anotlar kurşun, karbon, platin, grafit ve platin kaplı titanium olabilir. Elektrolitik nikel çözünmediğinden klorüzsüz çözeltilerde anot olarak kullanılabilir.

Çinkoyu çözündürmediğinden dolayı çinko kaplama için yüksek sülfatlı ve düşük klorürlü banyo kullanılmaktadır (Çiçek, 2006).

4.4.4 Nikel Sülfamat Banyoları

Kalın kaplama, yüksek kaplama hızı ve düşük iç gerilimi istenildiğinde en uygun banyo nikel sülfamat banyolarıdır.

4.4.5 Tambur Kplama Çözeltileri

Kplama banyolarına daldırmak için askılanması oldukça zor olan küçük parçalar tambur yardımıyla nikel kplama işlemi yapılır. Parlak ve mat kplama çeşitlerinin ikisi de tamburda yapılabilmesi uygundur. Kplama prosesi esnasında nikelin pul pul olması ve katlara dağılması tambur sayesinde engellenmektedir.

Tambur kplama yapılırken akım yoğunluğu düşük olması gerekmektedir ($0,3-0,5 \text{ A/dm}^2$). Bu sebeple kplama ince taneli oluşmaktadır. Parlak nikel kplama çözeltilerinde akım yoğunluğu 1 A/dm^2 ye çıkabilmektedir (Çiçek, 2006).

4.5 Krom Kplama Banyoları

Krom kplamada, krom iyonları krom oksidin (CrO_3) sulu çözeltisinden sağlanır. Krom oksidin sulu çözeltisi H_2CrO_4 ve $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ gibi Polikromikasitlerden oluşur ve bu asitler arasındaki dinamik denge; $2\text{H}_2\text{CrO}_4 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$

reaksiyonu ile ifade edilir. Söz konusu asitler çözeltide HCrO_4 , CrO_2^{4-} ve $\text{Cr}_2\text{O}_2^{7-}$ iyonlarına ayrışır, Ancak, krom kaplama yalnız kromik asit çözeltisinde yapılmaz. Kromik asit çözeltisinde yapılan krom kaplama sırasında katotda krom III kromat $[\text{Cr}(\text{OH})\text{CrO}_4]$ olarak adlandırılan sert bir tabaka oluşur ve bu tabaka kromun çökmesini engeller. Ayrıca, saf kromik asit içerisinde yapılan krom kaplamalarda katotda yalnız hidrojen gazı açığa çıkar. Bu nedenlerle, kromun katotda birikmesini sağlamak ve krom III kromat tabakasını gevşetmek amacıyla kromik asit çözeltisine sülfirik asit, florür ve siliko florür gibi bazı katalizör maddeler katılır. Krom kaplama çözeltilerinde katalizör olarak en çok sülfirik asit kullanılır. Sülfirik asit Cr^{+3} iyonları ile kolayca reaksiyona girerek krom III kromati $[\text{Cr}_2(\text{H}_2\text{O})(\text{SO}_4)_4]^{2-}$ $[\text{Cr}_2(\text{H}_2\text{O})(\text{SO}_4)_5]^{3-}$ $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$ iyonlarına ayrıştırır ve sert tabakanın oluşumunu engeller. Sülfirik asit oranı, kaplama kalitesini ve akım etkinliğini doğrudan etkileyen çözelti bileşenidir. Harring ve Barrows en yüksek akım etkinliğinin, sülfirik asit miktarının kromik asit miktarına oranının 1/100 olması durumunda elde edildiğini ileri sürmektedir.

Krom kaplama çözeltileri düşük konsantrasyonlu ve yüksek konsantrasyonlu olmak üzere iki gruba ayrılır. Düşük konsantrasyonlu çözeltilerde kaplama yapılırken akım yoğunluğu yüksek tutulur. Böyle çözeltilerde homojen kaplama yapılamaz, ancak kaplamanın sertliği ve aşınma direnci yüksek olur. Yüksek konsantrasyonlu çözeltilerde ise kaplama düşük akım yoğunluklarında yapılır. Bu tür çözeltide yapılan kaplama parlak görünüme sahiptir ve kaplama tabakası parça yüzeyinde homojen dağılım gösterir.

Krom kaplamada, elektroliz süresince harcanmayan, korozyon direnci yüksek olan ve %6 oranında antimon içeren kurşun anot kullanılır. Homojen krom kaplama elde edebilmek için anot alanının katot alanından daha büyük olması gerekir (Çiçek, 2006).

Tablo 4.1 Düşük ve Yüksek Konsantrasyonlu Çözelti Özellikleri

Çözelti bileşenleri ve kaplama parametreleri	Düşük konsantrasyonlu çözelti	Yüksek konsantrasyonlu çözelti
--	-------------------------------	--------------------------------

Kromik asit (g / l)	250	400
Sülfirik asit (g / l)		4
Banyo sıcaklığı (°c)	40 70	25 - 50
Akım yoğunluğu (A / dm ²)	16 - 40	8 - 20
Kaplama yöntemi	Sert krom kaplama	Dekoratif amaçlı krom kaplama



5. FIRIN

5.1 Fırının Tarihi

İlk fırınlar, 5000 yıldan uzun süre önce, İran'da ve Suriye'de, çanak çömlek pişirmek için yapıldı. Bu ilkel fırınlar, içine odun kömürü doldurulan, toprağa oyulmuş koni biçiminde bir delikten oluşmaktaydı. Yanma için gereken hava, yan taraftan, bir körükle sağlanır, pişirilecek malzeme yakıtın içine yerleştirilirdi. Fırın duvarlarının tuğlalarla kaplanması, sonra da bacaların yapılması, ısının daha iyi korunmasını ve çekmenin etkinleştirilmesini sağladı. M.Ö. II. yy'da, Çinliler 1200°C'a yükselebilen fırınlardan yararlandılar. Altından hava üflenen bir ızgaranın üstüne yakıtı yerleştirme düşüncesi, hava girişine yarayan ve bir fırınlama odası olarak kullanılan yatay bir geçit ile baca işlevi gören ve pişirilecek malzemenin yerleştirilmesini sağlayan dikey bir koridordan oluşmuş alçak fırınların doğmasına yol açtı (www.yardimcikaynaklar.com/firin-nedir-tarihi-ve-cesitleri/).

Günümüzde fırınların kullanıldığı birçok alan vardır. Örneğin; gıda hazırlamak ve pişirmek için ev mutfaklarında, restoran, lokanta, kafe, otel mutfakları gibi orta ölçekli sanayilerde, gıda endüstrisinde; çimento, demir-çelik sanayisi ve alüminyum sanayisinde, seramik, porselen, cam üretiminde kullanılırlar. Isı enerjisinden, katı, sıvı ya da gaz haldeki kömürden, akaryakıt ya da doğal gaz gibi yakıtlardan, elektrikten ya da güneş ısısından yararlanılarak üretilebilir.

Ağır sanayide kullanılan yüksek fırın çeşitleri konumuz dışı olup bizi asıl ilgilendirenler mutfaklarda kullanılan fırın çeşitleridir (www.yardimcikaynaklar.com/firin-nedir-tarihi-ve-cesitleri/, 2015).

Fırınları Şekil 5.1'de görüldüğü üzere pişirme özellikleri ve boyutları gibi unsurlar ile sınıflandırabiliriz.

- Bu durumda, ilk sırayı ilkel fırınlara vermek gerekir. Bu fırınlarda ısı enerjisi üretmek için odun ve kömürden yararlanılır. Örneğin; tandırlar, toprak fırınlar, taş fırınlar, kuzine sobalı fırınlar gibi Bu fırınlarda en eski pişirme yöntemleri uygulanmaktadır diyebiliriz.

- Gıda hazırlamada endüstriyel ve sanayi tipi fırınları; firma ve kurumlara hizmet eden, toplu pişirmeye yarayan, amaca göre üretilen fırınlar olarak tanımlayabiliriz. Örnek olarak; endüstriyel ve sanayi tipi doğal gazlı pizza

fırını, doğal gazlı kuzine fırın, elektrikli pasta ekmek fırını, buhar konveksiyonlu elektrikli fırın gibi...

- Ev tipi fırınlar; sanayileşmenin gelişmesi ile birlikte daha da yerleşik düzene geçmenin sonucunda, günümüzde evlerde kullanılan fırın çeşitlerine ulaşılmıştır. Genellikle dış yüzeyleri inox, emaye gibi uygun alaşımlarla kaplıdır. Yiyecekleri uygun sıcaklık ve şartlarda pişirmeye yarayan, termostatlı-statik-turbo vb. özelliklerin birini veya birçoğunu bir arada bulunduran, geleneksel - elektrikli veya doğal gaz yardımıyla ısı sağlayan ev tipi fırınlar mevcuttur. Bunlar; davul, solo, ankastre, mini, midi, fan destekli, multi fonksiyonel, mikrodalga fırın gibi fırınlardır.

