

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİĞİN SERT KROM KAPLANMASI VE ÇEŞİTLİ ÇALIŞMA  
PARAMETRELERİNİN KAPLAMA KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAHAR SARIGÜL**

**NİSAN 2016**

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİĞİN SERT KROM KAPLANMASI VE ÇEŞİTLİ ÇALIŞMA  
PARAMETRELERİNİN KAPLAMA KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bahar SARIGÜL**

**DANIŞMAN : Prof. Dr. Şadi ŞEN**

**ZONGULDAK**

**Nisan 2016**

**KABUL:**

Bahar SARIGÜL tarafından hazırlanan “Çeliğin Sert Krom Kaplanması ve Çeşitli Çalışma Parametrelerinin Kaplama Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 21/04/2016

**Danışman:** Prof. Dr. Şadi ŞEN

Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü




**Üye:** Prof. Dr. Türkan KOPAÇ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü



**Üye:** Doç. Dr. Kadir DEMİR

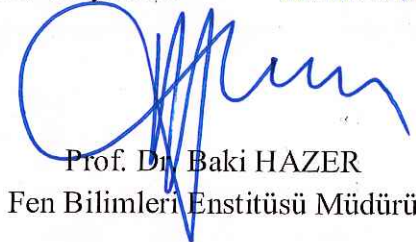
Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü



**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

11/05/2016



Prof. Dr. Baki HAZER  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

  
Bahar SARIGÜL

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÇELİĞİN SERT KROM KAPLANMASI VE ÇEŞİTLİ ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN KAPLAMA KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Bahar SARIGÜL**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Kimya Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şadi ŞEN**

**Nisan 2016, 117 sayfa**

Bu çalışmada, elektroliz yöntemiyle çelik üzerine sert krom kaplama işlemleri yapılmıştır. Katot görevindeki çelik numuneler, banyo tankı içerisinde anot ve elektrolit varlığında doğru akım uygulanarak kaplanmıştır. Anot olarak % 7 kalay alaşımlı kurşun anot, elektrolit olarak kromik asit ( $\text{CrO}_3$ ), sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ve sodyum hekzaflorasilikat ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) kimyasallarını içeren banyo çözeltisi ve banyo tankı olarak da polietilen bir tank kullanılmıştır. Sert krom kaplama işlemleri (2 cm x 3 cm) ebatlarında kesilerek hazırlanan çelik numunelere uygulanmıştır. Kaplama işlemleri sırasında banyo çözeltisi sıcaklığı, akım yoğunluğu, anot - katot arası mesafe, kaplama süresi, banyo çözeltisindeki kromik asit konsantrasyonu ve banyo çözeltisine florür ilavesi gibi çalışma parametreleri değiştirilerek, bu parametrelerin kaplamaya olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, banyo çözeltisi sıcaklık değerleri 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C; akım yoğunlukları 25 A/dm<sup>2</sup>, 35 A/dm<sup>2</sup>, 45 A/dm<sup>2</sup>, 55 A/dm<sup>2</sup>; banyodaki kromik asit konsantrasyonları 200 g/L, 225 g/L, 250 g/L, 275 g/L; kaplama

## ÖZET (devam ediyor)

süreleri 1 saat, 2 saat ve 3 saat; anot - katot arasındaki mesafe 20 mm, 30 mm, 40 mm; banyo çözeltisinde florür mevcut olduğunda kullanılan florür miktarı 1,48 g olarak seçilmiştir. Yapılan deneylerden bazıları, banyoya katalizör olarak florür konmadan yalnızca sülfat konularak tekrarlanmış ve böylece florürün kaplama üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sert krom kaplanmış çelik numunelerin, SEM cihazı ile numune kesitinden kaplama kalınlıkları ölçülüp numune yüzeyinden de EDX ve mikroyapı analizleri yapılmıştır. Sertlik analizleri ise Rockwell cinsi bir sertlik ölçme cihazında yapılmıştır.

SEM analiz sonuçlarından kaplama kalınlığının, akım yoğunluğu arttığında arttığı, banyo çözeltisi sıcaklığı arttığında azaldığı, banyodaki kromik asit konsantrasyonu arttığında azaldığı, anot - katot arasındaki mesafe azaldığında arttığı, banyo bileşimindeki florür varlığında ve kaplama süresi arttığında arttığı görülmüştür. Sertlik analiz sonuçlarından ise kaplama sertliğinin, akım yoğunluğu arttığında önce arttığı fakat 45 A/dm<sup>2</sup>'den sonra azaldığı, banyo çözeltisi sıcaklığı arttığında arttığı, banyodaki kromik asit konsantrasyonu arttığında azaldığı, anot - katot arasındaki mesafe arttığında anlamlı bir şekilde değişmediği, banyo bileşimindeki florür varlığında azaldığı ve kaplama süresi arttığında arttığı görülmüştür. Banyo çözeltisinde katalizör olarak sülfat ve florür birlikte mevcutken kaplanan numunelerin SEM cihazında yapılan yüzeydeki EDX analizlerinin tümünde F elementine rastlanmıştır. Bu sonuca göre; banyo çözeltisinde mevcut olan F elementinin kaplama yüzeyine iyi yapışma özelliğinin olabileceği kanısına varılmıştır. Kaplama yüzeyinde yapılan mikroyapı analizlerinde ise, numunelerin birçoğunda boşluklara rastlandığı, kaplama kalınlığı azaldığında homojen kaplama elde etme olasılığının arttığı ve yüksek akım yoğunluklarında yapılan kaplamalarda yanık kaplamalar elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Elektroliz, elektrolit, krom kaplama, kaplama kalınlığı, kaplama sertliği, akım yoğunluğu

**Bilim Kodu:** 405.04.00

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE HARD CHROMIUM PLATING OF STEEL AND EXAMINING THE EFFECT OF VARIOUS WORKING PARAMETERS ON THE CHROMIUM PLATING QUALITY**

**Bahar SARIGÜL**

**Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemistry**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Şadi ŞEN**

**April 2016, 117 pages**

In this study, hard chromium coating process was applied to steel samples by using electrolysis method. The steel samples which were used as cathode were coated by direct current using with anode and electrolyte in the plating tank. As an anode, 7% tin alloyed lead anode, as an electrolyte ; a tank solution containing chromic acid ( $\text{CrO}_3$ ), sodium sulphate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) and sodium hexafluorosilicate ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) and a polyethylene tank as a plating tank was used. The hard chromium plating process is applied to steel samples which were prepared (2 cm x 3 cm) in dimensions. During plating process, the effect of parameters on chromium coating was searched by changing the working parameters such as the temperature of tank solution, the current density, the distance between anode and cathode, the coating time, the concentration of chromic acid in the tank solution and the fluoride addition into the tank solution. For that purpose, the temperatures of the tank solution as 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C,

## ABSTRACT (continued)

the current densities as 25 A/dm<sup>2</sup>, 35 A/dm<sup>2</sup>, 45 A/dm<sup>2</sup>, 55 A/dm<sup>2</sup>, the concentrations of chromic acid in the tank solution as 200 g/L, 225 g/L, 250 g/L, 275 g/L, the coating times as 1 hour, 2 hours and 3 hours; the distances between anode and cathode as 20 mm, 30 mm, 40 mm and also the amount of fluoride when necessary used in the tank solution as 1,48 g were chosen. Some of the experiments which were made repeated by adding only sulphate as a catalyzer in the tank solution and so it was examined the effect of fluoride on the chromium plating. The coating thickness measured on the cross-section for hard chromium coated samples with SEM and analyzed EDX and microstructure on the surface of this samples. And also the hardness analysis were done with a Rockwell hardness device.

According to SEM analysis results, it was seen that the coating thickness increases depending on current density increase; the coating thickness decreases depending on the temperature of the tank solution increase; the coating thickness decreases depending on chromic acid concentration increase; coating thickness increases depending on the distance between anode-cathode decrease, and the coating thickness increases depending on fluoride content in the bath and coating time increase. According to coating hardness analysis results, it was seen that hardness increases depending on current density increase, but decreases depending on 45 A/dm<sup>2</sup> increase; hardness increases depending on both temperature of the tank solution and coating time increase; hardness decreases depending on chromic acid concentration increase and fluoride content in the bath; hardness doesn't change meaningfully depending on the distance between anode and cathode increase. In the bath solution which comprised of fluoride and sulphate as a catalyzer, fluoride element was detected in all of the EDX analysis results of coating samples which were made with SEM. Based on that result, it was realized that fluorine adheres well on the coating surface. The microstructure analysis applied on the coating surface, there were seen spaces in lots of samples and according to coating thickness decrease, it was seen that the probability of obtaining homogeneous coating increases. In addition it was obtained burned coatings at high current densities.

**Keywords:** Electrolysis, electrolyte, chromium plating, coating thickness, coating hardness, current density

**Science Code:** 405.04.00



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, sıkıntılarıma ortak olarak cesaretlendiren, öğrencisi olmakla gurur duyduğum, tez danışmanım Prof. Dr. Şadi ŞEN (BEÜ)'e,

Hayatımın her anında yanımda olan, varlıklarımı benden hiçbir zaman esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum her anda desteğini gördüğüm sevgili anneme, babama ve kardeşime,

Çalışmalarım süresince her zaman bana güç veren, sıkıntılarımı paylaşan ve manevi desteğini bir an olsun eksik etmeyen, bu süreçteki en büyük destekçim olan sevgili eşim Abdülkadir SARIGÜL'e,

SEM cihazında elde edilen kaplama yüzeyi mikroyapı analizlerinin yorumlanmasında yol gösteren ve yardımcı olan Müdür Oktay ELKOCA (ERDEMİR), Mühendis Gözde KARAÇALI (ERDEMİR) ve Uzman Cengiz TEMİZ (BEÜ)'e,

Krom kaplama banyo tankı hazırlığında, tankın temini konusunda yardımcı olan Ozan KATER (TARANTO PLASTİK VE GALVANO CİHAZLARI)'e,

Çalışmalarım sırasında göstermiş oldukları anlayış, numune temini ve analizlerde sundukları olanaklardan dolayı çalıştığım şirketim Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası T.A.Ş'ye,

Bu süre zarfında fikirlerine danıştığım Mühendis Gökhan SAVAŞ'a,

Manevi anlamda desteklerini hissettiren yöneticilerim ve çalışma arkadaşlarıma,

Ayrıca, adı burada geçmeyen, bu süreçte bana yardımcı olan herkese teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1 METALLERİN KOROZYONU VE ALINAN ÖNLEMLER .....	1
1.2 KAPLAMACILIĞIN TARİHÇESİ .....	3
1.2.1 Krom Kaplamanın Tarihçesi .....	4
1.2.2 Geliştirilmiş Krom Kaplama Tekniklerinin Sonuçları.....	4
1.2.3 Krom Kaplama İle İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	5
1.2.3.1 Geçmişte Yapılan Krom Kaplama Çalışmaları.....	5
1.2.3.2 Yakın Tarihte Yapılan Krom Kaplama Çalışmaları.....	6
BÖLÜM 2 KAPLAMACILIK.....	9
2.1 ELEKTROKİMYAYA GENEL BAKIŞ .....	9
2.1.1 Yükseltgenme - İndirgenme Reaksiyonları.....	9
2.1.2 Elektrokimyasal Piller.....	10
2.1.3 Elektroliz .....	12
2.1.4 Ayrışma Gerilimi.....	13

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.1.5 Aşırı Gerilim.....	14
2.1.6 Faraday Yasaları.....	15
2.1.7 Standart Hidrojen Referans Elektrot.....	16
2.2. METAL KAPLAMA YÖNTEMLERİ .....	17
2.3 KROM KAPLAMA .....	18
2.3.1 Krom ve Özellikleri .....	18
2.3.2 Krom Kaplama Çeşitleri .....	19
2.3.2.1 Dekoratif Krom Kaplama .....	19
2.3.2.2 Siyah Krom Kaplama .....	20
2.3.2.3 Sert Krom Kaplama .....	21
2.3.3 Krom Kaplama Çeşitlerinin Kıyaslanması.....	22
2.3.4 Krom Kaplama Banyoları .....	23
2.3.4.1 Banyoların İçeriği.....	23
2.3.4.2 Banyoların Kontrolü.....	25
2.3.5 Krom Kaplama Tankları .....	27
2.3.6 Krom Kaplama İçin Anotlar.....	28
2.3.7 Yüzeyi Kaplamaya Hazırlayan Ön İşlemler .....	29
2.3.7.1 İlk İşlem .....	30
2.3.7.2 Son işlem .....	30
2.3.8 Krom Kaplama Teorisi .....	33
2.3.9 Krom Kaplama Hesaplamaları .....	34
2.3.10 Çalışma Parametrelerinin Kaplamaya Bilinen Etkileri.....	35
2.3.10.1 Akım Yoğunluğu .....	35
2.3.10.2 Konsantrasyon ve Karıştırma.....	35
2.3.10.3 Sıcaklık .....	35
2.3.10.4 pH.....	36
2.3.10.5 Dağılma Gücü (Kaplama Gücü).....	36
2.3.10.6 Temel Metalin ve Elektrolitin Tabiatı .....	36
2.3.10.7 Katalizörler .....	37
2.3.11 Krom Kaplama Prosesinde Yaşanmış Bir Tecrübe .....	38
2.3.12 Kaplamanın Kontrolü.....	38

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3.12.1 Kaplama Kalınlığı .....	39
2.3.12.2 Kaplama Sertliği.....	39
2.3.13 Krom Kaplama Prosesinde İş Güvenliği ve Alınması Gereken Önlemler.....	40
2.3.14 Krom Kaplamanın Kullanım Alanları .....	41
2.4 TİCARİ YÖNDEN METAL KAPLAMACILIK .....	42
2.5 KAPLAMACILIKTA MALİYET TASARRUFU .....	43
2.6 GALVANO SEKTÖRÜNDE MESLEK HASTALIKLARI VE ZEHİRLENMELER..	44
2.6.1 Metabolizmadaki Etkileri.....	45
2.6.2 İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri .....	45
2.6.3 Zararlı Etkilerinden Korunma Yöntemleri.....	46
<b>BÖLÜM 3 DENEYSEL KISIM .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 KULLANILAN MALZEMELER VE SİSTEMLER .....</b>	<b>47</b>
3.1.1 Kimyasal Maddeler.....	47
3.1.2 Deney Düzenegi .....	48
3.1.2.1 Banyo Tankı.....	48
3.1.2.2 Anot .....	49
3.1.2.3 Karıştırıcı .....	50
3.1.2.4 Isıtıcı .....	51
3.1.2.5 Güç Kaynağı .....	51
3.1.2.6 pH Metre.....	51
3.1.2.7 Hassas Terazı .....	52
<b>3.2 KAPLAMA İŞLEMİ ÖNCESİ NUMUNE HAZIRLIğI.....</b>	<b>53</b>
3.2.1 Numune Özellikleri .....	53
3.2.2 Numune Boyutları .....	53
3.2.3 Numune Hazırlığı .....	53
<b>3.3 KAPLAMA DENEYLERİ .....</b>	<b>53</b>
<b>3.4 KAPLAMA ANALİZLERİNDE KULLANILAN CİHAZLAR .....</b>	<b>57</b>
3.4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	57
3.4.2 Sertlik Ölçüm Cihazı .....	58

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	Sayfa
BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	61
4.1 ÇALIŞILAN PARAMETRE DEĞERLERİ VE KAPLAMA ANALİZ SONUÇLARI	61
4.2 KAPLAMA KALINLIĞI ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE KALINLIĞIN PARAMETRELERE BAĞLI DEĞİŞİMİ.....	65
4.2.1 Akım Yoğunluğunun Kalınlığa Etkisi .....	65
4.2.2 Sıcaklığın Kalınlığa Etkisi .....	69
4.2.3 Banyodaki Kromik Asit Konsantrasyonunun Kalınlığa Etkisi .....	72
4.2.4 Anot - Katot Arasındaki Mesafenin Kalınlığa Etkisi .....	73
4.2.5 Banyodaki Florür Varlığının Kalınlığa Etkisi .....	75
4.2.6 Kaplama Süresinin Kalınlığa Etkisi.....	76
4.3 KAPLAMA SERTLİĞİ ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE SERTLİĞİN PARAMETRELERE BAĞLI DEĞİŞİMİ.....	77
4.3.1 Akım Yoğunluğunun Sertliğe Etkisi .....	77
4.3.2 Sıcaklığın Sertliğe Etkisi.....	81
4.3.3 Banyodaki Kromik Asit Konsantrasyonunun Sertliğe Etkisi.....	85
4.3.4 Anot - Katot Arasındaki Mesafenin Sertliğe Etkisi.....	86
4.3.5 Banyodaki Florür Varlığının Sertliğe Etkisi .....	91
4.3.6 Kaplama Süresinin Sertliğe Etkisi.....	92
4.4 KAPLAMA YÜZEYİ EDX ANALİZ SONUÇLARI .....	93
4.5 KAPLAMA YÜZEYİ MİKROYAPI ANALİZ SONUÇLARI .....	96
4.6 SONUÇLAR.....	106
KAYNAKLAR .....	109
EK AÇIKLAMALAR .....	115
ÖZGEÇMİŞ .....	117

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Korozyona uğrayarak aşınmış bir malzeme. ....	2
Şekil 1.2 Çukurcuk korozyonunun SEM cihazında görüntüsü. ....	2
Şekil 2.1 Yükseltgenme sayısındaki değişme ile yükseltgenme ve indirgenmenin ilgisi. ....	9
Şekil 2.2 Elektrokimyasal pil düzeneği. ....	11
Şekil 2.3 Elektroliz hücresi. ....	12
Şekil 2.4 Standart Hidrojen Elektrot (SHE). ....	17
Şekil 2.5 Dekoratif krom kaplama için işlem adımları. ....	20
Şekil 2.6 Siyah krom kaplama için olası işlem adımları. ....	21
Şekil 2.7 Sert krom kaplama için işlem adımları. ....	22
Şekil 2.8 Hull Cell kabı. ....	26
Şekil 2.9 Amerikan malı bir Hull Cell kabı. ....	27
Şekil 2.10 Alman malı bir Hull Cell kabı. ....	27
Şekil 2.11 Krom kaplama tesisindeki temizleme işlemleri. ....	32
Şekil 2.12 Asitleme hattında dağlama işlemleri. ....	32
Şekil 2.13 Krom kaplama hücresinde gerçekleşen olaylar. ....	33
Şekil 2.14 Krom kaplama mekanizması. ....	34
Şekil 2.15 Hiç işlem görmemiş krom kaplı yüzey (100 büyütme). ....	37
Şekil 2.16 Katalizör ilave edilmiş mikro çatlaklı krom kaplı yüzey (100 büyütme). ....	37
Şekil 2.17 Katalizör ilave edilmiş mikro çatlaklı krom kaplı yüzeyin 2 yıl sonraki hali. ....	38
Şekil 2.18 Krom tankı ventilasyonu. ....	41
Şekil 3.1 Tez çalışmasında kullanılan banyo tankının çizimi. ....	49
Şekil 3.2 Tez çalışmasında kullanılan banyo tankı. ....	49
Şekil 3.3 Anotun banyo çözeltisine daldırıldığı andaki görüntüsü. ....	49
Şekil 3.4 Kaplama deneylerinde kullanılan karıştırıcı. ....	50
Şekil 3.5 Isıtıcının düzenek içerisinde yer alan bir fotoğrafı. ....	51
Şekil 3.6 Deney düzeneği. ....	52
Şekil 3.7 Deney düzeneğinin yakından görünümü. ....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.8 Krom kaplanmış numunelerden bazı örnek fotoğraflar. ....	55
Şekil 3.9 Çeliğin kaplamadan önceki ve sonraki fotoğrafları. ....	55
Şekil 3.10 47 numaralı krom kaplanmış numunenin kalınlık, sertlik, mikroyapı ve EDX analizlerine hazırlığı. ....	56
Şekil 3.11 Krom kaplanmış numunelerin kaplama kalınlığı ve kaplama sertliği analizleri için ayrılarak hazırlanmış halleri. ....	56
Şekil 3.12 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazının fotoğrafları. ....	57
Şekil 3.13 Kaplama yüzeyi mikroyapı incelemesi için kullanılan SEM cihazı. ....	58
Şekil 3.14 Rockwell cinsi sertlik ölçüm cihazı. ....	58
Şekil 3.15 Sertlik testi yapılmış bir numune. ....	59
Şekil 4.1 Çizelge 4.3'teki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	66
Şekil 4.2 Çizelge 4.4'teki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	67
Şekil 4.3 Çizelge 4.5'teki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	68
Şekil 4.4 Çizelge 4.6'daki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	70
Şekil 4.5 Çizelge 4.7'deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	71
Şekil 4.6 Çizelge 4.8'deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	72
Şekil 4.7 Çizelge 4.9'daki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	73
Şekil 4.8 Çizelge 4.10'daki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	74
Şekil 4.9 Çizelge 4.11'deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	76
Şekil 4.10 Çizelge 4.12'deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği. ....	77
Şekil 4.11 Çizelge 4.13'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	79
Şekil 4.12 Çizelge 4.14'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	80
Şekil 4.13 Çizelge 4.15'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	81
Şekil 4.14 Çizelge 4.16'daki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	82
Şekil 4.15 Çizelge 4.17'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	83
Şekil 4.16 Çizelge 4.18'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	84
Şekil 4.17 Çizelge 4.19'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	86
Şekil 4.18 Çizelge 4.20'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	87
Şekil 4.19 Çizelge 4.21'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	88
Şekil 4.20 Çizelge 4.22'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği. ....	89



## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.21 Çizelge 4.23'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.....	90
Şekil 4.22 Çizelge 4.24'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.....	92
Şekil 4.23 Çizelge 4.25'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.....	93
Şekil 4.24 Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 9 numaralı numunenin EDX sonuçları.....	94
Şekil 4.25 Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 25 numaralı numunenin EDX sonuçları.....	95
Şekil 4.26 Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 41 numaralı numunenin EDX sonuçları.....	95
Şekil 4.27 Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 51 numaralı numunenin EDX sonuçları.....	95
Şekil 4.28 Katalizör olarak yalnız sülfat içeren, florür içermeyen banyoda kaplanan 61 numaralı numunenin EDX sonuçları.....	95
Şekil 4.29 Katalizör olarak yalnız sülfat içeren, florür içermeyen banyoda kaplanan 62 numaralı numunenin EDX sonuçları.....	96
Şekil 4.30 Katalizör olarak yalnız sülfat içeren, florür içermeyen banyoda kaplanan 63 numaralı numunenin EDX sonuçları.....	96
Şekil 4.31 Çeliğin kaplanmadan önce 5000 ve 500 büyütme ile sol kenar yüzeyinden alınan görüntüsü.....	96
Şekil 4.32 Çeliğin kaplanmadan önce 5000 ve 500 büyütme ile merkez yüzeyden alınan görüntüsü.....	97
Şekil 4.33 Çeliğin kaplanmadan önce 5000 ve 500 büyütme ile sağ kenar yüzeyinden alınan görüntüsü.....	97
Şekil 4.34 25 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 17 numaralı numune (250 büyütme).....	98
Şekil 4.35 35 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 21 numaralı numune (250 büyütme).....	99
Şekil 4.36 45 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 25 numaralı numune (250 büyütme).....	99
Şekil 4.37 55 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 29 numaralı numune (250 büyütme).....	99
Şekil 4.38 29 numaralı numunenin ayrıca 1000 büyütme ile alınan görüntüsü.....	100
Şekil 4.39 20 mm anot - katot arası mesafede kaplanan 11 numaralı numune (250 büyütme). .....	101

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.40 30 mm anot - katot arası mesafede kaplanan 27 numaralı numune (250 büyütme). .....	101
Şekil 4.41 40 mm anot - katot arası mesafede kaplanan 43 numaralı numune (250 büyütme). .....	102
Şekil 4.42 Banyo çözeltisinde florür varken yapılan 6 numaralı numune (250 büyütme). ....	103
Şekil 4.43 Banyo çözeltisinde florür yokken yapılan 62 numaralı numune (250 büyütme). .	103
Şekil 4.44 200 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 49 numaralı numune (1500 büyütme). .....	104
Şekil 4.45 225 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 53 numaralı numune (1500 büyütme). .....	105
Şekil 4.46 250 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 20 numaralı numune (1500 büyütme). .....	105
Şekil 4.47 275 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 57 numaralı numune (1500 büyütme). .....	105

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Hidrojenin çeşitli metaller üzerindeki aşırı gerilimi. ....	15
Çizelge 2.2 Metal iyonlarının 25 °C'deki standart elektrot potansiyelleri. ....	19
Çizelge 2.3 Sert krom kaplama banyo bileşim örneği. ....	24
Çizelge 2.4 Sert krom kaplama çalışma şartları örneği. ....	24
Çizelge 2.5 Yoğunluk - bome ilişkisi tablosu [31]. ....	25
Çizelge 2.6 Fiziksel olarak bağlanmış kirliliklerin giderilmesi. ....	29
Çizelge 2.7 Kimyasal olarak bağlanmış kirliliklerin giderilmesi. ....	30
Çizelge 3.1 Bir litrede olması gereken kimyasal miktarları. ....	47
Çizelge 3.2 Güç kaynağında ayarlanan akım değeri. ....	54
Çizelge 4.1 Kaplama deneylerinde çalışılan parametreler. ....	61
Çizelge 4.2 Kalınlık, sertlik analiz sonuçları ve pH ölçüm verileri. ....	63
Çizelge 4.3 Akım yoğunluğunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	66
Çizelge 4.4 Akım yoğunluğunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	67
Çizelge 4.5 Akım yoğunluğunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	68
Çizelge 4.6 Sıcaklığın kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	69
Çizelge 4.7 Sıcaklığın kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	70
Çizelge 4.8 Sıcaklığın kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	71
Çizelge 4.9 Banyodaki kromik asit konsantrasyonunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, kromik asit konsantrasyonları değiştirilerek elde edilen deney verileri. ....	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.10 Anot - katot arasındaki mesafenin kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, farklı sıcaklıklarda anot - katot arası mesafe değiştirilerek elde edilen deney verileri. ....	74
Çizelge 4.11 Banyodaki florür varlığının kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, florür varlığında ve yokluğunda yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri. ....	75
Çizelge 4.12 Kaplama süresinin kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, farklı sürelerde yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri. ....	76
Çizelge 4.13 Akım yoğunluğunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	78
Çizelge 4.14 Akım yoğunluğunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	79
Çizelge 4.15 Akım yoğunluğunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	80
Çizelge 4.16 Sıcaklığın sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	82
Çizelge 4.17 Sıcaklığın sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	83
Çizelge 4.18 Sıcaklığın sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri. ....	84
Çizelge 4.19 Banyodaki kromik asit konsantrasyonunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, kromik asit konsantrasyonları değiştirilerek elde edilen deney verileri. ....	85
Çizelge 4.20 Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 25 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri. ....	87
Çizelge 4.21 Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 35 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri. ....	88
Çizelge 4.22 Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 45 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri. ....	89

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.23 Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 55 A/dm <sup>2</sup> akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri. ....	90
Çizelge 4.24 Banyodaki florür varlığının sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, florür varlığında ve yokluğunda yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri. ....	91
Çizelge 4.25 Kaplama süresinin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, farklı sürelerde yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri.....	92
Çizelge 4.26 Değişken akım yoğunluklarında kaplanan numunelerin kıyaslanması. ....	98
Çizelge 4.27 Değişken anot-katot arası mesafelerde kaplanan numunelerin kıyaslanması. ..	101
Çizelge 4.28 Değişken olarak banyo bileşimindeki florür belirlenerek kaplanan numunelerin kıyaslanması. ....	102
Çizelge 4.29 Değişken kromik asit konsantrasyonlarında kaplanan numunelerin kıyaslanması. ....	104



## EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK A Faraday Kanunu İle Bir Saatte Kaplanacak Krom Miktarı.....	115
EK B Kaplanacak Krom Miktarının Hesaplanması.....	115
EK C Kaplama Kalınlığının Hesaplanması.....	116







## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

E(AG)	: Teorik olarak ayrışma gerilimi, V
E(katot)	: Katodik potansiyel, V
E(anot)	: Anodik potansiyel, V
$E^0$	: Elektrot potansiyeli, V
$\eta$	: Aşırı gerilim, V
Eİ	: (i) akımı altında ölçülen elektrot potansiyeli, V
E0	: Akımsız (denge halinde) ölçülen elektrot potansiyeli, V
F	: Faraday sabiti
G	: Kaplanan krom miktarı, g
$A_e$	: Teorik olarak katotta toplanan 1 amper – saatlik krom miktarı, g
F	: Kaplanan alan, $dm^2$
J	: Akım yoğunluğu, $A/dm^2$
t	: Kaplama zamanı, h
$\eta_k$	: Katot akım verimi, %
D	: Kaplama kalınlığı, mm
d	: Özkütle, $g/cm^3$

### KISALTMALAR

<b>ABS</b>	: Akrilonitril Bütadien Stiren
<b>AFM</b>	: Atomic Force Microscopy
<b>PVD</b>	: Physical Vapour Deposition
<b>BEÜ</b>	: Bülent Ecevit Üniversitesi
<b>DC</b>	: Direct Current
<b>EDX</b>	: Energy Dispersive X-Ray Analysis

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

<b>EHC</b>	: Electrolytic Hard Chromium
<b>EMK</b>	: Elektro Motor Kuvveti
<b>FT-IR</b>	: Fourier Transform Infrared Spektroskopisi
<b>GSMG</b>	: Gayri Safi Milli Gelir
<b>MKE</b>	: Makine Kimya Endüstrisi
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PTFE</b>	: Politetrafloroetilen (teflon)
<b>PVC</b>	: Polivinilklorür
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope
<b>SHE</b>	: Standart Hidrojen Elektrodu
<b>XPS</b>	: X-Ray Photoelectron Spectroscopy

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 METALLERİN KOROZYONU VE ALINAN ÖNLEMLER

Korozyon, metallerde görülen bir yüzey olayıdır. Diğer bir anlamda korozyon, önlenmesi oldukça zor olan doğal bir olaydır. Fakat bazı çözümlerle belirli oranlarda yavaşlatılabilir. Korozyon; malzeme yüzeyinden başlayan ve malzeme derinliklerine doğru kimyasal ve elektrokimyasal bir reaksiyonla tesir oluşturarak bir malzemenin değişikliğe uğraması ya da aşınması olarak tanımlanır. Korozyon olayı, metallerin üretim işleminin ters yönlüsüdür [1].

Tabiatta soy metaller hariç, metallere saf olarak rastlanılmaz. Birçoğuna oksit, sülfür ya da karbonat şeklinde maden cevheri biçiminde rastlanır. Bunlardan enerji verilmek suretiyle teknik yöntemlerle saf metaller elde edilir. Bu durumdaki her metal, tekrar ilk madensel cevher şekline dönme şartını arar ve belli şartlarda da bu durumlarına geçer. Bu reaksiyona korozyon adı verilir. Kontak potansiyeli farklı olan iki metal arasında nemli bir ortam olduğu zaman meydana gelen elektroliz olayından doğan çok süratli bir aşınma (korozyon) tipi, elektrokimyasal korozyondur [1].

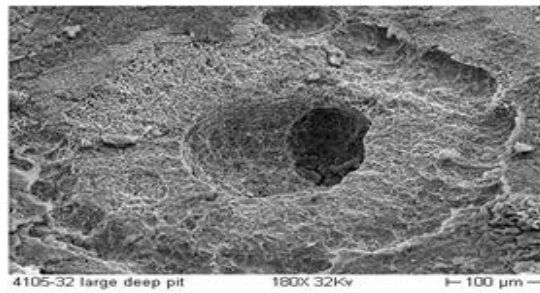
Daha önce de değinildiği gibi metallerin hemen hemen hepsi doğada bileşik halinde bulunur ve bu bileşiklerden ilave malzeme, enerji, emek ve bilgi kullanmak suretiyle metal veya alaşım üretilir. Üretilen metal ve alaşımların ise tekrar kararlı durumları olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bu nedenle, metaller içinde buldukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek önce iyonik duruma, sonra da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar. Böylece, kimyasal değişime veya bozunuma uğrarlar. Sonuçta, metallerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerinde istenmeyen bazı değişiklikler meydana gelir ve bu değişiklikler bazı zararlara yol açarlar. Hem metal malzemelerin bozunma reaksiyonuna, hem de bu reaksiyonun neden olduğu zarara korozyon adı verilir [1].