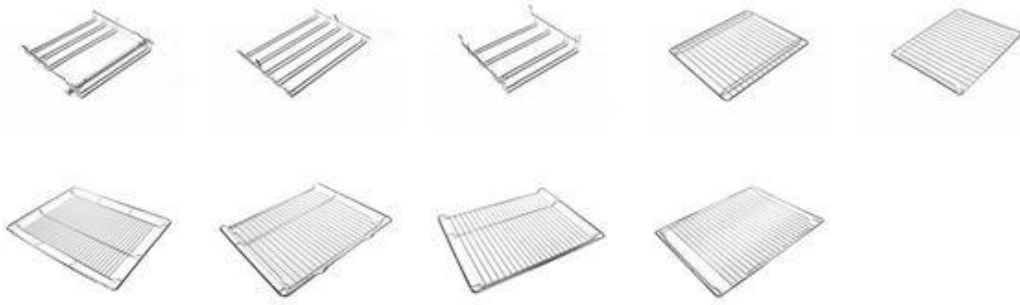


Şekil 5.1 Fırın Tipleri (droetker.com.tr/firin-cesitleri)

5.2 Fırın Izgaraların Üretimi ve Meydana Gelen Hatalar

5.2.1 Fırın Izgara Üretimi

Fırın ızgara üretimi 4 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar tel çekme, kırma, bükme ve kaynak işlemleridir. Müşteri istediğine göre bir çok farklı fırın ızgara çeşiti vardır.



Şekil 5.2 Fırın Izgara Tipleri (www.mefaendustri.com)

5.2.1.1 Tel Çekme

Filmaşın halinde gelen düşük ve yüksek karbonlu teller istenilen çaplara Şekil 5.3’de de görüldüğü gibi çekilme işlemidir. Genellikle Ø2 - Ø8 mm aralığında teller kullanılır.



Şekil 5.3 Fırın Izgarası İçin Tel Çekme İşlemi

5.2.1.2 Tel Kesme

Tel çekme işleminden sonra bobinler halinde gelen telleri istenen ölçülere göre kesme işlemidir. Bunun yanında Şekil 5.4’de görüldüğü gibi tel uçlarına çapak alma, pah kırma işlemleri de bu operasyonda yapılabilir. Genellikle 15 mm ile 200 mm aralığında tel kesme işlemi yapılır.



Şekil 5.4 Fırın Izgarası İçin Tel Kesme İşlemi

5.2.1.3 Tel Bükme

Yapılacak olan ızgara geometrisine ve üretim hacime göre bükme işlemi cnc bükme veya hidrolik pnömatik makinelerinde yapılabilir. Cnc bükmede tel bobinler kullanılırken, Şekil 5.5’de gösterildiği gibi hidrolik pnömatik bükme işleminde kesilmiş teller ve presler kullanılır.



Şekil 5.5 Fırın Izgarası İçin Tel Bükme İşlemleri

5.2.1.4 Tel Kaynak

Cnc bükme veya hidrolik pnömatik ile bükülen teller özel punta kaynak makinelerinde kaynak yapma işlemidir. Üretim hacmine göre tam, yarı otomatik veya manuel yapılabilir. Genellikle AC / MFDC kaynak işlemi yapılır. Şekil 5.6’da tellerin kaynatıldığı görülmektedir.



Şekil 5.6 Fırın Izgarası İçin Tel Kaynak İşlem

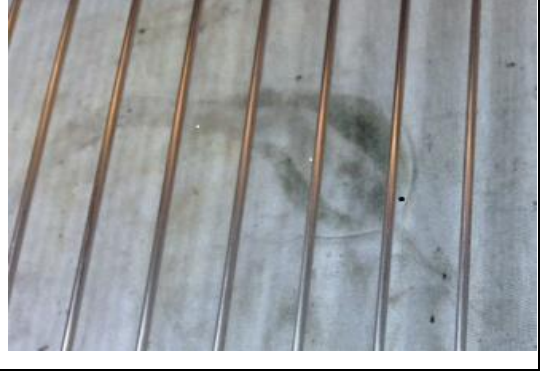
5.3 Fırın Izgaralarının Meydana Gelen Hatalar

Fırın ızgara üretimde meydana gelen hataları daha rahat anlaşılabilmesi için Şekil 5.7’de 3 bölüme ayrılmıştır. Bunlar Kaplama, kaynak, üretim kaynaklı olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 5.1’de ise hataların görselleri ile paylaşılmıştır.

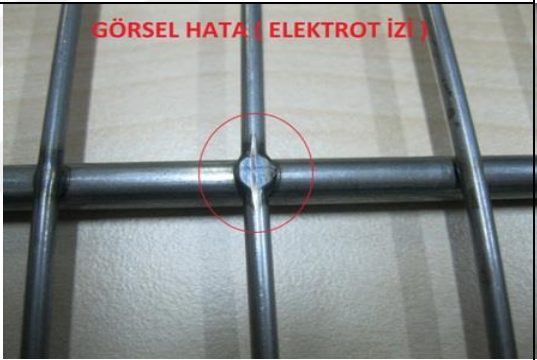


Şekil 5.7 Fırın Izgaralarında Meydana Gelen Hatalar

Tablo 5.1 Görsel fırın ızgara hataları

Izgarada Makara İzi Bükme operasyonunda form verme işlemlerinde makaranın üründe iz yapmasından meydana gelir	
Izgaralarda Punto Kopuğu ve Eksik Tel Kaynak operasyonunun uygun olmaması sonucunda meydana gelen hatadır.	
Yüzeyde Göz ve El ile Hissedilen Pürüz Kaplama öncesinde tel yüzeyinin çeşitli (taşıma, darbe, kaynak çapağı , vb.) etkenler nedeniyle kaplama sonrası yüzeyde görülen hatadır.	
Krom Açık Hatası Kaplama banyo parametrelerinin uygun olmaması sonucunda meydana gelen hatadır.	

Krom Yanık Hatası Kaplama banyo parametrelerinin uygun olmaması sonucunda meydana gelen hatadır.	KAPLAMA HATASI KROM YANIK 
Askı İzi Ürünlerin kaplama banyolarına koymak için askılanır. Askı işlemi düzgün yapılmaması sonucunda oluşan deformasyon hatasıdır.	ASKI İZİ 
Kaplama Yüzeyinde Pislilik Kaplama banyolarının istenilen temizlik koşullarını sağlamadığı durumlarda oluşan hatalardır.	KAPLAMA HATASI (YÜZEYDE PİSLİK) 
Alın Kaynak Noktası Çapaklı Kaynak operasyonunda kullanılan akım değerlerinin uygun olmaması veya tel boyunun uygun olması kaynaklı hatadır.	ALIN KAYNAK NOKTASI HATALI 

Alın Kaynak Kopuk Kaynak operasyonunda kullanılan akım değerlerinin uygun olmaması veya tel boyunun kısa olması sonucu oluşan hatadır.	
Alın Kaynak Eksen Kaçıklığı Kaynak makinasının eksen ayarının olması gerektiği gibi yapılmamasından kaynaklanan hatadır.	
Elektrot İzi Punta kaynak makinasının parametresinin ya da punta elektrot kaynaklı hatalardır.	
Krom Beyazlık Krom banyolarında kullanılan kimyasal ya da parametreler kaynaklı hatadır.	

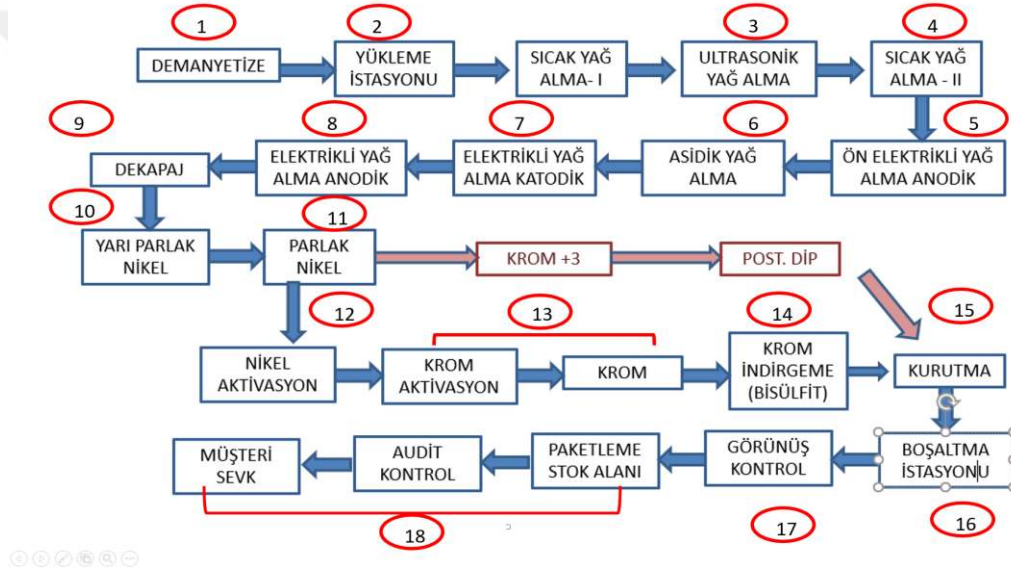
Mathk Krom banyolarında kullanılan kimyasal ya da parametrelerden kaynaklı hatalardır.	
Ara Tellerde Kaynak Kopuğu Kaynak operasyonunun uygun olmamasından meydana gelen hatadır.	 IZGARA KAYNAK KOPUK
Pres Eziği Bükme veya form verme operasyonundan oluşan hatalardan kaynaklanan hatadır.	