Korozyon büyük zararlara yol açarak önemli israf kaynaklarından birini oluşturur. Korozyon nedeniyle meydana gelen malzeme, enerji ve emek kaybının yıllık değeri, ülkelerin gayri safi milli gelirlerinin (GSMG) yaklaşık % 5'i düzeyindedir. Bu değer ciddi bir ekonomik kayıp demektir. Korozyon maddi kayıplardan başka, çevre kirliliğine de yol açar. Bu nedenle, korozyon ve korozyonu önleme ilkelerinin metal malzeme kullanan her kesim ve özellikle teknik elemanlar tarafından bilinerek uygulanmasında büyük yararlar vardır. Korozyonu önleme yöntemlerini doğru uygulamak suretiyle korozyon kayıpları % 20 ile 40 arasında azaltılabilir [2].

Genel anlamda ise korozyon, ortamın kimyasal ve elektrokimyasal etkilerinden dolayı metalik malzemelerde meydana gelen hasardır. Korozyon, esasında metalik malzemelerin içinde buldukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda, dışarıdan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelir [1].



**Şekil 1.1** Korozyona uğrayarak aşınmış bir malzeme [1].



**Şekil 1.2** Çukurcuk korozyonunun SEM cihazında görüntüsü [1].

Şekil 1.1'de korozyon sonucu aşınmış bir malzeme görülmektedir. Şekil 1.2'de ise pitting korozyonu olarak da adlandırılan çukurcuk korozyonu, metal malzeme yüzeyinin çok dar bölgelerinde çukurcuk (pit) oluşumuna neden olan bir korozyon türüdür. Bu çeşit bir korozyona uğrayan parçalar, kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelebilirler. Metal malzemelerde

bozunuma yol açması, yaygın olması ve kontrolünün zor olması gibi nedenlerden dolayı çukurcuk korozyonu en tehlikeli korozyon tiplerinden yalnızca biridir [1].

Malzemelerin bu şekilde korozyona uğramaması için önleyici veya korozyon olayını yavaşlatıcı birçok işlem yapılabilir. Üzerlerine yapılan kaplama işlemi de bunlar arasında en önemli ve en başarılı olanıdır [2].

Metallerin yüzeylerini korumak metalin kendisini korumaktır. Çünkü yüzeyde küçük bir noktada başlayan korozyon zaman içinde metalin iç kısımlarına doğru ilerler, böylece zamanla içeride paslanma ve çürüme gerçekleşir. Bu da metalin kullandığı ekonomik ömrünü kısaltır. Yılda üretilen demirin % 20'sinin bu yolla devre dışı kaldığı düşünülürse, yüzeyi korumak amaçlı alınacak önlemlerin ne kadar değerli olduğu anlaşılabilir [3].

Metal yüzeylerin korunması veya dekoratif amaçlı olarak, elektrokaplama ya da kimyasal kaplama yöntemleri uygulanabilir. Burada demir ya da kullanılan metal yüzeyinde, kimyasal aktifliği daha düşük olan bir başka metal kaplanır. Böylece kullanılan metal (çoğunlukla demir) dış etkilerden korunmuş olur. Bu amaçla yüzey kaplamada bakır, kalay, nikel, krom, çinko, gümüş, altın, alüminyum gibi metaller kullanılır [4].

Krom kaplama tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Krom kaplama korozyona, aşınmaya ve yıpranmaya karşı koruma dayanıklılığını artırma ve dekoratif amaçla daha iyi bir görünüm sağlama amaçlı yapılabilmektedir.

## **1.2 KAPLAMACILIĞIN TARİHÇESİ**

Elektrolitik yolla metal kaplamacılığı 1843 yılında başlamıştır. R. Boettper ilk nikel kaplamayı yapmıştır. Bu kaplamada banyo terkibi nikel sülfat ve amonyum sülfattır. Gittikçe yeni terkipler geliştirilmiş ve karbonlu anotlar kullanılmaya başlanmıştır. 1912'de İngiltere'de ilk parlaticı kullanılmış, 1915'ten sonra gelişmeler hızla artmıştır. Watt's ve De Verter özellikle kaplamanın kalite kontrolü üzerinde durmuşlardır. 1935'te de Thompson pH kontrolünün önemini belirtmiş, modern parlak nikel banyolarının ticari anlamda değer kazanmasını ve kullanılmasını ise Schlötter başlatmıştır [5].

### 1.2.1 Krom Kaplamanın Tarihçesi

Metal kaplamacılığın tarihçesi yukarıda bahsedildiği gibi ilk olarak nikel kaplamayla başlamıştır. Krom kaplama ise, pratik olarak ilk 1922-1924 tarihleri arasında başlamış, daha sonra gelişmeler birbirini takip etmiştir. İlk defa galvanoteknikle krom kaplama tecrübesini 1854'te Robert - Wilhelm Bunsen yapmıştır ve bu yöntemle kaynatılmış krom klorür eriyiğinden elektroliz yoluyla krom madenini ayırabilmiştir. Daha sonra A. Geuther 1859-1861 tarihleri arasında elektroliz yoluyla Faraday Kanunu'na göre kromik asitten krom madenini ayırmayı başarmış, başka bir bilim adamı H. Buff da 1857-1859 tarihleri arasındaki çalışmalarından sonra, kromik asitten kromun ayrılması patentini almıştır. 1890 yılında E. Placet ve J. Bonett ve bunu takiben F. Salzer 1907-1909 tarihlerinde de patent almışlardır. Pratik olarak krom kaplama çalışmalarında G.J. Sargent 1920'de büyük gelişme sağlamıştır. 1920'de Sargent'in krom kaplama çalışmalarından sonra Almanya'da Erik Liebreich 398054 nolu patenti almış, bir sene sonra da 1921'de G.Grube, kromik asit eriyiğine yabancı asit ilave ederek yeni bir krom kaplama usulü geliştirmiştir. 1923 tarihinde W. Pfanhauser krom banyolarında yabancı asitlerle ilgili bir bildiri yayınlamış, sonrasında E.Leibreich daha üstün bir teknik uygulayarak yabancı asit konusunda son patenti olan DRP 448526 patentini 1924 tarihinde almıştır. Bu tarih aralığında ve sonrasında birçok çalışma yapılmıştır. Sülfürik asitli, fluoroasitli banyo bileşimleri ile parlak krom, sert krom ve siyah krom kaplama banyoları üzerinden Amerika'da, Japonya'da ve Avrupa'da yeni buluşlar yapılmıştır [6].

### 1.2.2 Geliştirilmiş Krom Kaplama Tekniklerinin Sonuçları

Krom kaplamanın yapıldığı ilk tarihlerde çok ince bir krom kaplama yapılabiliyordu. Oysa günümüzde, o tarihlerdeki prensiplere uyularak modern teknikte, istenilen nitelikte krom kaplama teknikleri mevcuttur. Gelişmiş kaplama tekniği bize birçok şey kazandırmıştır. Bu geliştirilmiş usullerin sonucunda şu bilgilere erişilmiştir:

- a. Sağlığa zararlı yan etkileri giderilmiş veya çok azaltılmıştır. Atık su ve temiz hava sorunu birçok usulle ucuz olarak yapılmıştır.
- b. Banyoların akım verimleri yükseltilmiş, daha yüksek gerilimle çalışma önlenmiş, enerji tasarrufu sağlanmıştır. Galvanoteknikte düşük akımla verimlilik artırılarak altı değerlikli kromun ( $Cr^{+6}$ ) ayrışması sağlanmıştır.

- c. İyi seçilmiş akım kaynağı ve akım dağılımı ile yüksek akım yoğunluğunda çalışma imkanı sağlanmış, masraflı kaplama usullerinden vazgeçilmiştir.
- d. Elektroliz esnasında parça üzerinden (katottan) çıkan kuvvetli hidrojen gazı ile banyo yüzeyinde meydana gelen krom buharının (sisin) insan sağlığına çok zararlı olduğu tespit edildikten sonra çalışanların sağlığının korunması için krom banyolarına aspiratör koyma zorunluluğu getirilmiştir.
- e. Kromun ayrışması esnasında çok kuvvetli çıkan hidrojen, temel madenle krom arasında çok fazla pürüzlülük meydana getirir. Bunu önleme çareleri bulunmuştur. (Gaz alma usulleri)
- f. Sert krom kaplamada, uygulanan banyo bileşimleri ile kaplama tekniği her geçen gün yenileri ilave edilerek hızla gelişmektedir [6].

### **1.2.3 Krom Kaplama İle İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Tarihten günümüze kadar krom kaplama ile ilgili yapılan ve halen yapılmaya devam eden birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları, geçmişte ve yakın tarihte yapılan çalışmalar olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir.

#### **1.2.3.1 Geçmişte Yapılan Krom Kaplama Çalışmaları**

Metallerin aşınmaya veya korozyona karşı, bu ortamlardan etkilenmeyen metallerle kaplanmasına “Galvanoteknik” veya “Kaplamacılık” denir. Sert krom kaplamayı 2,5  $\mu\text{m}$ 'den kalın krom kaplama olarak tanımlayan A.R.Jones, sert krom kaplama içerisindeki yüzeye kadar uzamayan mikro çatlakları incelemiştir. Kaplama esnasında banyo bileşimini, sıcaklığı ve akım yoğunluğunu değişken olarak kullanarak, kaplamadaki mikro çatlaklıkları araştırmıştır. Bu değişkenlerin mikro çatlakları, mikro çatlakların da sertliği arttırdığını tespit etmiştir [7].

Doğru ve alternatif akımla sert krom kaplamanın özelliklerini araştıran Jong-Chee Chai., Do-Yon Chang. Ve Sik-Chol Kwon kaplamanın yapısını, sertliğini ve dayanıklılığını incelemiştir. İnceleme sonucunda, sıcaklığın kaplama sertliğini arttırdığını, kaplamanın

mikro çatlaklı olduğunu ve düşük sıcaklıklarda yapılan kaplamaların renginin mat olduğunu belirtmişlerdir [8].

### 1.2.3.2 Yakın Tarihte Yapılan Krom Kaplama Çalışmaları

Krom kaplama ile ilgili yapılan çalışmalar büyük bir gelişme göstererek günümüzde de hızla devam etmektedir. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden E. Bozyazı, M. Ürgen ve A. F. Çakır, yağlanmış piston koşulları altında elektrolitik sert krom ve arc - PVD kaplamanın piston aşınma davranışlarının sistematik olarak incelenmesini amaçlamışlardır. Arc - PVD CrN kaplamanın ve elektrolitik sert krom kaplamanın (EHC) her ikisinin de sıcaklık (oda sıcaklığı ve 60 °C), normal yük etkisi (5, 10 ve 30 Newton) ve formüle edilmemiş baz yağ üzerindeki davranışları incelenmiştir. Yağlanmış piston koşulları altında CrN'in performansının sert krom kaplamanın performansından daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Bu etkinin, normal yük ve sıcaklığın artırılmasıyla daha da bariz hale geldiği tespit edilmiştir [9].

Yine 2003 yılı içerisinde Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden A. Y. Gerede, krom kaplama tekniklerini incelemiştir. Bu çalışmada, ST37 standardına uygun DKP sac parçalara yapılan sert krom kaplamaların yapı ve özelliklerine, banyo sıcaklığının ve akım yoğunluğunun ne gibi etkileri olduğu araştırılmıştır. Sert krom kaplama deneyleri; üç değişik kromik asit konsantrasyonu ve konvensiyonel, anorganik katalizörlü ve organik katalizörlü olmak üzere üç farklı grupta yapılmıştır. Akım yoğunluğu sabit tutularak banyo sıcaklığının sert krom kaplama hızına ve akım verim yüzdesine olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca sabit banyo sıcaklığında, farklı akım yoğunluklarının kaplama hızına ve akım verimine etkileri incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda, genel olarak tüm banyo tiplerinde sabit akım yoğunluğunda, banyo sıcaklığı yükseldikçe kaplama hızının ve akım veriminin düştüğü; ancak sabit banyo sıcaklığında, akım yoğunluğunun artması ile kaplama hızının ve akım veriminin arttığı görülmüştür [10].

2007 yılında, Litvanya'daki Vilnius Üniversitesi, Kimya Enstitüsü'nden S. Surviliene, V. Jasulaitiene, O. Nivinskiene ve Cesuniene, Cr<sup>+3</sup> - üre banyolarında yapılan krom kaplamanın miktarına ve çözelti kimyasına etki eden hidroksilaminfosfat ve hidrazinin etkisini FT - IR, XPS and AFM ile çalışarak tespit etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, hidrazinin ve hidroksilaminfosfatın, krom kaplama üzerinde farklı etkilere yol açtığı belirlenmiştir.



Hidrazinin, kaplamanın kalitesini ve sertliğini daha kötü etkilediği görülmüştür. Kromun akım veriminin, hidrazin ve hidroksilaminfosfatın beraber bulunduğu durumda arttığı ortaya çıkmıştır. Bu durumun, kalınlaşan krom kaplama tabakasındaki CrH içeriğini düşürmek için bu ligantların yeteneğiyle ilişkilendirilebileceği ortaya atılmıştır. Elde edilen bu veriler, hidroksilaminfosfatın üre içeren banyo solüsyonunda uzun süreli çalışma ömrünün olduğunu ve iyi kalitede kaplama sağlayan aktif komplekslerin stabil kaldığını desteklemektedir [11].

Krom kaplama ile ilgili çalışmalar metallerin krom ile kaplanmasıyla sınırlı değildir. Günümüzde birçok krom ile kaplanmış plastikler de mevcuttur. Buna örnek olarak, 2012 yılında Denizli’de gerçekleşen 14. Uluslararası Malzeme Sempozyumu’nda yer alan N. S. Köksal, İ. Türkmen ve B. Filazinin çalışması olan ABS plastik malzemelerin kaplanabilirliğinin ve korozyon dayanımının incelenmesi verilebilir. ABS (akrilonitril-bütadien-stiren); kimyasal formülü  $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_x$  olan kalıplama ile üretilen, yaygın olarak kullanılan, darbe dayanımı yüksek, işlenmesi kolay, hafif ve sert bir polimerdir. Bu malzemelerin kullanım alanları; borular, otomotiv parçaları, koruyucu kasklar ve elektronik aletlerin plastik aksamlarıdır. Malzemelerin yüzeylerini kaplama ile malzemelerin özelliklerini iyileştirmek ve dekoratif açıdan cazip kılmak amaçlanmaktadır. Bu amaçla otomotiv ve savunma sanayinde çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan ABS plastik malzemeler seçilmiş ve elektrolitik yöntemle Cr - Ni ile kaplanmıştır. Bu çalışmada da, ABS plastik malzemelere elektrolitik yöntemle Cr - Ni alaşımı ile kaplama yapılmıştır. Uygulanan işlemlere bağlı kaplama kalınlıklarının değişimi ve kaplanmış malzemelerin koroziye etkiler karşısında dayanımı incelenmiştir. Numuneler üzerindeki ortalama Cr (krom) kaplama kalınlığı 0,1-1  $\mu\text{m}$ , Ni (nikel) kaplama kalınlığı ise 3,5 - 26  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Uygulanan bu farklı kaplama kalınlıklarına göre yoğun olarak oluşturulan tuzlu su ortamında korozyon testi uygulanmıştır. Numuneler üzerinden makro görüntüler alınarak korozyondan etkilenen bölgeler gözlenmiştir. Zamana bağlı olarak ölçülen korozyon için kaplama üzerindeki beyaz pas oluşum süresi esas alınmıştır. Uygulanan kaplama kalınlığı ile korozyon dayanımı arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır. Kaplama prosesinde banyoların sıcaklığı, çözelti derişimi ve bekleme süresi sabit tutulmuş, tek değişken anot ile katot arasındaki mesafe olmuştur. Plastik malzemelerin güzel görünümü ve korozyona dayanımı artırma amacıyla yapılan krom kaplama için öncelikle alt tabaka nikel ve bakır kaplama ile desteklenmiştir. Parçanın gösterdiği koroziye dirence en fazla katkı sağlayan tabakanın krom olduğu belirlenmiştir. Krom miktarı hiçbir zaman altındaki kaplamaların kalınlık değerlerinde değildir ve buna rağmen kromun, kalınlığındaki ufak bir değişimle yaptığı katkı açıkça görülmüştür. Koroziye dirençte nikelin de etkisi belirgin olup,

bakırın ise neredeyse etkisiz olduğu tespit edilmiştir. Fakat başarılı bir kaplama işlemi için bakır kaplama yapılmasının gerekli olduğu kanısına varılmıştır [12].

Geçmişte yapılan bu çalışmaların yanısıra bu tez çalışması, çeliğin sert krom kaplanması ve kaplama prosesindeki banyo çözeltisi sıcaklığı, akım yoğunluğu, anot - katot arası mesafe, kaplama süresi, banyo çözeltisindeki kromik asit konsantrasyonu ile florür varlığı gibi çeşitli çalışma parametrelerinin, kaplamanın kalınlık, sertlik ve mikroyapı özellikleri üzerine ne gibi etkileri olduğunu araştırmak amaçlı yapılmıştır. Krom kaplama prosesleri verim açısından oldukça düşüktür. (% 14 - % 23) Bu sebeple, kaplama işlemindeki parametre değerleri değiştirilerek kaplamalar yapıp, ideal bir krom kaplama için gerekli çalışma parametre değerleri bulunması amaçlanmış, en yüksek verimin hangi koşullarda elde edildiği tespit edilmeye çalışılmış ve günümüzdeki krom kaplama tesislerine bir katkıda bulunabilmek hedeflenmiştir.

## BÖLÜM 2

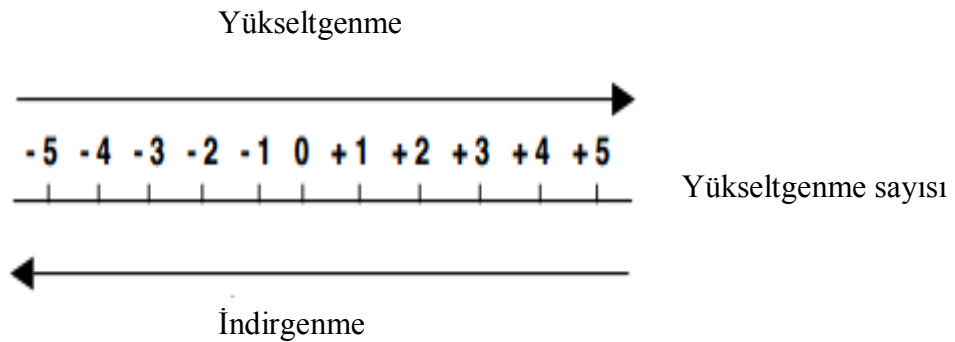
### KAPLAMACILIK

#### 2.1 ELEKTROKİMYAYA GENEL BAKIŞ

Kaplamacılık, elektrokimya prensiplerine dayanmaktadır. Elektrokimya temelde dışarıdan bir elektriksel potansiyel fark uygulanarak, yükseltgenme - indirgenme reaksiyonlarının meydana gelmesi veya pillerde olduğu gibi bir kimyasal reaksiyonun bir potansiyele neden olması durumlarında gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonları içermektedir. Elektrokimya oldukça geniş bir konu olmasına karşın, bu çalışmada elektrokimyaya kaplama prosesleri prensibini açıklayacak düzeyde değinmek, kaplamacılığın daha anlaşılır olmasını sağlayacaktır [13].

##### 2.1.1 Yükseltgenme - İndirgenme Reaksiyonları

Bir atom yükseltgendiğinde; elektronlarını kaybeder ve yükseltgenme sayısı artar. Bir atom indirgendiğinde ise elektronlar kazanır ve yükseltgenme sayısı azalır.



Şekil 2.1 Yükseltgenme sayısındaki değişme ile yükseltgenme ve indirgenmenin ilgisi [13].

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, atom yükseltgenirken yükseltgenme sayısı artar, atom indirgenirken ise yükseltgenme sayısı azalır. Böylelikle, bir reaksiyonda yükseltgenme

sayılarına bakılarak, reaksiyonda yükseltgenmenin veya indirgenmenin olduğu hemen görülebilir. Pozitif yüklü bir iyonun, elektron alarak yüksüz hale gelmesine ya da nötr atomun elektron alarak negatif yüklü iyon haline gelmesine *indirgenme* denir. Yüksüz bir atomun elektron vererek pozitif yüklü iyon haline gelmesine ya da negatif yüklü bir iyonun yüksüz hale gelmesine de *yükseltgenme* denir.



Örneğin; yukarıda verilen reaksiyonda sodyum atomu yükseltgenmiş, klor atomları ise indirgenmiştir. Yükseltgenme sayısı, sodyum metalinde 0'dan sodyum katyonunda +1'e yükselmiş, klor molekülündeki her bir klor atomu 0'dan -1'e inmiştir [13].

Yükseltgenme ve indirgenme tepkimeleri daima birlikte olur. Yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerinin bir arada olduğu tepkimelere yükseltgenme - indirgenme tepkimeleri ya da *redoks tepkimeleri* denir. Redoks terimi, indirgenme teriminin eş anlamlısı olan redüksiyon ile yükseltgenme teriminin eş anlamlısı olan oksidasyon terimlerinin ilk üç harfi birleştirilerek türetilmiştir. Bir redoks tepkimesinde yükseltgenen maddeye *indirgen*, indirgenen maddeye de *yükseltgen* denir. Ayrıca, yükseltgenme eğilimi büyük olan bir maddenin indirgenme eğilimi ise küçüktür [14].

### 2.1.2 Elektrokimyasal Piller

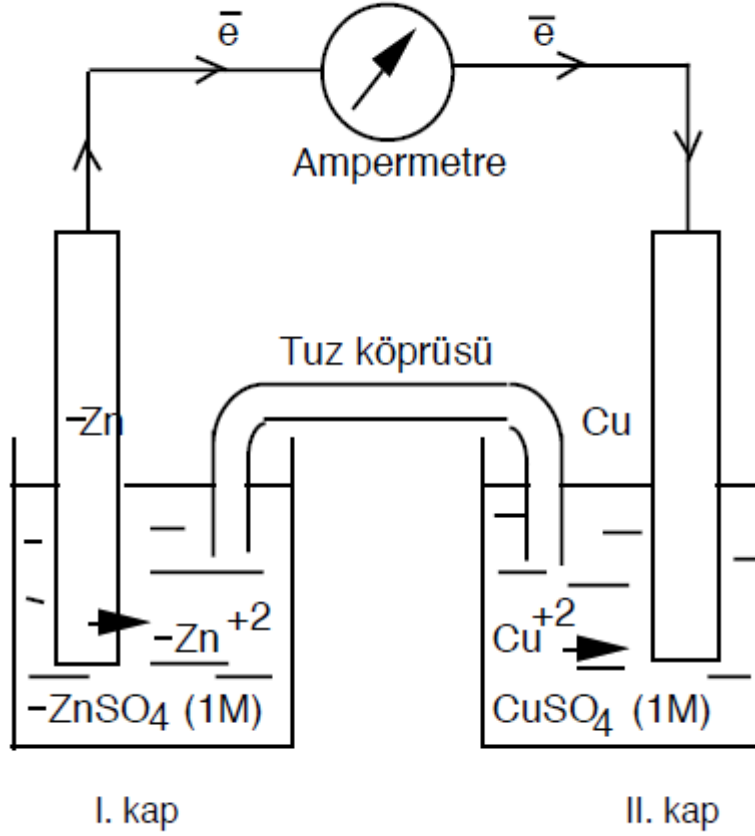
Yükseltgenme - indirgenme reaksiyonlarının uygun düzeneklerle oluşturulmaları ile, kimyasal enerji elektrik enerjisine veya elektrik enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülebilir. Bu amaçla hazırlanan düzeneklere *pil* denir [13].

Alessandro Volta (1800) ve Luigi Galvani (1780) birbirinden bağımsız olarak ilk kez kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürecek bir hücre yapmayı başarmışlardır. Bundan dolayı bu tür düzeneklere *Volta pili* ya da *Galvani pili* adı verilir [15].

Düzenekte kendiliğinden yürüyen bir redoks reaksiyonun, elektron verme eğiliminde ve elektron alma eğiliminde olan türleri iki ayrı bölmede yer alır ve elektron alışverişi dış devreden akan elektronlarla sağlanır. Böylece dış devrede elektron akımı sağlanarak elektrik enerjisi elde

edilir. Elektrokimyasal pil adını alan bu tür bir düzenek ile, türlerin yapılarından kaynaklanan potansiyel enerji farkı, elektrik enerjisine dönüşmüş olur.

Bir elektrokimyasal pil örneği Şekil 2.2’de verilen düzenek ile açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.2 Elektrokimyasal pil düzeneği [13].

I. kapta gerçekleşen olaylar;

- Yükseltgenmenin olduğu bölgedir.
- Zn çubuk incelir.
- $Zn(k) \rightarrow Zn^{+2} + 2e^{-}$
- Zn çubuk dış devreye elektron verir.
- Çözeltiye  $Zn^{+2}$  elektronları geçer.
- Çözeltide (+) iyonlar fazlalaşır.
- Tuz köprüsünden (-) iyonlar gelmeye çalışır.

II . kapta gerçekleşen olaylar;

- İndirgenmenin olduğu bölgedir.
- Cu çubuk dış devreden elektron alır.
- Gelen  $e^-$  lar çözeltideki  $Cu^{+2}$  iyonları ile birleşir.
- $Cu^{+2} + 2e^- \rightarrow Cu (k)$
- Cu çubuk kalınlaşır.
- Çözeltideki (+) iyonlar harcandıkça (-) iyonların oranı artar.
- Tuz köprüsü boyunca (+) iyonlar gelmeye çalışır.

O halde; pilde gerçekleşen reaksiyon aşağıdaki gibidir [13].



### 2.1.3 Elektroliz

Bir elektrolit çözeltilisine iki metal iletken daldırılır ve bunlara elektriksel potansiyel fark uygulanırsa çözeltiden bir elektrik akımı geçer. Böylelikle, çözelti içindeki iyonlarla akım taşınma olur. Bu sırada her iki elektrotta bazı kimyasal değişimler olur. Bu olaya *elektroliz* denir.



Şekil 2.3 Elektroliz hücresi [16].

Elektroliz işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan iki elektrot, çözelti ve güç kaynağından oluşan hücreye elektroliz hücresi denir. Şekil 2.3'teki gibi uygun bir kaptaki elektrolit çözeltilisine iki elektrot daldırılmış ve bu elektrotlar, dışarıdan bir doğru akım kaynağına

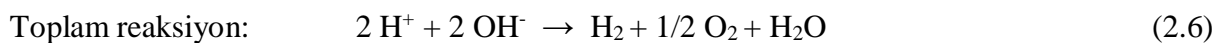
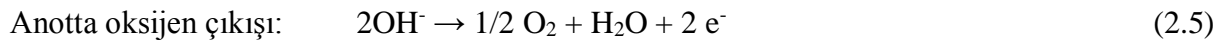
bağlanmıştır. Elektrotların (+) ucu anot, (-) ucu katot olarak adlandırılır. Kaynaktan katota elektron akışı olur. Elektrolitin içinde (+) yüklü iyonlar (yani katyonlar) katota giderek elektron alır ve indirgenir, (-) yüklü iyonlar (yani anyonlar) anota giderek orada elektron verir ve yükseltgenir. Anyonların verdiği elektronlar dış devrede anottan katota doğru akarak dengeyi sağlarlar. Çözelti içerisinde birçok anyon ve katyon varsa bunlardan önce hangilerinin yükseltgenip hangilerinin indirgeneceği meydana gelecek redoks reaksiyonlarının serbest enerjisine bağlıdır. En az enerji isteyen reaksiyon önce olur. Elektroliz sırasında elektrotlarda çözelti ayrışarak katı, sıvı veya gaz bir madde çözeltiye geçebilir. Çözeltiden akımın geçmesi ve elektrotlarda ayrışmanın olması için değişik elektrolitler için değişik olan minimum bir potansiyel farkın uygulanması gerekir. Bu minimum gerilim *ayrışma gerilimi* dir. Elektrotlarda dönüşen madde miktarı Faraday kanunlarına göre çözeltiden geçen elektrik miktarı ile orantılıdır [17].

#### 2.1.4 Ayrışma Gerilimi

Bir elektrolizde, elektrot reaksiyonlarının başlaması için gerekli olan minimum potansiyele *ayrışma gerilimi* denir. Teorik ayrışma gerilimi ( $E(AG)$ ) anot ve katotun denge haline karşı gelen elektrot potansiyelleri Nernst denklemi ile hesaplanarak bulunabilir.

$$E(AG) = E(katot) - E(anot) \quad (2.3)$$

Buradan elde edilen  $E(AG)$ , teorik ayrışma gerilimi olup, anot ve katotta hiç aşırı gerilim olmadığı kabulüne dayanır. Bu değer aynı hücrenin Elektro Motor Kuvveti değerinin ters işaretlisidir. Buna zıt elektromotor kuvveti (zıt EMK) denir. Ayrışma gerilimi = Zıt EMK şeklinde yazılabilir. Örneğin suyun elektroliz ile ayrışma reaksiyonu,



şeklinde yürür. Suyun elektrolizinde ayrışma gerilimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

Katot potansiyeli (oksidasyon olarak);

$$E (\text{katot}) = E^\circ - 0,059/2 \log (10^{-7})^2 = 0,413 \text{ Volt} \quad (2.7)$$

Anot potansiyeli:

$$E (\text{anot}) = E^\circ - 0,059/2 \log (1/10^{-7})^2 = - 0,814 \text{ Volt} \quad (2.8)$$

Suyun teorik ayrışma gerilimi,

$$E (AG) = E (\text{katot}) - E (\text{anot})$$

$$EAG = 0,413 - (- 0,814) = 1,227 \text{ Volt} \quad (2.9)$$

Bu değer suyun teorik ayrışma gerilimidir. Gerçekte suyun ayrışması için her iki elektrotta oluşan aşırı gerilimlerin de yenilmesi gerekir.

(Suyun gerçek ayrışma gerilimi 1,70 Volt' dan daha yüksektir.)

### 2.1.5 Aşırı Gerilim

Devreden hiç akım geçmezken ölçülen elektrot potansiyellerine denge potansiyeli denir. Devreden akım geçince elektrot potansiyellerinde polarizasyon nedeniyle değişmeler olur. Bir elektrodun akımsız halde ve akım altında ölçülen potansiyelleri arasındaki farka *aşırı gerilim* denir ve  $\eta$  ile gösterilir.

$$\eta = E_i - E_0 \quad (2.10)$$

Burada  $\eta$ : Aşırı gerilim,  $E_i$ : (i) akımı altında ölçülen elektrot potansiyeli,  $E_0$ : Akımsız (denge halinde) ölçülen elektrot potansiyeli olup birimleri volt'tur.

Elektrot yüzeyinde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar, ardarda yürüyen birçok reaksiyonun toplamından oluşur. Bu reaksiyonlardan herhangi birinin yavaşlaması aşırı



gerilimin oluşmasına neden olur. Çizelge 2.1’de hidrojenin çeşitli metaller üzerindeki aşırı gerilimleri gösterilmiştir [18].