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem başlığı altında yapılan çalışmada kullanılan aletler, makineler ve yapılacak olan deney için izlenilen yöntemler anlatılmıştır. Materyal bölümünde çalışmamızın gerçekleşmesini sağlayan makine ve deneyde kullanılan malzemelerden bahsedilecektir.

6.1 Materyal

Bu bölümde krom kaplama prosesiyle birlikte deneyde kullanılan materyaller anlatılacaktır. Krom kaplama Şekil 6.1’de gösterildiği üzere 18 adıma ayrılmıştır.



Şekil 6.1 Krom Kaplama prosesi

1-Demanyetize: Şekil 6.2’de ızgara üretimi sırasında oluşan manyetikliğin <5 Gauss olacak şekilde düşürülmesini sağlayan cihaz bulunmaktadır.



Şekil 6.2 Demanyetize İşlemi

2-Yükleme: Kaplanacak ızgaraların askılara asılması, ürün koduna göre program seçilmesi,



Şekil 6.3 Izgaraların Askılara Asılması

3- Ultrasonik Temizleme: Ses dalgaları ile çözelti içerisinde temizlik sağlayacak güç elde edip ızgaranın üretiminden kaynaklanan demir tozu vb. kirliliklerin temizlenmesi,

4- Sıcak Yağ Alma: Sıcak alkali ve emülgatör içeren çözelti ile Izgaranın üzerindeki yağ vb. kirliliklerin temizliği,



Şekil 6.4 Sıcak Yağ Alma

5- Ön Elektrikli Yağ Alma (Anodik): Alkali Çözeltide ızgaraya (+), anotlara (-) akım vererek yüzeylerden hidroliz ile gaz çıkışı sağlayıp fiziksel temizlik,

6- Asidik Yağ Alma: Yüzeyde olan pas, kaynak bölgelerinde oluşan oksitlenme ile birlikte kirliliklerin temizliği,

7- Elektrikli Yağ Alma (Anodik): Alkali Çözeltide ızgaraya (+), anotlara (-) akım vererek yüzeylerden hidroliz ile gaz çıkışı sağlayıp fiziksel temizlik,

8- Elektrikli Yağ Alma (Katodik): Alkali Çözeltide ızgaraya (-), anotlara (+) akım vererek yüzeylerden hidroliz ile gaz çıkışı sağlayıp fiziksel temizlik,

9- Dekapaj: Alkali işlemlerden çıkan parçanın Nikel kaplama öncesinde asidik hale getirilmesi,

10- Yarı Parlak Nikel: Izgaranın parlak nikel kaplamadan önce korozyon direnci için yarı parlak nikel ile kaplanması

11- Parlak Nikel: Üründeki dekoratif görüntüyü sağlamak amacıyla kaplanır.

12- Krom Aktivasyon: Krom kaplama öncesinde parçanın olası pasiflenmesini gidermek amacıyla uygulanan proses,

13- Krom Kaplama: Nikel üzerine kaplanarak dekoratif görünüm sağlanır.

14- Bisülfid: Parça üzerinde çözeltiden kaynaklı kalan krom +6'nın indirgenerek krom +3 e dönüşmesini sağlar.

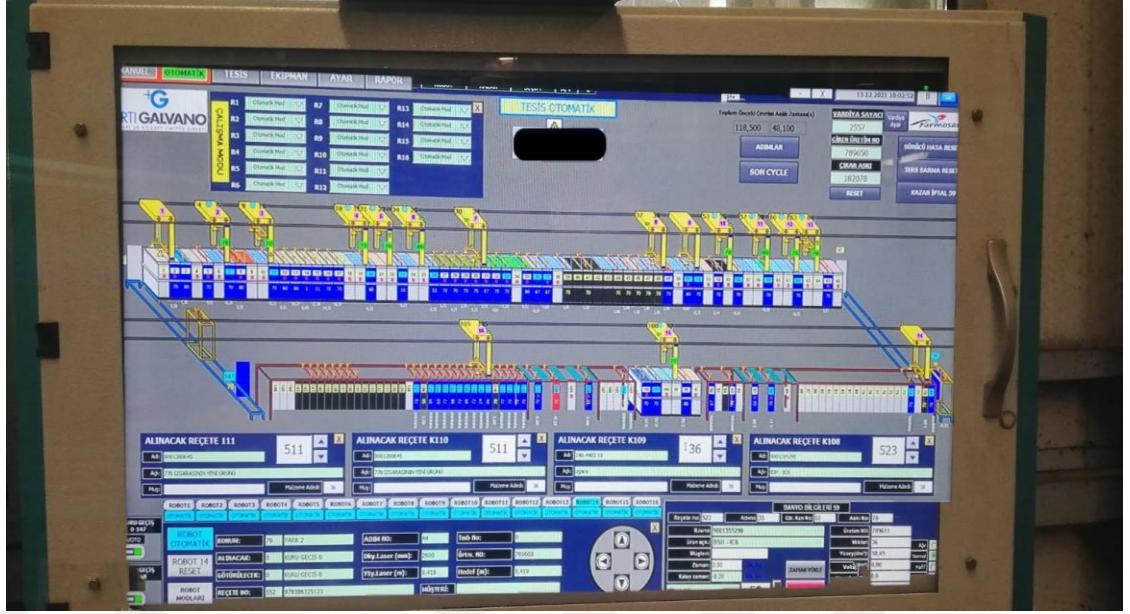
15- Kurutma: Durulama sularından kalan suların uzaklaştırılması

16- Boşaltma: Askılardan ürünlerin alınması

17- Görsel Kontrol: Ürünlerin %100 görünüm kontrolünden geçirilmesi

18- Paketleme ve Sevkiyat: Müşterinin beklentisi doğrultusunda belirlenmiş paketleme standartları ile ambalajlama ve sevkiyat.

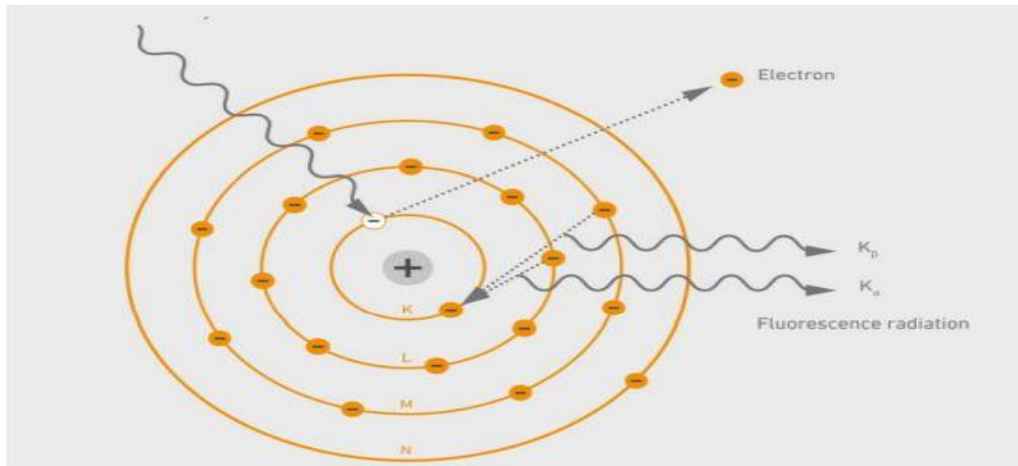
Deneyde kullanılan nikel krom kaplama tesisinin otomasyon bilgi sistemi Şekil 6.5 'te gösterildiği gibidir. Tüm adımlar otomasyon sistem tarafından kontrol edilmektedir. Böylelikle hem kalite hemde üretim verimliliği sağlanmıştır.