**Çizelge 2.1** Hidrojenin çeşitli metaller üzerindeki aşırı gerilimi [19].

Metal	Akım Yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )				
Alüminyum	0,56	0,83	1	1,24	1,29
Bizmut	0,78	1,05	1,14	1,21	1,23
Kadmiyum	0,98	0,98	1,13	1,22	1,25
Bakır	0,48	0,58	0,8	1,19	1,25
Çinko	0,72	0,75	1,06	1,2	1,23
Kurşun	0,52	1,09	1,18	1,24	1,26
Demir	0,4	0,56	0,82	1,26	1,29
Nikel	0,56	0,75	1,05	1,21	1,24
Civa	0,9	1,04	1,07	1,1	1,12
Gümüş	0,47	0,76	0,88	1,03	1,09
Altın	0,24	0,9	0,59	0,77	0,8
Platin (Siyah)	0,01	0,03	0,03	0,05	0,05

### 2.1.6 Faraday Yasaları

Elektrik ve kimyasal değişme arasındaki nicel ilişki ilk kez Michael Faraday tarafından bulunmuştur. Faraday 1832 yılında, elektrotlarda ayrılan madde kütlelerinin devreden geçen yük miktarı ile doğru orantılı olduğunu denel yoldan bulmuştur. Yine Faraday 1833 yılında, devreden belli miktarda elektrik yükü geçirildiğinde elektrotlarda ayrılan farklı maddelerin eşdeğer kütle sayılarının aynı olduğunu denel olarak gözlemlemiştir. Faradayın ortaya koyduğu iki temel yasa aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- a. *Birinci Faraday Yasası*: Elektroliz sırasında katot veya anotta yani elektrotlarda indirgenerek veya yükseltgenerek ayrılan madde miktarları devreden geçen elektrik yükü ile doğru orantılıdır.
- b. *İkinci Faraday Yasası*: Farklı elektrolitlerin elektrolizi sırasında her hücreden geçen elektrik miktarları aynı ise, her hücre elektrotlarında indirgenerek veya yükseltgenerek ayrılan maddelerin eşdeğer kütle sayıları da aynıdır [15].

Bir başka ifadeyle Faraday Yasaları, çeşitli elektrotlarda bir valans - gram ayrışan madde kütlesi, elektrolitten geçen elektrik miktarına bağlıdır ve çeşitli elektrotlarda bir valans - gram ayırmak için aynı miktar elektrik gerekmektedir.

(96500 C = 1 FARADAY)

$$Q = I \times t \quad (2.11)$$

1 C = 1 Amper saniye

1 valans - gram element için, (96500) amper saniyeye ihtiyaç vardır.

96500 C = 96500 As = 1 Faraday

Galvanoteknikte AMPER - SAAT üzerinden çalışılır. Yani;

$$96500 / 3600 / \text{amper saniye} / \text{saniye} / \text{saat} = 26,8 \text{ Ah}$$

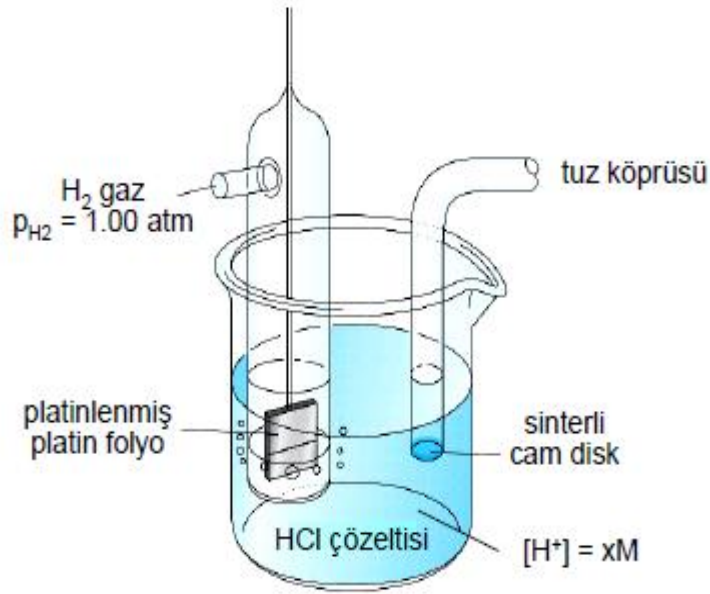
Elektrolizde % 100 akım ve randımında amper - saatteki toplam element miktarı aşağıdaki formülle bulunabilir [20].

$$Ae = \frac{\text{valans-gram}}{26,8 \text{ Ah}} = \text{gram} / \text{amper-saat} = \text{g} / \text{Ah} \text{ 'dir.} \quad (2.12)$$

### 2.1.7 Standart Hidrojen Referans Elektrodu

Yaygın bir şekilde kullanılacak ve faydalı olabilecek bağıl elektrot potansiyel verileri elde edebilmek için, bütün diğer elektrotlarla karşılaştırabileceğimiz uygun bir referans yarı - hücreye sahip olunmalıdır. Böyle bir elektrot kolayca yapılabilmesi, tersinir olması ve yüksek tekrarlanabilirliğe sahip olmasıdır. *Standart hidrojen elektrot (SHE)* bu özelliklere sahiptir ve yıllardır dünyanın her yerinde uluslararası referans elektrot olarak kabul edilmektedir. Hidrojen elektrot tipik bir gaz elektrottur [21].

Bir elektrodun potansiyeli tek başına belirlenemez. Ancak; iki elektrot arasındaki potansiyel fark ölçülebilir. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için hidrojen elektrodun hem indirgenme hem de yükseltgenme potansiyelleri sıfır kabul edilerek referans olarak alınmıştır. Aşağıda yer alan Şekil 2.5'te referans olarak alınan standart hidrojen elektrot gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Standart Hidrojen Elektrot (SHE) [22].

## 2.2. METAL KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Metal kaplama işlemi temel olarak iki farklı yol izlenerek yapılabilmektedir. Bunlardan ilki elektrolitik yolla yapılan kaplama işlemi (galvanoteknik), diğeri de ergimiş çinko içerisinde daldırma yoluyla yapılan galvanizlemedir. Tez konusu elektrolitik yolla ve doğru akımla yapılan kaplama işlemi olduğundan galvanoteknik açıklanacaktır.

Galvanoteknik, temel metale tutunma ve dayanıklılık bakımından en tercih edilenidir. Hatta bu teknik bugün o kadar ilerlemiştir ki, yakın tarihte yapılan krom kaplama çalışmalarında değinildiği gibi ABS (Akrilnitril – Butadion – Stiro) cinsi plastiklerin (ki bunlar iletken değildir) bazı ön işlemlerden sonra iletken hale getirilerek istenilen kaplamaları (bakır, nikel, krom, altın, sarı ve gümüş) yapmak mümkün olmaktadır. Bu kaplama cinsleri sadece dekoratif amaçlı ve ince kaplamalardır. Kaplanacak parçalar radyo, televizyon düğmeleri, küçük panolar ve bijuteride kullanılan parçalardır. Bu plastikler enjeksiyon makinelerinde şekillendirildikten

sonra iletken hale getirilerek istenilen kaplama yapılabilir. Galvanoteknik prensip olarak, bir metal yüzeyin elektrolitik olarak kaplanması işlemidir ve prensibinin temelinde yüzeyi kaplanacak olan cismin uygun bir elektrolite batırılması ve batırılan bu cismin katot olarak kullanılması yatar. Anot ise çöken metalden (kaplama cinsine göre çinko, bakır, nikel, kalay vs.) yüksek safiyette (% 99.998) olmalıdır. Krom kaplamada ise çözünmeyen kurşun anot (% 7 Sn<sup>+</sup> % 93 Pb) kullanılır. Elektrolitik yolla kaplamada kullanılan akım doğru akım olup düşük voltajlıdır ve güç kaynaklarından yararlanır. Güç kaynakları, 10 - 20 V ve 1200 - 2500 A verecek şekilde ayarlanmalı ve kademeli değil, değişken (variabl) güç kaynakları tercih edilmelidir [5]. Yani, galvanoteknikle kaplama işlemi daha önce değinildiği gibi elektroliz yöntemi ile yapılır.

## **2.3 KROM KAPLAMA**

Krom kaplama konusu irdelenmeden önce, krom ve özelliklerine aşağıdaki gibi değinilebilir.

### **2.3.1 Krom ve Özellikleri**

Kromun simgesi Cr'dir. Özkütlesi 7,19 g/cm<sup>3</sup>, moleküler kütlesi 52,01 g/mol ve birleşme değeri 3 ve 6'dır. Bu tez çalışmasında Cr<sup>+6</sup>'dan kaplama işlemi yapıldığından birleşme değeri 6 alınır. Krom ısıya çok dayanıklıdır. Çok sert bir metal olup, aşınmaz ve havadan oksitlenmez. Genellikle 3 veya 6 bağ yapar. Koruyucu bir oksit tabakası oluşturduğu için, normal şartlarda atmosfer koşullarında korozyona uğramaz. Teorik olarak, eğer krom 3 değerlikli (trivalent) formunda bulunuyorsa, % 100 katot veriminde 1 amper - saat enerji sarfiyatı ile 0,647 g krom kaplamak mümkündür. Eğer krom 6 değerlikli (heksavalent) formunda bulunuyorsa, aynı şartlarda 0,323 g krom kaplamak mümkündür. Ne yazık ki 6 değerlikli krom kaplama banyolarının katot verimi çok düşüktür ve bu değer ortalama olarak % 14 olup bazen % 27'ye kadar çıkabilmekte veya % 12 ya da altına kadar düşebilmektedir. Bunun nedeni, kromun elektrokimyasal serideki konumudur. Hidrojenin üzerinde yer aldığından, kromla birlikte bir miktar da hidrojen gazı açığa çıkar. Bu da krom kaplamada verimin düşmesine yol açar. Şiddetli gaz kabarcıklarının oluşumuna neden olan bu durumun etkileri, krom kaplama yüzeyinde gözlenir [23].

Elektrokimyasal seride, krom ve hidrojenin buldukları konumları Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.2** Metal iyonlarının 25 °C'deki standart elektrot potansiyelleri [24].

Metal İyonları	Standart Elektrot Potansiyeli (Volt)
Li <sup>+</sup> (baz)	-2,96 (Anodik korozyon eğilimi yüksek)
K <sup>+</sup>	-2,92
Ca <sup>+2</sup>	-2,90
Na <sup>+</sup>	-2,71
Mg <sup>+2</sup>	-2,40
Al <sup>+3</sup>	-1,70
Zn <sup>+2</sup>	-0,76
Cr <sup>+2</sup>	-0,56
Fe <sup>+2</sup>	-0,44
Ni <sup>+2</sup>	-0,23
Sn <sup>+2</sup>	-0,14
Pb <sup>+2</sup>	-0,12
Fe <sup>+3</sup>	-0,045
H <sup>+</sup>	0,00 (Referans)
Cu <sup>+2</sup>	+0,34
Cu <sup>+2</sup>	+0,47
Ag <sup>+</sup>	+0,8
Pt <sup>+4</sup>	+0,86
Au <sup>+</sup> (soy)	+1,50 (Katodik daha koruyucu)

### 2.3.2 Krom Kaplama Çeşitleri

Krom kaplama farklı amaçlar doğrultusunda yapıldığından çeşitli krom kaplama prosesleri mevcuttur. Krom kaplama çeşitleri temelde üç bölümde incelenebilir.

#### 2.3.2.1 Dekoratif Krom Kaplama

Dekoratif krom kaplama nikel kaplanmış malzemeler üzerine uygulanmaktadır. İsteğe bağlı olarak metal üzerine önce bakır, üzerine nikel ve en üstte krom kaplama yapılarak üç katmanlı

kaplama yapılabilir [25]. Demir üzerine doğrudan kaplanamayacağından, yapılan ara kaplamanın parlaklığı demirin parlaklığına bağlıdır; dekoratif krom kaplamanın parlaklığı da ara kaplamanın parlaklığına bağlı olarak değişmektedir [6]. Şekil 2.5'te dekoratif krom kaplama için işlem adımları gösterilmektedir.



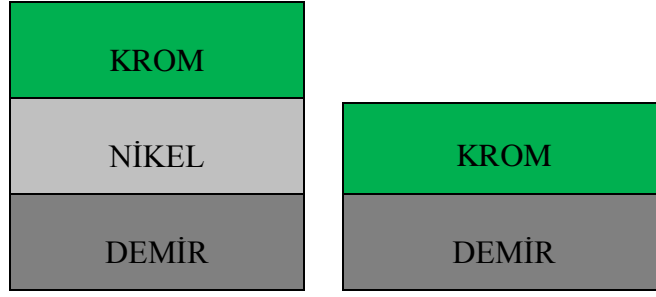
Şekil 2.5 Dekoratif krom kaplama için işlem adımları.

Dekoratif bir krom kaplamada; 0,3  $\mu$  - 0,8  $\mu$  kaplama yeterlidir. Çalışılacak akım yoğunluğu da 10 - 20 A/dm<sup>2</sup> ve çalışma zamanı da 3 - 5 dakikadır [20].

Dekoratif krom kaplama mikro çatlaklar dolayısıyla ana metali korozyondan koruyacak niteliğe sahip değildir. Dekoratif krom kaplama genelde bakır - nikel - krom kaplama sırasında uygulanır. Bakır, ana metale çok iyi tutunur ve birkaç mikron olarak kaplanır. Nikel bakıra çok iyi tutunur ve ana malzemeyi korozyona karşı korur. Çalışma şartlarına göre 10  $\mu$  – 50  $\mu$  kalınlığında uygulanır. Bunların üzerine dekoratif amaçlı krom kaplama yapılır. Bu kaplamadan sonra ayrıca polisaj (cilalama) işlemi uygulamaya gerek yoktur [26].

### 2.3.2.2 Siyah Krom Kaplama

Siyah krom kaplama banyoları ışığın yansımaları istenmeyen mat yüzey elde etmede kullanılır. Demir üzerine direkt olarak veya ara kaplama nikel üzerine kaplanır. Siyah krom kaplama 0,5  $\mu$  gibi ince bir kaplama olduğundan korozyon dayanıklılığı azdır. Bundan dolayı, nikel veya parlak krom kaplama üzerine yapılır. Genelde 15-25 °C'nin üstüne çıkılmaz, akım yoğunluğu da 80-100 A/dm<sup>2</sup>'dir [6]. Şekil 2.6'da siyah krom kaplama işlem adımları gösterilmektedir.



**Şekil 2.6** Siyah krom kaplama için olası işlem adımları.

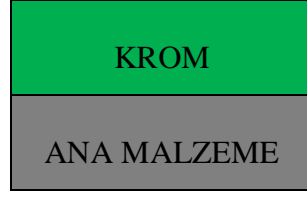
Siyah krom kaplamanın güneş ışınlarını absorblama yeteneği büyük, yansıtma yeteneği küçüktür. Bu yüzden güneş enerji (Solar Energy) sistemlerinde selektif kaplama olarak kullanılır [27].

Ayrıca, nikel veya parlak krom kaplama üzerine yapılan siyah krom kaplamanın korozyona dayanıklılığı da oldukça yüksektir. 250 saatlik tuz testine tabi tutulmuş fakat herhangi bir paslanma görülmemiştir [28].

Röntgen cihazları, optik cihazlar, fotoğraf makinaları, tabancaların dış yüzeyleri gibi parlaması istenmeyen yüzeylere mat siyah krom kaplama yapılır [6].

### **2.3.2.3 Sert Krom Kaplama**

Endüstriyel sert krom kaplama için en yaygın olarak kullanılan malzeme çeliktir. Çeliğin dışında çinko, bakır, pirinç gibi yumuşak madenler üzerine de sert krom kaplama uygulanmaktadır. Endüstriyel sert krom kaplama, diğer krom kaplama çeşitlerinden kalınlığı ve özellikleri bakımından ayrılır. Endüstriyel sert krom kaplama sanayinin ana gereksinimidir. Çünkü; sık dokuludur, korozyona ve kimyasallara karşı dayanıklıdır. Serttir, aşınmaya dayanıklıdır. Düşük yüzey pürüzlülüğüne sahiptir, hızlı ve kaliteli üretimi sağlar. Uygulama sıcaklığı düşüktür, deformasyona neden olmaz. Sıcaklığa dayanıklıdır, renk değiştirmez, kaynak edilebilir. Hasara neden olmadan yüzeyden sökülür, tekrar uygulanabilir [29]. Şekil 2.7’de sert krom kaplama için olası işlem adımları gösterilmektedir.



**Şekil 2.7** Sert krom kaplama için işlem adımları.

Şekil 2.7’de bahsedilen ana malzeme; çelik, çinko, bakır, pirinç v.s olabilir. Sert krom kaplamalar, atmosfere, aside, alkaliye ve tuzlara karşı kimyasal direnci yüksek olduğu ve sürtünme, darbe gibi fiziksel kuvvetlere karşı dayanımı nedeniyle endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadır [30].

Sert krom kaplanacak bütün çeliklerin yüzey sertlikleri önceden bilinmek zorundadır. Kaplanacak temel malzemenin yeterli sertlikte olması şarttır. Çok yüksek sertlikteki çelikler sert krom kaplanmaz. Çeliklerde Rockwell cinsi sertlik maksimum 57 - 62 HR 30T aralığındadır. Bu sertliğin üstündeki çeliklerin sertliği düşürüldükten sonra sert krom kaplanır. Buna dikkat edilmezse kaplamada sertlikler meydana gelebilir [6].

### **2.3.3 Krom Kaplama Çeşitlerinin Kıyaslanması**

Dekoratif krom kaplama ve sert krom kaplamaların yapımlarında kullanılan araçlar genellikle birbirine benzer. Kullanılan teknik, banyo bileşimleri, kaplama kalınlıkları ise çok farklıdır. Siyah krom kaplama 0,5 µ gibi ince bir kaplama olduğundan korozyon dayanıklılığı diğerlerine göre oldukça azdır. Bu yüzden, nikel ve dekoratif krom kaplama üzerine yapılır [6]. Dekoratif krom kaplama genelde bakır – nikel - krom kaplama sırasında uygulanır. Siyah krom kaplama, demir üzerine doğrudan veya ara kaplama nikel üzerine kaplanır. Sert krom kaplama ise doğrudan çelik üzerine uygulanabilir [6, 26].

Sert krom kaplamanın korozyondan koruma özelliği vardır. Dekoratif krom kaplamanın ise korozyondan koruma özelliği yoktur. Dekoratif krom kaplama banyolarında, diğer krom kaplama banyolarından farklı olarak amaca göre yarı parlaticı veya tam parlaticı kimyasallar kullanılabilir. Ayrıca, dekoratif krom kaplamada polisaj işlemi uygulamaya gerek olmayıp, mikro çatlaklı ve çatlaksız yapıları görülür [26].



Sert krom kaplamalarda çözünmeyen anotlarla çalışılır. Bu sebeple, banyoda CrO<sub>3</sub> azalması olur ve banyo devamlı kontrol edilmelidir. Sert krom kaplama banyolarının akım verimi ve dağıtma gücü diğer krom kaplama banyolarına nazaran zayıftır [30]. Banyo çözeltileri açısından kıyaslama yapılırsa, dekoratif krom kaplama konsantre banyolarda, sert krom kaplamalar ise seyreltik banyolarda yapılır [31].

### 2.3.4 Krom Kaplama Banyoları

Krom kaplama banyolarının içeriğindeki kimyasallara ve banyo çözeltisinin kontrolüne değinilir.

#### 2.3.4.1 Banyoların İçeriği

Krom kaplama banyoları, temelde iki bileşeni olan, belki en basit kaplama banyolarıdır. Bu iki temel bileşen; suda çözünebilir krom tuzu ve suda çözünebilir kromun kaplanmasını sağlayan katalizördür. Pratikte, ticari boyutta kullanılan tek krom tuzu *kromik asit*'tir. Asıl adı *kromik asit anhidrit* olup, diğer ismi *krom trioksit*'tir. Formülü CrO<sub>3</sub>'tür. Cr<sup>+6</sup> iyonlarının kaynağı olup, kaplanacak olan metale krom iyonlarını sağlamakla birlikte, kaplama işleminde gerekli olan elektrik iletkenliğini de sağlar. Kromik asidin anhidrit olarak belirtilmesinin nedeni, suda çözüldüğünde asit oluşturmasıdır [23].



Kırmızımsı plakette şeklinde olup, oldukça fazla su emme kabiliyeti olduğundan kuru yerde saklanmalıdır. Çünkü; havadan nem çeker. Kromik asit, tek başına kaplama için yeterli değildir. Eğer katalizör kullanılmaz ise katotta krom kaplanmaz, sadece hidrojen gazı açığa çıkar. En sık kullanılan ticari boyuttaki katalizör ise, *sülfirik asit* (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)'tir ve çok az miktarda kullanılır. Aslında, katalizör olan *sülfat iyonu* (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)'dur. Bundan dolayı formülü Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> olan *sodyum sülfat* da kullanılabilir. Diğer tipteki katalizör ise flor içeren *fluosilikat*'tir. En sık kullanılanı Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> *sodyum hekzaflorasilikat*'tir. Krom kaplama banyolarında katalizör olarak yalnız sülfat kullanıldığı gibi, sülfat ve florür birlikte de kullanılabilir. Ticari tipteki banyolarda, özellikle sülfat tipi katalizörler ile beraber kullanıldığında oldukça geniş kullanım alanları vardır. Sülfatın varlığında banyoya florür ilavesi, kaplanacak malzemeye kuvvetli yapışma özelliği katar. Ayrıca, kaplamaya parlaklık katmasının yanı sıra tane yapısının da düzgün

olmasını sağlar. Katalizörün etkisi, elektrokimyasal seride hidrojenin oldukça üstünde olmasına rağmen kromun kaplanmasına izin vermesidir. Çünkü; saf kromik asit çözeltisinden akım geçirilir ise, sadece hidrojen gazı emisyonu meydana gelir [23].

Dekoratif krom kaplama banyolarındaki kromik asit miktarı 250 - 300 g/L arasında olup, bu banyo çözeltileri nikel kaplanmış parçalar üzerine parlak ve homojen krom kaplamalar yapmak için geliştirilmiş bir elektrolittir. Parlak krom kaplama banyoları, mükemmel bir kaplama ve derin parlak dağılma özelliğine sahip bir prosestir. Kromik asit miktarı da 175 - 300 g/L aralığında çalışılır. Sert krom kaplama banyoları ise, özellikle demir ve çelik esaslı ana malzemeler üzerinde sert, parlak ve homojen kaplamalar yapmak için geliştirilmiş ve florür içeren bir elektrolittir. Kromik asit miktarı 250 - 300 g/L aralığında olup, ilaveten katalizör de içermektedir [32].

Çizelge 2.3'te sert krom kaplama banyo bileşimlerine ve Çizelge 2.4 ise sert krom kaplama çalışma şartlarına örnek bir reçete verilmiştir.

**Çizelge 2.3** Sert krom kaplama banyo bileşim örneği [33].

Bileşen	Derişim (g/L)
Kromik asit ( $\text{CrO}_3$ )	250
Sülfat iyonu ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2,5
Florür iyonu ( $\text{F}^-$ )	3

**Çizelge 2.4** Sert krom kaplama çalışma şartları örneği [33].

Çalışma Parametreleri	Önerilen Değerler
Banyo sıcaklığı	45-55 °C
Katot akım yoğunluğu	25-30 A/dm <sup>2</sup>

### 2.3.4.2 Banyoların Kontrolü

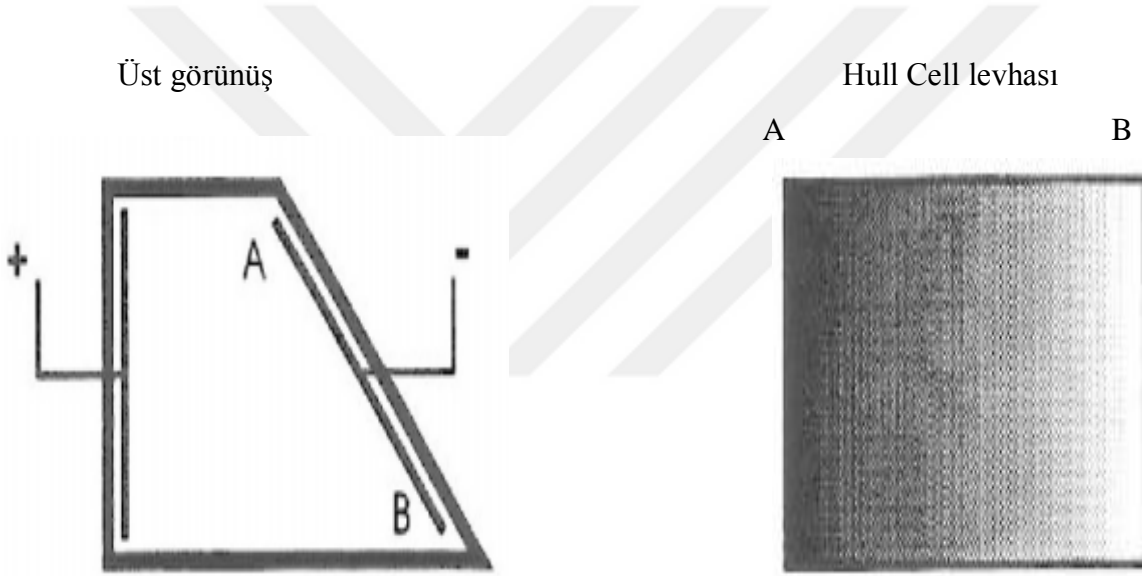
Krom kaplama banyoları, çalışma yoğunluğuna bağlı olarak sık sık  $\text{CrO}_3$  ve  $\text{SO}_4^-$  yönünden kontrol edilmeli ve analizleri yapılmalıdır. Banyoda kromik asit tayini için *bomemetre* kullanılması uygundur. Bomemetre ile belirlenen değerden, Çizelge 2.5'te gösterilen yoğunluk - bome ilişkisi tablosu kullanılarak litredeki kromik asit değeri elde edilir [26].

**Çizelge 2.5** Yoğunluk - bome ilişkisi tablosu [34].

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	°Be	CrO <sub>3</sub> (g/L)
1,02	1,5	15
1,03	4,0	43
1,06	8,0	85
1,09	12,0	129
1,11	14,5	157
1,13	16,5	185
1,15	19,0	215
1,17	21,0	243
1,18	22,0	257
1,19	23,0	272
1,21	25,0	301
1,23	27,0	330
1,25	29,0	360
1,30	33,5	438

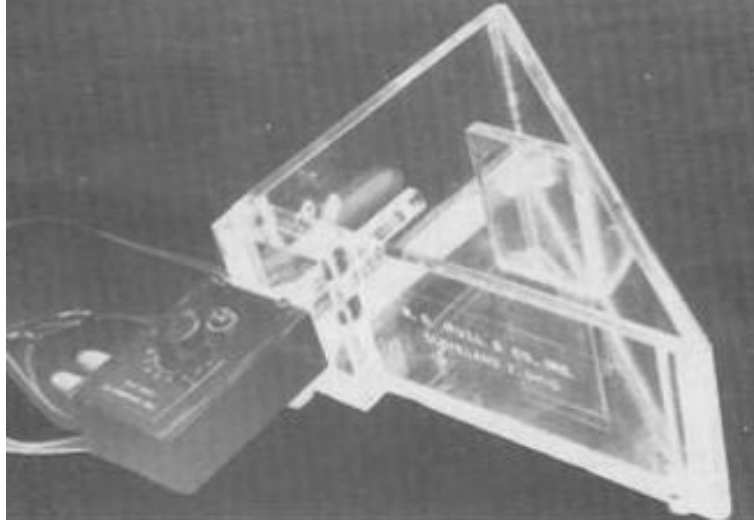
Krom banyosu bomesi 20 - 22 °Be değerinde olmalıdır. Düzeltme, bu değer göz önünde bulundurularak, her eksik °Be derecesi için 14 g/L  $\text{CrO}_3$  ilavesi ile yapılmalıdır. Örneğin; 100 L'lik bir banyoda 1 °Be eksiklik için 1,4 kg/100 L  $\text{CrO}_3$  ilave edilmelidir. Sülfürik asidin ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pratik ölçümü ise *sülfametre* ile yapılır. Eksik  $\text{H}_2\text{SO}_4$  analiz değerine göre ilave yapılarak düzeltilirken, fazla  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $\text{BaCl}_2$  ile  $\text{BaSO}_4$  halinde çöktürülerek giderilir. Katalizör/kromik asit oranını 1/100 veya 1/150 olarak ayarlamak en ideal orandır [26].

Kaplama banyolarının kontrolü *Hull Cell* kabı ile de yapılabilir. Kabın görüntüsü Şekil 2.8’ te gösterilmiştir. Kabın içinde düz bir anot levhası ve katotun karşısına yerleştirilmiş belli bir açıyla eğik duran düz bir katot levhası vardır. Katot genellikle olduğu gibi çelikten veya başka metallere yapılmış olabilir. Test edilecek kaplama çözeltisi küçük bir kaba konur (genellikle 267 mL’lik olan kap kullanılır) ve akım verilir. Enerjinin niteliğine göre A noktasındaki akım yoğunluğu B noktasındakinden daha büyüktür ve bu iki nokta arasında kalan yerlerde akım yoğunluğu A’daki ve B’deki değerlerin arasındaki tüm akım yoğunluğu aralığını içerir. *Hull Cell* Kabı ile birlikte verilen bir cetvel, kaptan geçirilen toplam akım değerine karşılık A ve B noktalarındaki ve ikisi arasındaki belli noktaların akım yoğunluğu değerlerini gösterir. Katotun üzerinde genellikle aynı akım yoğunluğuna maruz kalmış yerleri belli eden şeritler veya bölgeler oluşur [35].

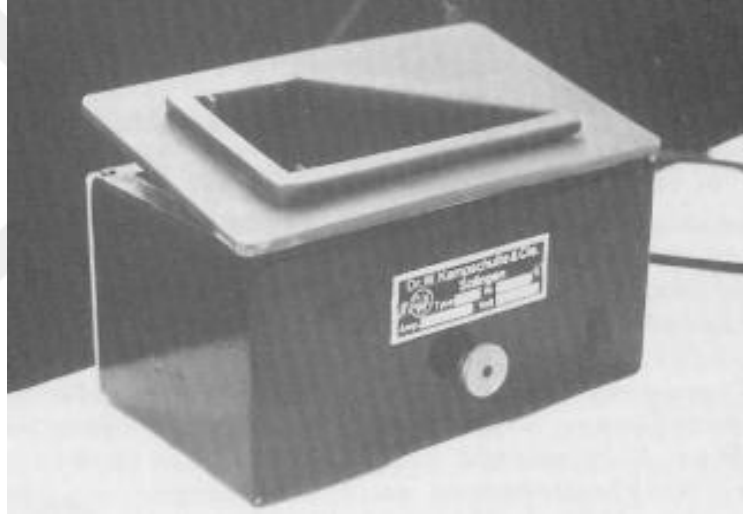


Şekil 2.8 Hull Cell kabı.

Şekil 2.8’te A, yüksek akım yoğunluğu tarafı; B ise düşük akım yoğunluğu tarafıdır. Akım A’dan B’ye gidildikçe logaritmik olarak azalır. Bu cihazın çok değerli bir araç olmasının sebebi belli bir aralıktaki akım yoğunluklarında kaplamanın nasıl yapıldığını bir kerede ve bir arada görebilmemize imkan tanmasıdır. Bu şekilde daha hassas gözlem yapılabilir [35]. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’te Amerikan ve Alman malı Hull Cell kapları gösterilmektedir [36].