Şekil 6.5 Nikel krom kaplama tesisinin otomasyon bilgi sistemi

6.1.1 Kalınlık Cihazı

Fırın ızgara krom kaplama kalınlığını ölçmek X-ray floresan analiz tekniği kullanılmıştır. X-ray floresan analizi sadece laboratuarda son derece yerleşik bir teknik olmanın dışında endüstride günlük çalışmalarda da sıklıkla kullanılmaktadır. Temiz, temassız, hasarsız ve hızlıdır. Ayrıca, teknik uygunluğu bulunan tüm elementler için kullanılabilir. Metot, atomların birincil x-ışınları tarafından uyarıldıklarında elemente özel floresan radyasyonu olarak enerji açığa çıkarması olgusuna dayanmaktadır. Yayılan radyasyonun spektrumu, numunenin yapısı hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu durum malzemenin yapısının analiz edilmesini sağlamasını yanı sıra kaplama kalınlığının da ölçümünü sağlamaktadır.



Şekil 6.6 Kalınlık Cihazı Ölçüm Metodu (Helmut-Fisher)

Deneyde Helmut Fisher firmasının XRAY XDLM 237 SP 657 model kalınlık ölçer cihazı kullanılmıştır. Şekil 6.7’de cihazın görseli bulunmaktadır.



Şekil 6.7 Kalınlık Ölçme Cihazı

6 .2 Yöntem

6.2.1 Deneylerin Yapılışı

Bu çalışmada fırın ızgaralarında krom kaplama parametrelerinin nikel akımının etkisi incelenmiştir. Yarı parlak ve parlak nikel banyolarında farklı akımlar ve bekleme süreleri kullanılarak nikel krom kaplama tesisinde gerçekleştirilmiştir. Banyolardaki kaplama süreleri her akım için farklıdır. Elde edilen numunelerin kalınlık testi yapıp parça krom kalınlık değeri belirlenmiştir. Tablo 6.28’ de gösterilmiştir.

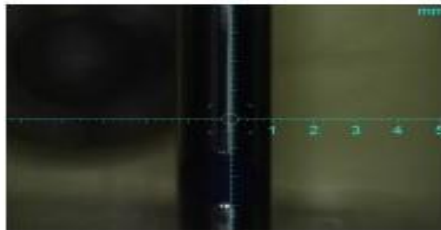
Ortalama nikel kalınlıkları Helmut Fisher firmasının XRAY XDLM 237 SP 657 model kalınlık ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 6.8’de kaplama banyoları parametre değerlerinin girildiği bilgi ekranı, şekil 6.9’da kalınlık ölçüm raporu gösterilmiştir.

GENİŞLİK	TESTİT	TESTİS	EXP/MAIL	AYAR	RAPOR	PROG NO	IS	SARJ KONTROL	EMİYİ GÜZERİY	DOKU	DÜŞÜŞ	GAZ YIKAMA	13.12.2021 10:03:29	B	OK
1	K8	ON EYA 1	524204	0	916	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	916	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	K9	ON EYA 2	512232	0	1057	15.0	HALI/0								
		BEKLEMEDE	0	1057	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	K21	EYA KATODİK	658465	0	1205	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1205	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	K22	EYA ANODİK	509353	0	1516	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1516	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	K27	YARI PARIYAK NIKEL 1	472864	0	1697	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1697	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	K28	YARI PARIYAK NIKEL 2	471801	0	1020	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1020	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	K29	YARI PARIYAK NIKEL 3	473889	0	1827	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1827	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8	K30	YARI PARIYAK NIKEL 4	464525	0	1697	15.0	HALI/0								
		BEKLEMEDE	0	1697	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9	K31	PARIYAK NIKEL 0	668100	0	847	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	847	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	K32	PARIYAK NIKEL 1	660775	0	1000	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1000	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	K33	PARIYAK NIKEL 2	656636	0	0	0.0	HALI/0								
		BEKLEMEDE	0	0	0.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12	K34	PARIYAK NIKEL 3	662456	0	1600	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1600	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13	K35	PARIYAK NIKEL 4	662988	0	1356	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1356	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14	K36	NIKEL AKTİVASYON	339217	0	1888	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	1888	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	K37	KROM AKTİVASYON	5688	0	10	10.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	10	10.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
16	K38	KROM 1	1696338	0	4324	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	4324	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
17	K39	KROM 2	1714838	0	4097	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	4097	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
18	K37	ASKI SÖKME 1	32595	0	1827	15.0	HALI/0								
		BEKLEMEDE	0	1827	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
19	K38	ASKI SÖKME 2	37097	0	164	15.0	HALI/0								
		ÇALIŞIYOR	0	164	15.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20	K37	KASKAT YIKAMA 21	5089	0	22	10.0	HALI/0								
		BEKLEMEDE	0	22	10.0	HALI/0									
		100	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Şekil 6.8 Kaplama Banyoları Parametreleri Bilgi Ekranı

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen
FISCHER

Fischerscope® XRAY XDLM 237 SP657
Product: **1 / Cr/Ni/Fe** Dir.: Fischer Block: **10698**
Application: **1 / Cr/Ni/Fe**



n=	1	Cr 1 =	0.57 µm	Ni 2 =	26.3 µm
n=	2	Cr 1 =	0.73 µm	Ni 2 =>	34.7 µm
n=	3	Cr 1 =	0.79 µm	Ni 2 =>	34.0 µm
n=	4	Cr 1 =	0.24 µm	Ni 2 =	14.2 µm
n=	5	Cr 1 =	0.52 µm	Ni 2 =	30.3 µm
n=	6	Cr 1 =	0.54 µm	Ni 2 =	21.1 µm
n=	7	Cr 1 =	0.48 µm	Ni 2 =	20.5 µm
n=	8	Cr 1 =	0.68 µm	Ni 2 =>	35.1 µm
n=	9	Cr 1 =	0.27 µm	Ni 2 =	12.5 µm
n=	10	Cr 1 =	0.43 µm	Ni 2 =	20.1 µm
n=	11	Cr 1 =	0.80 µm	Ni 2 =>	33.8 µm

Mean	0.550 µm	20.7 µm
Standard deviation	0.192 µm	6.25 µm
C.O.V. (%)	34.95	30.19
Range	0.57 µm	17.8 µm
Number of readings	11	7
Min. reading	0.24 µm	12.5 µm
Max. reading	0.80 µm	30.3 µm

Şekil 6.9 Kalınlık Ölçüm Raporu

6.2.2 Sayısal Olarak Sonuçlar

Gerçekleşen deneyde 27 adet fırın içerisindeki tel ızgaralarının kaplama sonrası nikel kalınlıkları ölçülmüştür. ızgaraların 4 farklı noktasından nikel kalınlıkları ölçülerek aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Tablo 6.1 1. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 1	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	2
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	5,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	12,67
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,391

Tablo 6.1’de 1. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $12,67 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,391 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.2 2. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 2	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	2
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3,5
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3

Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	8,97
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,386

Tablo 6.2’de 2. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $8,97 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,386 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.3 3. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 3	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	2
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	9,25
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,552

Tablo 6.3’de 3. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $9,25 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,552 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.4 4. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 4	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	2

Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	11,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	13,73
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,613

Tablo 6.4’de 4. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $13,73 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,613 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.5 5. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçerisindeki Izgara 5	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	2
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	7
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	12,53
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,573

Tablo 6.5’de 5. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $12,53 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,573 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.6 6. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 6	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	2
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	11,92
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,277

Tablo 6.6’de 6. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $11,92 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,277 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.7 7. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 7	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	5,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3,5
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	11,97
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,278

Tablo 6.7’de 7. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $11,97 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,278 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.8 8. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 8	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	5,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	10,41
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,501

Tablo 6.8’de 8. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $10,41 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,501 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.9 9. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 9	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	5,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25

Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	11,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	16,7
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,508

Tablo 6.9’de 9. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $10,7 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,508 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.10 10. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 10	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	5,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	7
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	13,42
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,594

Tablo 6.10’de 11. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $13,42 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,594 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.11 11. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 11

Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3,5
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	11,25
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,479

Tablo 6.11’de 11. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $11,25 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,479 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.12 12. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 12	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3,5
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	11,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	14,32
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,677

Tablo 6.12’de 12. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $14,32 \mu\text{m}$

olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise 0,677 μm olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.13 13. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 13	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	12,48
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,533

Tablo 6.13’de 13. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı 10 dm^2/A olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı 12,48 μm olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise 0,533 μm olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.14 14. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 14	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	12,69

Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,649
---	-------

Tablo 6.14’de 14. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $12,67 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,649 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.15 15. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 15	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	12,51
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,483

Tablo 6.15’de 15. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $12,51 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,483 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.16 16. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 16	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3

Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	7
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	12,67
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,391

Tablo 6.16’de 16. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $12,06 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,28 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.17 17. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 17	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	7
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	11,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	15,36
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,764

Tablo 6.17’de 17. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $15,36 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,764 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.18 18. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 18	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3,5
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	15,18
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,756

Tablo 6.18’de 18. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $15,18 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,756 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.19 19. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 19	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	16,38
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,438

Tablo 6.19’de 19. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $16,38 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,438 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.20 20. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 20	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	11,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	16,65
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,506

Tablo 6.20’de 20. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $16,65 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,506 \text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.21 21. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 21	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	2
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	7

Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	16,91
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,514

Tablo 6.21’de 21. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $16,91 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,514 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.22 22. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 22	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	4
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	5,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	15,09
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,612

Tablo 6.22’de 22. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $15,09 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,612 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.23 23. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Izgara 23

Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	4
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	3,5
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	16,41
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,668

Tablo 6.23’de 23. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $16,41 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,668 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.24 24. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 24	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	4
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	16,31
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,659

Tablo 6.24’de 24. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $16,31 \mu\text{m}$

olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise 0,659 μm olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.25 25. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 25	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	4
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	11,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	17,48
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,718

Tablo 6.25’de 25. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı 10 dm^2/A olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı 17,48 μm olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise 0,718 μm olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.26 26. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçiresindeki Izgara 26	
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	4
Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	7,3
Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A	7
Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	16,94

Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,685
---	-------

Tablo 6.26’de 26. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $16,94 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,685 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.27 27. ızgaranın kalınlık deney sonuçları

Fırın İçeresindeki Iızgara 27	
Yarı Parlak Nikel Kplama Banyo Akımı- dm^2/A	4
Yarı Parlak Nikel Kplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Parlak Nikel Kplama Banyo Akımı- dm^2/A	5,25
Parlak Nikel Kplama Banyoda Bekleme Süresi - dk	9,3
Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	20,75
Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)	0,876

Tablo 6.27’de 27. Fırın içerisindeki ızgaranın deney sonuçları verilmiştir. Krom banyosu kaplama akımı $10 \text{ dm}^2/\text{A}$ olarak sabit alınıp krom banyosunda bekleme süresi ise 5 dk olarak deney yapılmıştır. Ortalam nikel kalınlığı $20,75 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama krom kalınlık değeri ise $0,867 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.28 27 ızgaranın ortalama sonuçları

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Yarı Parlak Nikel Kaplama Akımı – dm ² /A	Yarı Parlak Kaplama Süresi - dk	Parlak Nikel Kaplama Akımı – dm ² /A	Parlak Nikel Kaplama Süresi - dk	Nikel Kalınlık Ortalaması - µm
10	1	2	1	4	7,3	5,25	7,3	16,31
17	2	2	1	2	7,3	3,5	9,3	8,97
6	3	2	1	3	7,3	7	7,3	12,06
7	4	2	1	3	7,3	3,5	11,3	14,32
12	5	2	1	4	7,3	5,25	11,3	17,48
20	6	2	1	4	7,3	7	9,3	16,94
21	7	2	1	3	5,3	5,25	7,3	10,41
8	8	2	1	3	7,3	7	11,3	15,36
19	9	2	1	2	7,3	7	9,3	12,53
1	10	2	1	2	5,3	5,25	9,3	12,67
11	11	2	1	2	7,3	5,25	11,3	13,73
15	12	2	1	3	5,3	7	9,3	13,42
9	13	2	1	2	7,3	5,25	7,3	9,25
16	14	2	1	3	9,3	7	9,3	16,91
24	15	2	1	3	9,3	5,25	11,3	16,65
14	16	2	1	3	9,3	3,5	9,3	15,18
23	17	2	1	3	5,3	5,25	11,3	16,7
4	18	2	1	4	9,3	5,25	9,3	20,75
22	19	2	1	3	9,3	5,25	7,3	16,38
25	20	0	1	3	7,3	5,25	9,3	12,69
27	21	0	1	3	7,3	5,25	9,3	12,51
18	22	2	1	4	7,3	3,5	9,3	16,41
13	23	2	1	3	5,3	3,5	9,3	11,97
26	24	0	1	3	7,3	5,25	9,3	12,48
3	25	2	1	2	9,3	5,25	9,3	11,92
2	26	2	1	4	5,3	5,25	9,3	15,09
5	27	2	1	3	7,3	3,5	7,3	11,25

Tablo 6.28’da bütün denemelerin sayılasal sonuçları verilmiştir.

6.2.3 Optimizasyon ve Analiz

Pratikte fazlaca kullanılan, deneysel verilerin analizi için ve pratiğe uyan istatistiksel bir hipotez olan varyans analizi (ANOVA) yani Analysis of Variance kısaltılması olan yöntem kullanılmıştır. Bahsedilen analiz metodu bağımsız

değişkenlerin kendi içinde nasıl etkileşime girdiklerini, oluşan etkileşimin bağımlı değişken üzerinde olan etkilerini araştırır. Yapılan deneyde bağımlı değişkenler yarı parlak nikel kaplama banyosu akımı ve banyodaki ürünün bekleme süresi, parlak nikel kaplama banyosu ve banyodaki ürünün bekletilme süresi olup bağımsız değişkenler ise krom banyosuna uygulanan akımın değeri ve krom banyosunda ürünlerin bekletilme süreleridir. Bu analiz yöntemi, özellikle bağımsız değişkenlerin sayısı çok ise kullanılır. Mevcuttu birçok yerde bu örnekleri sıkça görmemiz mümkün. Bahsedilen yöntem sayesinde bir fark değişkeninin olup olmadığı ana kütle ortalamalar arasında belirlenir. Bahsedilen metot ile olan girdi bilgilerinin asıl veya sonuç değişken üzerine olan etkileri yüzdelik olarak belirtebilir. Sonuç değişkenine en büyük paya sahip değişkenler tanımlanmış olur. Anlatılanlardan farklı olarak bulunan deneysel verilerin istatistiksel olarak güvenilirliği analiz edilip deneyin sağlanması yapılabilir.

Değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak açıklayabilmek veya sebep sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla parametre için uygulanan istatistiksel analize regresyon analizi denir. Regresyon analizi kullanılarak yorumlamalar yapmak mümkündür. Bu analizde amaç en iyi eğriyi oluşturmaktır. En küçük kareler metodu ise en iyi eğriyi oluşturmak için yaygın kullanılan yöntemdir.

Bir başka analiz yöntemi de Monte Carlo simülasyonudur. Bu yöntem deneysel analiz yöntemlerinden biridir. Bu simülasyonda gelişigüzel seçilen sayılar kullanıp deneme yaparak sonuca ulaşmayı hedeflemiştir. Bu yöntem kullanılarak matematiksel bir çözüm uygulanmış olur. Bir algoritma oluşturan bu yöntem, oluşturduğu algoritma sayesinde mutlak çözümün zor olduğu problemlerde tahmini olarak çözümler geliştirir. Bu yöntem bir farkı bakışla olasılık teorisi üzerine kurulmuştur. Monte Carlo metodu ile yapılan deneyler gelişigüzel sayılar ile birçok kez simüle yapılır. Genelde işlem istatistiksel programlar kullanılarak yapılmaktadır. Nedeni ise çok sayıda tekrarlanan işlem içermesidir. Geçen her dakikanın lehimize işlediği bu günlerde olasılık sorunlarının çözümünde en fazla tercih edilen simülasyon seçeneklerinden birtanesidir. Kullanılan değişkenlerin olasılık dağılımıyla modellenmesi bu sayede sağlanmış olur.

Bahsedilen yöntem ile her türlü çıktılar görülmesi mümkündür. Daha iyi ve daha doğru kararlar verilebilmesi için oluşabilecek risk etkileri

değerlendirilebilir. Bu metotta bir tek parametre yerine birçok parametreye göre verilerin gösterdiği dağılım bulunmuş olur. Hangi aralıkta çıktı verilerinin farklılığına bağlı olarak olasılık dağılımları oluşturulmuş olur. Analiz yaparken kesin olmayan tanımları belirtmek için olasılık dağılımları kullanılır. Monte Carlo simülasyonunda değerler gelişigüzel belirlenir. Çıkarılan parametrelerin verileri ve ihtimalleri grafiksel olarak gösterilir. Hangi parametrenin diğerinden fazla etkiye sahip olduğu belirlenebilir. Değişkenler içerisinde birbirini etkileyenler belirlenebilir. Bu yöntem imkansız denilecek kadar güç olan veya analitik olarak üretilmesi çok zor olan bir takım dağılımların ampirik olarak çözümlenmesini sağlayan yöntemlerden biridir. İlk olarak sistem modellenerek simülasyona başlanmış olur.