**Şekil 2.9** Amerikan malı bir Hull Cell kabı [36].



**Şekil 2.10** Alman malı bir Hull Cell kabı [36].

### 2.3.5 Krom Kaplama Tankları

Kromik asit, son derece aşındırıcı bir sıvı olup, bu sıvı ile çalışılırken özel malzemeler kullanılması gereklidir. Küçük çaplı işler için, eğer florür mevcut değilse, dışı çelik kaplı seramik bir tank işe yarayacaktır. Yine de, bu sadece deney amaçlı çalışmalar için tavsiye edilir. Ticari boyuttaki çalışmalar için, tavsiye edilen tank tipi, dışı kurşun kaplanmış çelik tanktır. Kimyasal açıdan, kromik asidin aşındırıcı etkisinden dolayı saf kurşun kullanılamaz. Antimonlu kurşun (% 6 Sb) veya tellür içeren kurşun (% 0,2 Te) daha iyi sonuç verir. Her iki malzeme de sülfat tipi çözeltilerle çalışılırken oldukça iyi sonuç verirler. Eğer çözelti florür içeriyorsa en iyi yol, kurşun - kalay (% 7 Sn) alaşım tanktır. Nadiren de olsa, bazen çıplak

çelik kullanılır fakat bu pek tavsiye edilmez. Çelik, kromik asidin aşındırıcı etkisine maruz kalır ve eğer içinde florür iyonları bulunursa aşındırma etkisi oldukça hızlı olur. Kurşun kaplanmış tankın duvarlarında polipropilen (PP) levhalar kullanılması akıllıca olacaktır. Bu hem polarizasyon etkisini ortadan kaldırırken, hem de kurşunun elektrokimyasal olarak aşınmasını önlemiş olur. Bugün kullanımı tercih edilen tanklar, dışı PVC kaplı, çelik zırlı tanklardır. Bu plastik (PVC), kromik asidin aşındırıcı etkisine maruz kalmaz. PVC'nin tek dezavantajı 65 °C üzerindeki sıcaklıklarda kullanılamamasıdır fakat çoğu krom kaplama işlemi yaklaşık 54,5 °C dolayındaki sıcaklıklarda yapıldığından, bu durum önemli bir dezavantaj sayılmaz [37].

Tankların son teknolojik türleri PP, PE ve PTFE (teflon) kaplı, çelik zırlı tanklardır. Teflon'un avantajı kromik aside karşı güçlü olup, yüksek sıcaklıklarda da çalışmaya imkan vermesidir. Tek dezavantajı, pahalı olmasıdır fakat diğer avantajlarına bakılarak bu maliyete değmektedir.

### **2.3.6 Krom Kaplama İçin Anotlar**

Ticari olarak, krom daima çözünemeyen anotlar kullanılarak kaplanır. Çünkü, krom % 100 verimde çözünür ve çok daha düşük katot verimi ile kaplanır. Eğer çözünebilir bir anot kullanılsa idi, banyoda 6 - 7 kat fazla krom çözünecek, bu da banyonun krom tuzuna aşırı doymasına yol açarak, krom tuzlarının çökmesine ve daha başka problemlere yol açacaktı. Ayrıca tüm bunların yanında, kromun çok pahalı olması da bir başka dezavantajdır. En çok kullanılan, çözünmeyen anot tipi, bakır veya çelik bir iskelet üzerine kurşun alaşımından mamul anotlardır (antimon veya kalay alaşımli). Seyrek de olsa yalın karbonlu çelik anotlar kullanılmakla birlikte, bunlar çok çabuk aşındığından (korozyona uğrayarak) çözünebilir çok miktarda demir karışmasına yol açarlar fakat acil durumlarda, özel işlerin yerine getirilebilmesi için kullanılabilirler. Daha başka, özel geliştirilmiş tipte çözünmeyen anotlar mevcuttur ki; örnek olarak platin kaplanmış titanyum anotlar gösterilebilir. Bu tipteki anodu kullanmak için harcanan fazladan maliyete değip değmediğinin yüzde yüz garantisi yoktur [37].

### 2.3.7 YüzeYi Kaplamaya Hazırlayan Ön İşlemler

Zayıf bir kaplama mükemmel bir ön işleme idare edebilir fakat mükemmel bir kaplamayı zayıf bir ön işleme kullanmak mümkün değildir. Günümüzde gelişen teknolojiyle de desteklenen kaplama proseslerinde artık performans yükünün ağırlığı ön işleme doğru kaymış bulunmaktadır. Kaplamanın ana metale iyi yapışabilmesi için ana metalin (altlık malzeme) son derece temiz olması, yüzeyin herhangi bir film veya oksit tabakası içermemesi gerekmektedir. Temizleme işlemi birçok kademedен oluşur fakat bu tüm aşamalar doğru olarak uygulandığında, zayıf olan metalin mukavemetinden daha yüksek bir bağ mukavemeti elde edilebilmektedir. YüzeY kaplama işlemlerinde en önemli aşamanın kaplama tabakasının uygulanmasından önce altlık malzemesinin hazırlanması olduğu, kirletici atıkların altlık ile kaplama tabakasının hem elektriksel hem de yapısal sürekliliğini bozan bir engel olduğu ifade edilmektedir. Kirlilikler, yüzeyle yaptıkları bağlanma türüne göre fiziksel olarak bağlanmış ve kimyasal olarak bağlanmış olarak sınıflandırılmaktadır. Fiziksel olarak bağlanmış olanların bağ enerjilerinin düşük olmasından dolayı temizlenme enerjileri de düşüktür [38].

**Çizelge 2.6** Fiziksel olarak bağlanmış kirliliklerin giderilmesi [38].

Fiziksel olarak bağlanmış kirlilikler	Temizleme yöntemi
Kir, pas	Tel fırça ile fırçalama, aşındırma, alevle temizleme, toz püskürtme.
Metal tozu artıkları	
Parlatma/cilalama artıkları	
Kimyasal olarak absorblanmış sıvılar	Solvent ile yağ giderme, alkali
Yağ ve gresler	deterjan ile temizleme

**Çizelge 2.7** Kimyasal olarak bağlanmış kirliliklerin giderilmesi [38].

Kimyasal olarak bağlanmış kirlilikler	Temizleme yöntemi
Yüksek sıcaklık oksit kalıntıları	Asit veya alkali temizleme
Düşük sıcaklık mat filmler	
Korozyon ürünleri	
Bozuk kaplamalar	
Biyolojik oluşumlar	Biyolojik aktiviteyi engelleyiciler

Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7’de bazı kirlilikler ve bunların giderilmesinde kullanılan tipik yöntemler verilmiştir. Proses tasarımı mevcut kirliliği giderebilecek şekilde yapılmalıdır. Örneğin demir esaslı malzemelerin yüzeyindeki FeO, 500 °C’den hızla soğutulursa kararlı halde kalır ve bu asitle kısa sürede temizlenir. Yoksa oluşan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>’de yavaş, HCl’de daha hızlı çözünür. Paslanmaz çelikler gibi korozyon direnci yüksek metallerin oksitleri daha kuvvetli asitlere ya da alkaline temizlemeye ihtiyaç duyabilmektedir. Ön işlem, malzemeyi kaplama banyosuna yerleştirmeden önce yapılan çeşitli işlemler olup, ilk ve son yüzey işlemi olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.

### 2.3.7.1 İlk İşlem

İlk işlem ile gres, parlaticı ve çizme işleminde kullanılan bileşikler, yüzeyle bağlantısını kaybetmiş metal pulları, ağır pas ve yanmış yağ gibi ağır yüzey birikintileri uzaklaştırılmakta ve genellikle kaplama bölümünün bir parçası olup, çoğunlukla önce uygulanmaktadır.

### 2.3.7.2 Son işlem

Son işlem ise gres ve yağın en son izlerini uzaklaştırıp yüzeyi elektrolitik kaplamaya hazır hale getirir. Bu son safhadaki asit daldırmaların metalik pulları yahut ağır pası uzaklaştırması beklenemez. Bu safhada asitler sadece durulama sonrası kalan alkaline temizlemenin son izlerini

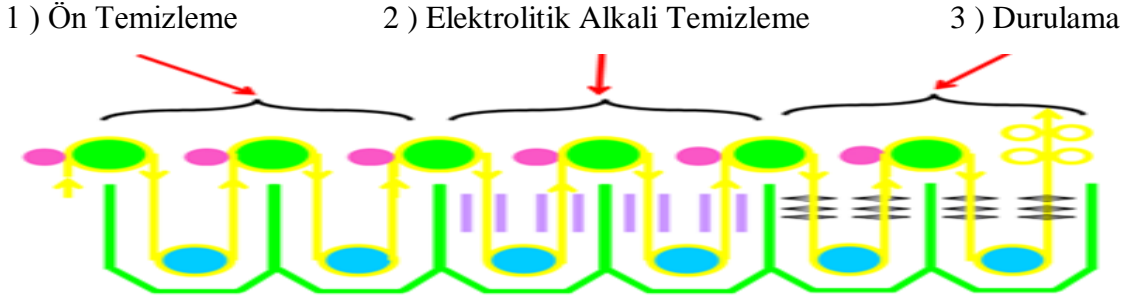


nötralle edecek ve yüzeyi elektrolitik kaplama için aktive edecektir. Aside daldırma metalik parça yüzeyinin kaplamaya hazır hale getirilmesi için seyreltik asit çözeltisine kısa süreli daldırılması işlemidir. Aktivasyondan sonra parça durulanır ve mümkün olduğunca çabuk kaplama çözeltisine gönderilir [38]. Malzeme kaplanmadan önce yapılan ön işlemler, yağ alma, polisaj (cilalama) ve dağlama olarak sınıflandırılabilir.

- a. Yağ alma: Mekanik işlem sonrasında, hemen her parçanın yüzeyinde yağ, kir ve oksit tabakası bulunur. Kaplama işleminden önce bu tabakaların mutlaka temizlenmesi gerekmektedir. Çünkü kaplanacak malzemenin üzerindeki kirlilikler, kaplamanın düzgün yapışmasını engeller [39]. Bu amaçla yapılan bazı temizleme işlemleri vardır. Kir ve yağdan temizleme için numuneler keçe ile parlatılır, sabunlu sıcak su ile yıkanır ve ardından basınçlı hava ile kurutulur [26].
- b. Polisaj (Cilalama) ve Parlatma: Polisaj ve parlatma, aşındırma olarak bilinen işlemin yüzey pürüzsüzleştirme için kullanılan kısmıdır. Aşındırma işlemi, metal yüzeyindeki çapakları ve parçacıkları aşındırıcı olarak adlandırılan ve göreceli olarak o metalden daha sert parçacıklar ile temizleme işlemidir. Polisaj, çıplak gözle görünemeyecek kadar küçük çizgiler kalıncaya kadar malzeme yüzeyinin aşındırıcı tozlarla çizilmesidir [40].
- c. Dağlama: Oksijene karşı ilgisi fazla olan bazı elementler çabuk oksitlenmektedir. Bilindiği gibi oksitli bir malzeme kaplanma olanağına sahip değildir. Bunun için yağı alınmış bir malzemenin (örneğin çelik) üzerindeki oksit tabakasının, bu tabakayı kemiren ya da yumuşatan asitlerle işlem görmesine *dağlama* denir. Bu asitler; sülfürik asit, hidroklorik asit, fosforik asit ve hidroflorik asit'tir.

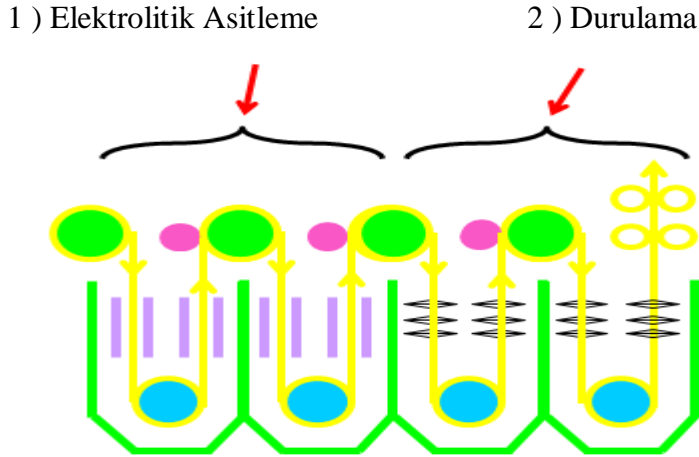
Örneğin; Sülfürik asit ile dağlama da 45 - 80 °C' de % 5 - 20'lik asidin içine daldırılarak dağlama yapılır [20].

Bir krom kaplama tesisinde yapılan ön işlemler Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Krom kaplama tesisindeki temizleme işlemleri [33].

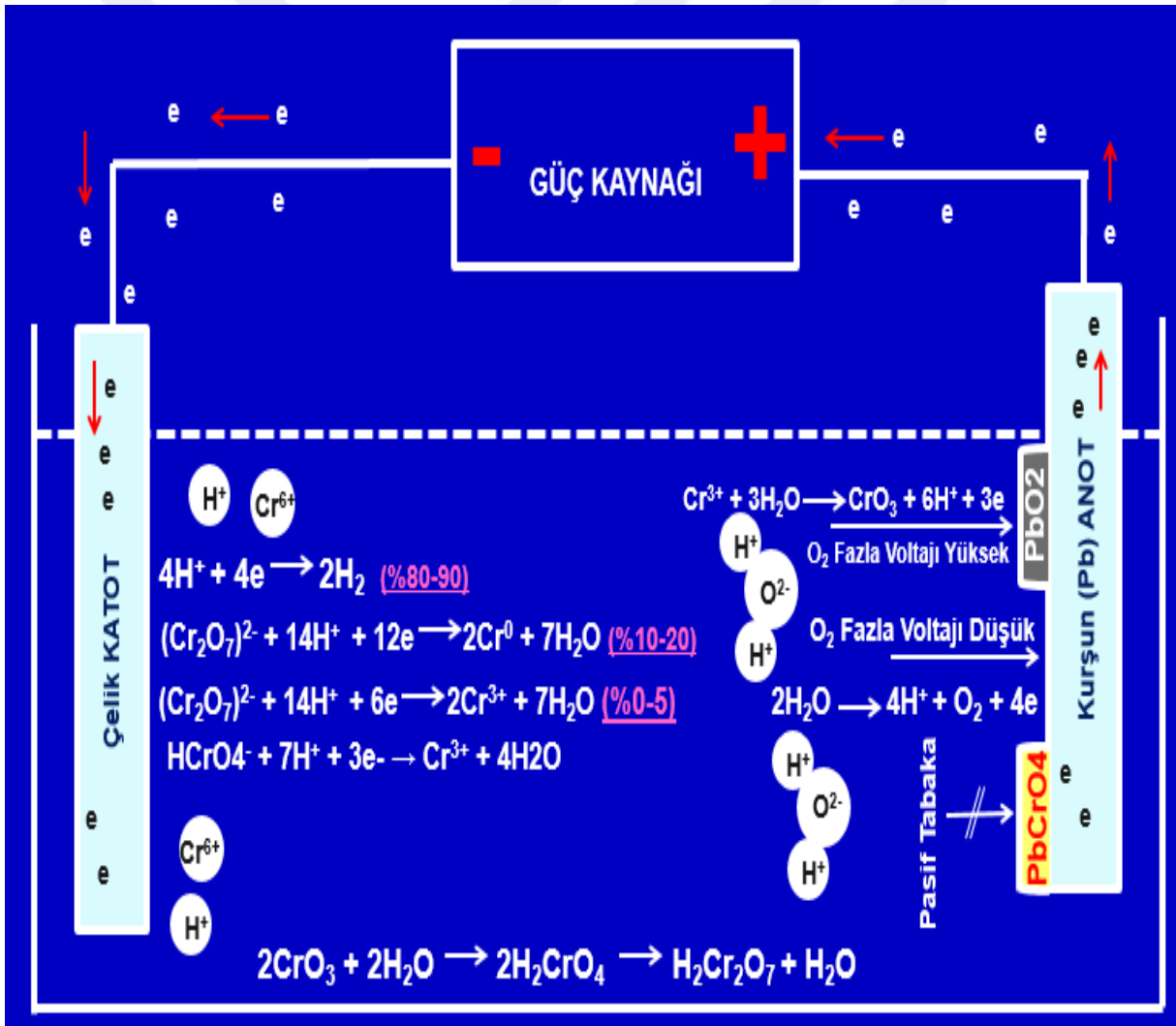
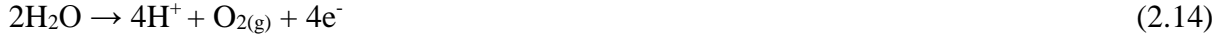
Krom kaplama performansını arttırmak için çelik şerit yüzeyindeki hadde yağı artıkları ve diğer kirler kimyasal ve elektrolitik olarak iki aşamada temizlenir ve su ile durulanır. Şekil 2.11’de gösterilen krom kaplama tesisinde yapılan ön işlemde, *ön temizleme* alkali kostik ile yapılan temizlemedir. Sadece daldırma yolu ile hadde yağları temizlenir. *Elektrolitik alkali temizlemede* ise anotlara akım verilerek elektroliz yolu ile temizlik yapılır. Son olarak su ile *durulama* işlemine tabi tutulur. Temizleme işleminden sonra, Şekil 2.12’de gösterildiği gibi Sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak çelik üzerindeki demir oksitler giderilir ve kaplama performansını arttırmak için yüzey hafifçe dağlanır. Asitle dağlama işleminden sonra malzeme yüzeyi tekrar durulanır [33].