Nikel kalınlığı matematiksel modeli;

Nikel kalın = 11,32

$$\begin{aligned}
 & -2,60 * A \\
 & -4,48 * A \\
 & +1,066 * C \\
 & +1514 * D \\
 & +0,949 * A * A \\
 & +0,4247 * B * B \\
 & +0,0351 * C * C \\
 & +0,17 * D * D \\
 & +0,8013 * A * B \\
 & -0,433 * A * C \\
 & -0,4138 * A * D \\
 & +0,02 * B * D \\
 & +0,0164 * C * D
 \end{aligned}$$

A: Yarı Parlak Nikel Kaplama Akımı

B: Yarı Parlak Kaplama Süresi

C: Parlak Nikel Kaplama Akımı

D: Parlak Nikel Kaplama Süresi

Krom kaplamanın kalitesi, tel ızgaraya daha önce uygulanan nikel kaplamanın kalitesiyle doğru orantılıdır. Tel ızgaraya nikel kaplama uygulaması iki aşamada gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, nikel kaplama parametreleri Tablo 6.29'da gösterildiği üzere dört adet açıklayıcı değişkenden oluşmaktadır. Yanıt değişkeni olarak nikel kaplama kalınlılığı ölçülecektir. Elde edilen nikel kaplama kalınlığı direk olarak krom kaplama kalınlığıyla ilişkilidir.

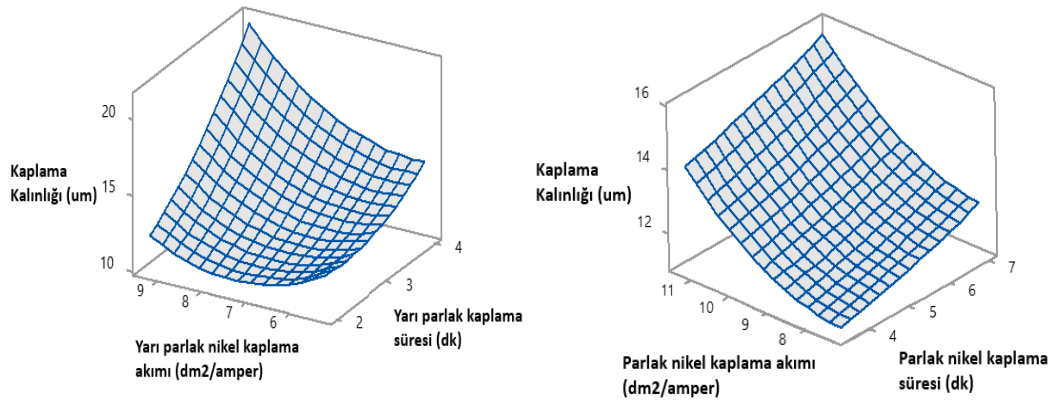
Tablo 6.29 Central Composite'e dayalı nikel kaplama için Açıklayıcı değişkenlerin seviyeleri

Seviye	Yarı parlak nikel kaplama akımı - dm ² /amper	Yarı parlak kaplama süresi - dk	Parlak nikel kaplama akımı - dm ² /amper	Parlak nikel kaplama süresi - dk
1	2	5,3	3,5	7,3
2	3	7,3	5,25	9,3
3	4	9,3	7	11,3

Tablo 6.30'da Yüzey Yanıt Metodu kullanılarak deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. 27 adet deney tasarımı için herbiri 3 tekrardan 81 adet ölçüm yapılmıştır. Bunun nedeni ölçüm sırasında oluşabilecek hatalardan kaçınmak için herbir deney 3 defa tekrarlanmıştır. Ölçülen değerlerin ortalaması alınarak yanıt değişkeni (nikel kaplama kalınlığı) verileri elde edilmiştir. Nikel kaplama için ikili etkileşimleri görsel olarak göstermek için, açıklayıcı değişkenlerin birbirleri arasındaki önemli etkileri de şekil 6.10'da gösterildi. Bir açıklayıcı değişken sabit tutularak 3B yüzey çizimleri çizilirken, iki açıklayıcı değişken değiştirildi. Nikel kaplama için optimize edilmiş kaplama koşulu belirlenirken, kaplama değeri üzerinde açıklayıcı değişkenler arasında önemli bir korelasyon vardı. Şekil 6.10'da görüldüğü gibi, artan kaplama süresi ve yarı kaplama akım değeri nikel kaplama kalınlığı artış gerçekleştiği görülmektedir.

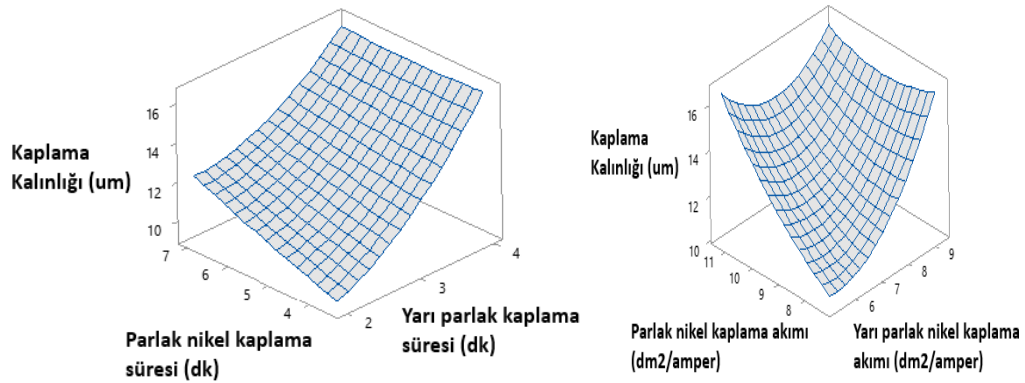
Tablo 6.30 Deney tasarımı

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		12,56	0,202	62,18	0,001	
A	5,652	2,826	0,101	27,98	0,001	1
B	2,922	1,461	0,101	14,46	0,001	1
C	1,52	0,76	0,101	7,53	0,001	1
D	3,097	1,548	0,101	15,33	0,001	1
A*A	1,897	0,949	0,151	6,26	0,001	1,25
B*B	3,398	1,699	0,151	11,21	0,001	1,25
C*C	0,215	0,108	0,151	0,71	0,492	1,25
D*D	1,36	0,68	0,151	4,49	0,001	1,25
A*B	3,205	1,602	0,175	9,16	0,001	1
A*C	-1,515	-0,757	0,175	-4,33	0,001	1
A*D	-1,655	-0,828	0,175	-4,73	0,001	1
B*C	0,14	0,07	0,175	0,4	0,696	1
B*D	-3,01	-1,505	0,175	-8,6	0,001	1
C*D	0,115	0,058	0,175	0,33	0,748	1



Şekil 6.10 Nikel kaplama kalınlığı için iki farklı açıklayıcı değişkenin birbirleri üzerine etkileri

Şekil 6.10’da görüldüğü üzere yarı parlak kaplama akımı ile yarı parlak kaplama süresi artışı nikel kaplama kalınlığını arttırmakta. Aynı şekilde parlak nikel kaplama akımı ve parlak nikel kaplama süresindeki artış da nikel kaplama kalınlığını arttırmaktadır. Dolayısıyla artan nikel kaplama kalınlığı ile krom kaplama kalınlığı da artmaktadır.



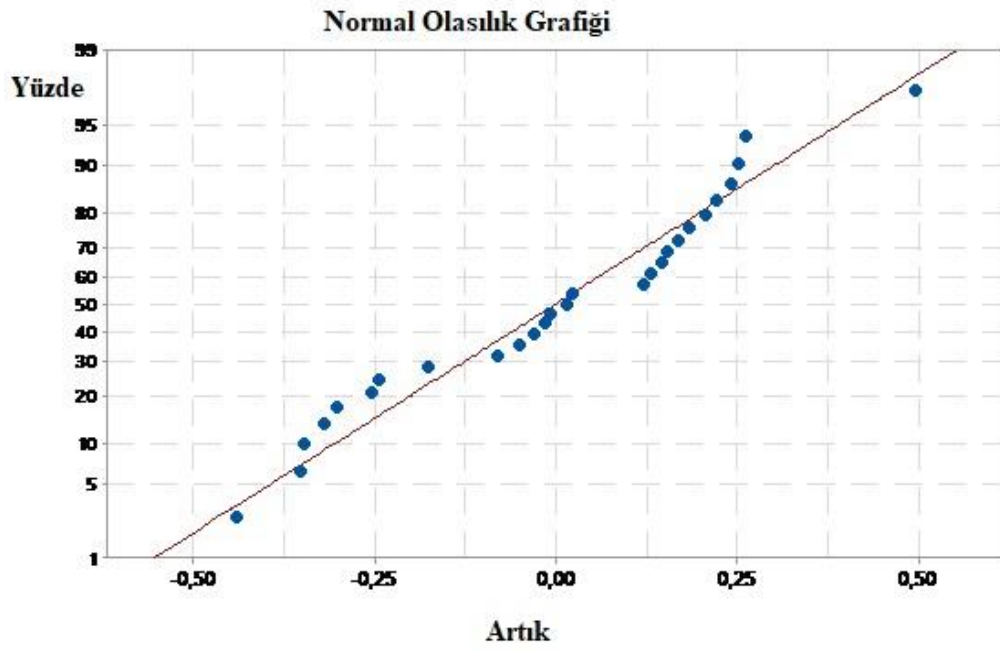
Şekil 6.11 Nikel kaplama kalınlığının kaplama süreleri ile ilişkisi

Şekil 6.11’de nikel kaplama kalınlığının kaplama süreleriyle olan ilişkileri gösterilmiştir. Yarı parlak nikel kaplama süresinin, nikel kaplama kalınlığı üzerine etkisinin daha fazla olduğu şekil 11’de gösterilmiştir. Ayrıca akım değerinin kaplama kalınlığı üzerine etkileri de verilmiştir.

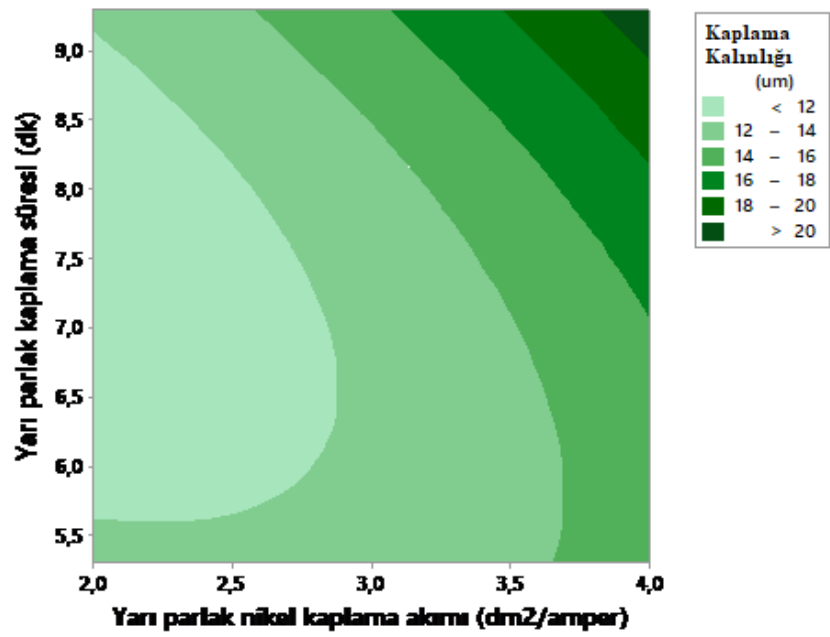
6.2.4 Yüzey Yanıt Metodu ve Multi Non-linear Regresyon

Açıklayıcı değişkenler, kaplama işlemi hakkında maliyet ve üretkenliği belirleme gibi önemli bilgiler verir ve kaplanmış yüzeylerin kalitesini etkileyebilir. Nikel kaplama kalınlığı krom kaplama kalınlığını belirlediğinden dolayı bir ürünün kalitesini etkileyen en önemli göstergelerden biridir. Nikel kaplamakalınlığı dikkate alınarak, kaplama kalınlığını tahmin etmek için, düzeltilmiş R² ve tahmin edilen R² değerlerine sahip bir MNLR modeli kullanılmıştır.

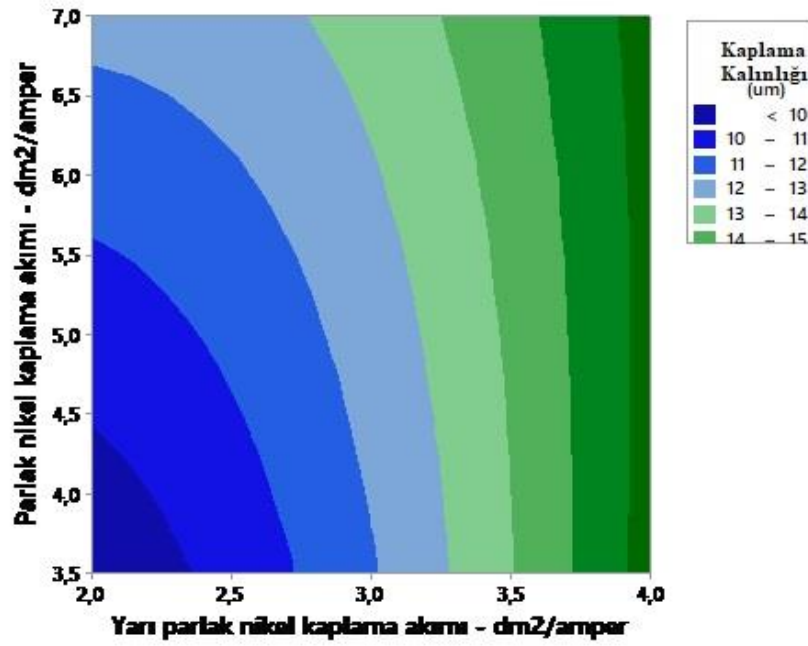
Ra'nın BBD'den türetilen MNLR modelindeki her bir ifadenin kabul edilebilirliği, Tablo 6.30'da gösterildiği gibi $p < 0.05$ dikkate alınarak tanımlanmıştır. Düzeltilmiş R² ve tahmin R² katsayıları, sırasıyla yanıt değişkenindeki değişikliği tanımlamanın yanı sıra oluşturulan modelin tahmin gücünü göstermektedir. Modelin güvenirliliği bakımından kabul edilebilir olabilmesi için, R² düzeltilmiş ve R² tahmin arasında fark 0,2 den küçük olması gerekmektedir. Nikel kaplama kalınlığı için oluşturulan CCD'dan üretilmiş Y modelindeki her bir ifadenin kabul edilebilirliği, Tablo 6.30'da gösterildiği gibi $p < 0,05$ dikkate alınarak tanımlanmıştır. Uyum iyiliği ölçüleri ve CCD'den türetilen MNLR modelinin tahmin gücü, sırasıyla $R^2_{adj} = 98,42$ ve $R^2_{pred} = 95,84$ 'de nikel kaplama kalınlığı modelinin gücünü göstermektedir. Şekil 6.12'de nikel kaplama kalınlığı için oluşturulan modelin için gerçek ve tahmin gücünü arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu istatistiksel analizler, sırasıyla yanıt değişkeni ve tahmin sonucu değişkenindeki farkı vurgulamada modelin kesinliğini göstermiştir. 0,05'ten küçük P değerleri, model terimlerinin anlamlı olduğunu gösterir.



Şekil 6.12 Normal yüzdeler olasılık ve harici kalıntılar grafiği



Şekil 6.13 Yarı parlak nikel akımı ve kaplama süresinin krom kalınlığına etkisi



Şekil 6.14 Yarı parlak nikel banyosu akımı ve parlak nikel banyosu akımı krom kalınlığına etkisi

6.2.5 Amaç Foksiyonu

İlk olarak amacımız müşterinin istediği krom kaplama kalınlığında fırın içi ızgara üretebilmemiz için optimum seviye enerji tüketimi olacak şekilde uygun banyolara verilecek akım değerlerini seçmektir. Deneyimizde birçok akım değerlerinin istenilen müşterinin istediği krom kaplama kalınlığına uygun olduğunu gördük. Fakat amacımız enerji sarfiyatını minumimda tutmak olduğundan 8. deneyde elde edilen tablo 6.9’ da belirtilmiş değerleri tespit ettik.

Buradaki amacımız Anova analizi yaparak bağımsız değişkenlerimiz olan yarı parlak nikel kaplama banyosuna verilen akım değerini, yarı parlak nikel kaplama banyosunda bekleme zamanını, parlak nikel banyosuna verilecek akım değerini ve parlak nikel banyosunda bekleme zamanını optimum değerde bularak istediğimiz krom kalınlık değerine ulaşmaktır. Tablo 7.1’de değişken girdiler ve çıkışlar gösterilmiştir.

Monte Carlo analizi yaparak ta 100.000 açıklayıcı değişken datası kullanarak 30 tekrar yaptırarak. Aynı şekilde zaman kazanarak bu analizde de krom kaplama kalınlığını 0,50108 µm ortalama değerini bulduk.

Sonuç olarak yaptığımız deney sonuçlarını, analizlerle %95 güven

aralığında %12 tahmin ile doğruladık. Bundan sonraki deneylerimizde de Anova ve Monte Carlo analizlerini kullanabiliriz.

Tablo 7.1 Değişken girdileri ve çıkışlar

Değişken Girdileri	Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A
	Yarı Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk
	Parlak Nikel Kaplama Banyo Akımı- dm^2/A
	Parlak Nikel Kaplama Banyoda Bekleme Süresi - dk
Çıkışlar	Nikel Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)
	Krom Kalınlık Ortalaması - μm (mikronmetre)

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bütün yaptığımız çalışmalarımız Bolu'da bulunan beyaz eşya sektörüne fırın içi ızgara üretimi yapan fabrikada gerçekleşmiştir. Bu fabrikada hemen hemen bütün beyaz eşya ana sanayi firmalarına senede milyonlarca adet fırın içi ızgara üretimi yapmaktadır. Bu yüzden kaplama tesisinde ürünlerin minimum sürede tutulması gerekmektedir. Enerji sarfiyatının da minimumda olması amaçlanmıştır. Özetle olabildiğince az enerji tüketimi yapılarak en hızlı şekilde ürünlerin müşterinin istediği kalitesel talepleri gerçekleştirerek krom kaplaması yapılmalıdır. Denemelerde birden fazla akım ve bekletilme sürelerinde müşterinin taleplerine uygun ürün elde edilmiştir. Yarı parlak nikel ve parlak nikel banyolarına verilen akım değerleri ve banyolarda ürünlerin bekleme süreleri deneyleri yapılması için deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımı ile birlikte yapılacak olan deneyler 27'ye düşürülmüştür. Bahsedilen 27 deney kaplama deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen nikel kalınlık değeri ve krom kalınlık değerleri çalışmada verilmiştir. Daha sonra matematiksel model çıkartılıp optimizasyon çalışması yapılmıştır. Denemelerde elde edilen kaplama kalınlığı değerleriyle analiz tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yarı parlak nikel banyosuna verilen akım, yarı parlak nikel banyosunda ürünlerin bekleme süreleri, parlak nikel banyosuna verilen akım ve parlak nikel banyosunda ürünlerin bekleme süreleri üç boyutlu grafiksel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda optimum değerlerin; yarı parlak nikel kaplama banyo akımı $3 \text{ dm}^2/\text{A}$, yarı parlak nikel kaplama banyosunda ürünlerin bekleme süresi 5,3 dk, parlak nikel kaplama banyo akımı $5,25 \text{ dm}^2/\text{A}$ ve parlak nikel kaplama banyosunda ürünlerin bekleme süresi 7,3 dk olduğu bulunmuştur. Verilerin doğruluğunu ve yaptığımız analizin geçerliliğini anlamak için Monte Carlo yöntemi ile belirsizlik analizi yapılmıştır. Monte Carlo simülasyonu sonucunda 100.000 adet rastgele değişken data üretildi. Bu işlem 30 tekrar ile yapıldı. Sonuçta 3.000.000 yanıt değişkeni belirlendi. Bu yanıt değişkenlerinin standart sapması bulundu. Deneysel veriler ile Monte Carlo yöntemi ile türetilen verilerin standart sapmalarının çok yakın olduğu görüldü. Bu yakınlıktan belirsizliğin çok az olduğu anlaşılmaktadır. P değerinin 0.05'den küçük olması Box- Benckhen yöntemi ile üretilen matematik modelin uygulanabilir ve kuvvetli olduğu görülmüştür. Çalışmada belirtilen matematik modelle yarı parlak nikel ve parlak nikel banyolarına verilen akım değerleri ve

banyolarda ürünlerin bekleme süreleri değeri için optimizasyon yapılarak krom kaplama parametreleri seçilebilir. Bu sayede hem zaman kazanımı hem de maliyet düşümü sağlanabilir.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmamızda beyaz eşya pişirici cihazlar sınıfında olan fırınların içerisinde bulunan ızgaraların dekoratif amaçlı krom kaplamalarının yapılması için en az enerji sarfıyatı ile en hızlı şekilde kaplanması deneyleri yapılmıştır. Fabrikanın içerisinde bulunan krom kaplama tesisinde bütün deneyler gerçekleştirilmiştir. Krom kaplama banyosu akımı ve krom kaplama banyosunda ürünlerin bekleme süreleri sabit tutularak yapılan optimizasyon çalışmalarında yarı parlak nikel banyosu akım değeri $3 \text{ dm}^2/\text{A}$, yarı parlak nikel kaplama banyosunda bekleme süresi 5,3 dk, parlak nikel banyosu akım değeri $5,25 \text{ dm}^2/\text{A}$, yarı parlak nikel kaplama banyosunda bekleme süresi 7,3 dk parametre değerleri istatistiksel analizle bulunmuştur. Matematik model oluşturulmuştur. Bu model nikel kaplama kalınlığı ve krom kaplama kalınlığı optimizasyonu için kullanılabilir. Deneme yapılan ürünlerin de krom –nikel kaplama hatalarının olmadığı tespit edilmiştir. Buda bize proses parametrelerin uygun olduğu hakkında bilgi vermiştir.

İleri ki çalışmalarda ızgaraları oluşturan tellerin çekme prosesinde malzeme tanecikli yapısı incelenebilir. Bu inceleme sonucunda ızgaraların yüzeyine nikel tutunma özelliklerini iyileştirici çalışmalar yapılabilir.

9. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında Vancouver atıf sistemi kullanılmıştır.

1. Çakır, A.,(1990) Metalik korozyon ilkeleri ve kontrolü, T.M.M.O.B., Makina Mühendisleri Odası, Yayın No. 131, Ankara,
2. James, H., Lindsay, J. (84, 8 (1997) 50-51) Decorative and hard chromium plating, plating and surface finishing,
3. Guffie, R.K., Hard chromium plating, Products Finishing, (1989) 74-79
4. Gerede A.Y (2003). Krom Kaplama Teknikleri. (Yüksek Lisans Tezi) Eskişehir
5. İdil Erol (2019).Armatürlerde Ni/Cr kaplama kalınlığının korozyon dayanımına etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Anadolu Üniversitesi,
6. Özgür Çiçek (2006). Nikel kaplama banyolarında titanyum sepetlerin davranışı yol yüzeyi mikro ve makrodokusunun kayma direncine etkisi. (Yüksek Lisans Tezi) İTÜ
7. Yasin Alemdağ (2000). Sıcaklık ve akım yoğunluğunun sert ve dekoratif amaçlı krom kaplamaların yapı ve özelliklerine etkisi. (Yüksek Lisans Tezi) KTÜ
8. İhsan Gökhan Serin (2013).Akımsız Ni – B – Mo kaplamaların tribolojik ve koroziv özelliklerinin incelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi) İTÜ
9. Tahsin Temel kuran (1997). Elektroliz ile nikel-krom kaplama. (Yüksek Lisans Tezi).Marmara Üniversitesi
10. Hüseyin Ş. Soykan & Yılmaz Karakaş (2006). Çelik yüzeylerin kaplanması. Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Türk Anonim Şirket
11. Sönmez F., Başak H., Baday Ş (2016). Haddeme işleminin yüzey yanıt yöntemi ile analizi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji GU J Sci Part:C 4(4): 275-283
12. Akçay H. (2014). Yanıt yüzeyi yöntemi ile çok yanıtlı süreç performansının en iyilemesi. (Doktora Tezi) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
13. S. Neşeli, İ. Asiltürk, S. Yıldız, H. Sağlam (2012).Tornalama işleminde cevap yüzey metodu ile kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine bağlı olarak modellenmesi 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye
14. Karaman M.F. Öztürk S., (2019) Experimental study of newly structural design grinding wheel considering response surface optimization and Monte Carlo simulation. www.sciencedirect.com. 5-12
15. Karaman M.F. Öztürk S. (2019), Modeling and optimization of machining parameters during grinding of flat glass using response surface methodology and probabilistic uncertainty analysis based on Monte Carlo simulation. www.sciencedirect.com. 3-16
16. Akgök Y. Z., Eroğlu. Şahiner M. (2018). Üretimden ticarete nikel. Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni (2018) 26: 53-62
17. Özbek K. (2018). Düz camın rodajlanmasında kullanılan kesme parametrelerinin istatistiksel yaklaşımla optimizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi) Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
18. Ay O (2017) Taramalı elektron mikroskobu (SEM)–EDS analizi, <http://www.kuark.org/2017/04/taramali-elektron-mikroskobu-sem-eds-analizi/>, (13, 05, 2018).

19. Chen X (1996) "Analysis and simulation of the grinding process", International Journal of the Machine Tools and Manufacture, 36:871.