Şekil 2.12 Asitleme hattında dağlama işlemleri [33].

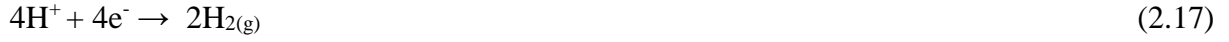
### 2.3.8 Krom Kaplama Teorisi

Krom kaplama banyosunda gerçekleşen reaksiyonlar Şekil 2.13'te gösterildiği gibidir. Anotta gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda gösterilmektedir.

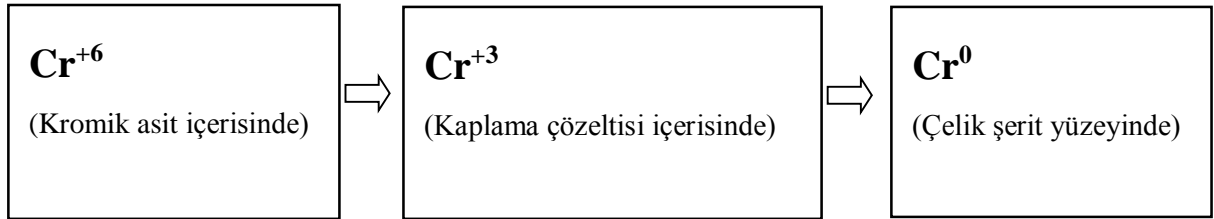


Şekil 2.13 Krom kaplama hücresinde gerçekleşen olaylar.

Görüldüğü üzere anotta üç reaksiyon gerçekleşir. İlk denklemde, elektron verilir ve yükseltgenme gerçekleşerek oksijen gazı açığa çıkar. İkinci denklemde, (+3) değerlikli kromdan (+6) değerlikli krom elde edilir ve üçüncü denklemde ise, kurşun anot kullanılmasından dolayı anot yüzeyinde kurşun oksit tabakası oluşur. Katotta gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda gösterilmektedir.



Katotta ise üç durum söz konusudur. İlk denklemde, elektron alınır ve indirgenme gerçekleşerek hidrojen gazı açığa çıkar. İkinci denklemde, kromik asitten metalik krom ayrışması gerçekleşir. Üçüncü durumda ise (+6) değerlikli krom tuzundan (+3) değerlikli krom tuzuna redüklenir. Bu redüklenme olayı sülfürik asit veya yabancı asitler veya onların karışımıyla olur. Anot ve katotta gerçekleşen bu reaksiyonlar bir zincir şeklinde sürekli birbirini takip eder [5]. Krom kaplama mekanizması Şekil 2.14'teki gibi ifade edilebilir.



Şekil 2.14 Krom kaplama mekanizması.

### 2.3.9 Krom Kaplama Hesaplamaları

Teorik olarak % 100 verimle 1 saatte kaplanacak krom miktarı 0,32 g'dır. Fakat krom kaplama prosesinin veriminin % 20 olduğu düşünüldüğünde aslında pratikte kaplanan krom miktarı 0,064 g olduğu görülmüştür. Bu hesaplamalar Ek A'da gösterilmektedir. Teorik olarak kaplanacak krom miktarının hesaplanması ise 2.20'deki formülle yapılabilir. Buna bir örnek Ek B'de verilmiştir. Aynı şekilde teorik olarak kaplanacak krom kalınlığı da 2.21'deki formülle bulunabilir ve Ek C'de de kaplama kalınlığına dair bir örneğe yer verilmiştir [20].

$$G = Ae \cdot F \cdot I \cdot t \cdot \eta k \quad (2.20)$$

$$D = (Ae \cdot I \cdot t \cdot \eta k) / (s \cdot 10) \quad (2.21)$$

### 2.3.10 Çalışma Parametrelerinin Kaplamaya Bilinen Etkileri

Kaplamanın kalitesini etkileyen birçok parametre vardır. Aşağıda bu parametrelerin etkisine değinilir.

#### 2.3.10.1 Akım Yoğunluğu

Galvanoteknikte akım şiddetinin yerine elektrotların birim yüzeyine isabet eden akım şiddeti alınır. Buna *akım yoğunluğu* denir. Birim yüzeyi  $dm^2$ 'dir. Akım yoğunluğundaki artışın kaplamanın yapısı bakımından birbirine zıt iki etkisi vardır. Akım yoğunluğu artınca kristallerin oluşma hızı artar ve kaplama ince yapılı olur fakat akım yoğunluğu daha da artınca katot dolayında deşarj olan metal iyonları çözelti içinden gelenlerle yeterince karşılanamadığından katotta bir fakirleşme meydana gelir. Bunun sonucu kaplama homojen olmaz ve kalite bozulur, siyah ve süngerimsi kaplamalara yol açar. Katotta fazla hidrojen gazı çıkışı, akım yoğunluğunun artmış olduğunun işaretidir [5].

#### 2.3.10.2 Konsantrasyon ve Karıştırma

Kaplamanın yapısı üzerinde konsantrasyonun etkisi büyüktür. Kristallerin oluşum hızı büyük olacağından ince yapılı ve temel metale iyice yapışık, sağlam bir kaplama elde edilir. Banyonun belli periyotlarda filtre edilmesi çok faydalıdır. Bazı özel banyolar devamlı filtrasyona tabi tutulur. Bazı banyolarda da elektrolite düşük basınçla hava tatbik edilerek elektrolitin hareketi sağlanır. Burada dipteki tortuların devamlı sirkülasyondan etkilenerek kaplanacak parçaların üzerine yapışma ihtimali vardır [5].

#### 2.3.10.3 Sıcaklık

Sıcaklığın iki karşı etkisi vardır. Bir taraftan difüzyonu artırdığından kristallerin oluşum hızı artar ve böylece küçük kristalli yapılar elde edilir fakat diğer taraftan katot polarizasyonunu azaltır ve böylece büyük kristallerin oluşumuna ve bunların büyümesine neden olur. Ayrıca

hidrojen aşırı gerilimi de azalacağından hidrojen çıkışı kolaylaşacak ve kaplama süngerimsi yapıda olacaktır. Her banyonun belli çalışma sıcaklığı vardır. Kimyasal ürünleri satan firmaların verdikleri terkip ve çalışma talimatları doğrultusunda hepsi belirlenmiştir [5].

#### **2.3.10.4 pH**

Elektrolitler asidik (nikel, asitli bakır ve çinko gibi) ya da alkali ve alkali siyanür formasyonunda (siyanürlü çinko, kadmiyum, altın ve gümüş gibi) hazırlanırlar. Elektrolitlerin belirtilen pH değerlerinin altında veya üstünde olması kaplama kalitesini hemen etkileyecek ve bozacaktır. Sürekli kaplama hatlarında, ara yıkamalar alkali banyolardan asit kaplamalara geçerken nötrleme vs. gibi pH değerini etkileyecek faktörlere çok dikkat edilmelidir [5].

#### **2.3.10.5 Dağılma Gücü (Kaplama Gücü)**

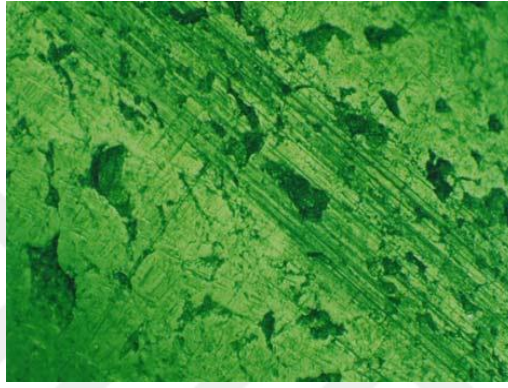
Elektrolitik kaplamada, kaplamanın sadece görünümünün ve özelliklerinin istenen şekilde olması yeterli değildir. Aynı zamanda kaplamanın, tüm malzeme yüzeyinde aynı kalınlıkta olması da gereklidir. Dağılma gücü son yıllarda kaplama dağılımının, yani şekillendirilmiş eşyanın çeşitli kısımlarındaki kaplama kalınlığının bir ölçüsü olarak kullanılmaya başlamıştır. Düzgün olmayan, dekoratif bir parça kaplanmak istenildiğinde, anota daha yakın olan kısımlar uzaktakilere göre daha kalın bir tabaka ile kaplanırlar. Çünkü Ohm Kanunu'na göre, yakın olan noktalar arasında direnç daha azdır [5].

#### **2.3.10.6 Temel Metalin ve Elektrolitin Tabiatı**

Kaplamanın kalitesi üzerinde temel metalin etkisi büyüktür. Boşluklu ve süngerimsi bir yapıdaki metal parçasının yüzeyine yapılacak kaplamanın da kalitesi doğal olarak bozuk olacaktır. Dolayısıyla parçanın daha önceki üretim aşamaları da kaplama kalitesini etkiler. Elektrolitlerin tabiatına gelince kompleks tuzların elektroliziyle elde edilen kaplamalar, normal tuzlarla elde edilenlerden daha üstündür. Kompleks tuzların elektrolizinin, basit tuzların elektrolizine göre katot polarizasyonu daha fazla olur. Yani daha fazla potansiyel uygulanır ve bu da taneciklerin kristal yapılarının iyi kalitede olmasını sağlar [5].

### 2.3.10.7 Katalizörler

Katalizörler, çok yavaş olarak yürüyen kimyasal reaksiyonları hızlandıran maddelerdir. Krom kaplamada katalizör katılmasından dolayı, kaplama gözle görülemeyen (mikro çatlaklı) bir yapıya sahip olur. Böyle mikro çatlaklılık, bir kaplamada bir noktada oluşabilecek korozyonun malzemenin her tarafına yayılmasını önler. Yani; korozyon yüzeye dağılmaz, o noktada kalır. Sert krom kaplamada katalizörün önemi, parçaların mikroskopla büyütülmüş haliyle Şekil 2.25 ve Şekil 2.26’da net olarak görülmektedir [5].

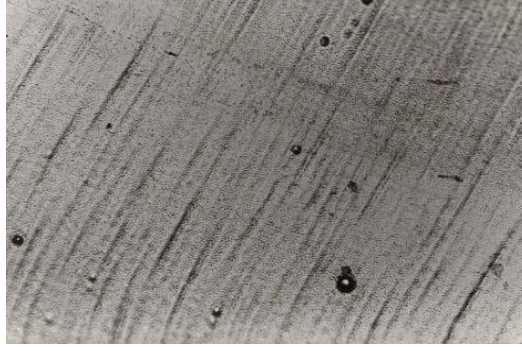


Şekil 2.15 Hiç işlem görmemiş krom kaplı yüzey (100 büyütme) [5].



Şekil 2.16 Katalizör ilave edilmiş mikro çatlaklı krom kaplı yüzey (100 büyütme) [5].

Katalizör ilave edilmiş mikro çatlaklı krom kaplı yüzeyde 2 yıl sonra, Şekil 2.27’de görüldüğü üzere 4 - 5 noktada oluşan korozyon belirtileri görülmektedir fakat kaplamaya dağılmamıştır [5].



**Şekil 2.17** Katalizör ilave edilmiş mikro çatlaklı krom kaplı yüzeyin 2 yıl sonraki hali [5].

### **2.3.11 Krom Kaplama Prosesinde Yaşanmış Bir Tecrübe**

Bir kaplamacı soğuk suda yeni duruladığı büyük ve kalın bir metal parçayı 54 °C’de çalışmakta olan bir krom banyosuna koyuyor. Birkaç dakika sonra donuk bir kaplama elde ettiğini görerek neden böyle olduğunu anlamaya çalışıyor. Çünkü kısa bir süre önce aynı yüzey alanına sahip, daha ince bir metal parça kaplamış ve mükemmel sonuç almıştır.

Peki neden böyle olmuştur? Büyük ve kalın parçanın banyo ile aynı sıcaklığa ulaşması için birkaç dakika geçmesi gerekir. Eğer kaplamaya hemen başlanmışsa doğru sıcaklığın altındaki bir sıcaklıkta kaplama yapılmış olur ve yanık kaplama elde edilir. İnce parça birkaç saniyede banyo ile aynı sıcaklığa ulaştığından, kaplama başladığında banyo ile aynı sıcaklıktadır ve iyi bir kaplama elde edilir. Çoğu kez krom kaplamacıların bu hatayı yaptığını şahit olunur. Bazen oldukça çaba sarf ederek elde ettikleri deneyimlerle ne yapmaları gerektiğini öğrenmiş olabilirler fakat neden böyle olduğu tam olarak bilinmedikçe duruma tam anlamıyla hakim olunamaz. Böyle bir durumda çoğu kaplamacı sıcaklığı eşitlemek için kaplayacakları parçaları akım vermeden bir süre banyoda tutmayı (tabi izin verilen durumlarda) veya banyo ile aynı sıcaklıkta olan, asidik halde getirilmiş suya ön daldırma yapmayı düşünmez, sorunun banyoda olduğunu düşünürler [35].

### **2.3.12 Kaplamanın Kontrolü**

Kaplama kalitesinin kontrolü için kaplama kalınlığı ve kaplama sertliği analiz edilir. Aşağıda kalınlık ve sertlik analiz metotlarına değinilmiştir.



### 2.3.12.1 Kaplama Kalınlığı

Kaplama kalınlığı, kaplamanın önemli özelliklerindedir. Kaplama banyosunun bileşimine, pH'ına, uygulanan akım yoğunluğuna, banyo sıcaklığına ve kaplama süresine bağlı olarak değişir. Kaplama kalınlığının ölçümü, tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere farklı metotlarla yapılabilir. Tahribatlı analiz yönteminde, kaplanan malzemenin ağırlığındaki değişme esastır. Bu yöntem elektrolitik sıyırma yöntemidir. Kaplanan numune tartılır, sonra kaplama yüzeyden sıyırılır ve numune tekrar tartılır. Kaplama kalınlığı, sıyırılan yüzey alanından ve kaplamanın yoğunluğundan faydalanılarak hesaplanır [41 - 42].

Tahribatsız analiz yönteminde ise, Eddy akımıyla ölçülen testler, radyasyonmetreler ve manyetik ölçme cihazları bugün sıklıkla kullanılmaktadır. Eddy akımlarını malzeme üzerinde tutan, yüksek frekanslı sargılar bulunur. Eddy akımının şiddeti kaplamanın iletkenliği ile orantılıdır. Bu yöntemle, metalik veya metalik olmayan taban üzerinde hem iletken, hem de iletken olmayan kaplamanın kalınlığı ölçülebilir. Radyasyonmetreler, kaplamanın veya malzemenin kuvvetli elektronları yansıtma veya geri saçma eğilimini ölçerek kaplama kalınlığını hesaplarlar. Manyetik kalınlık ölçme cihazları ise, metalik veya manyetik olmayan madde ile kaplamadan önce ve sonra demir malzemedeki çekmek için gerekli olan kuvvetteki azalmayı ölçmeye dayanan bir çalışma sistemine sahiptirler. Kaplama kalınlığı direkt olarak ölçülebilir [43].

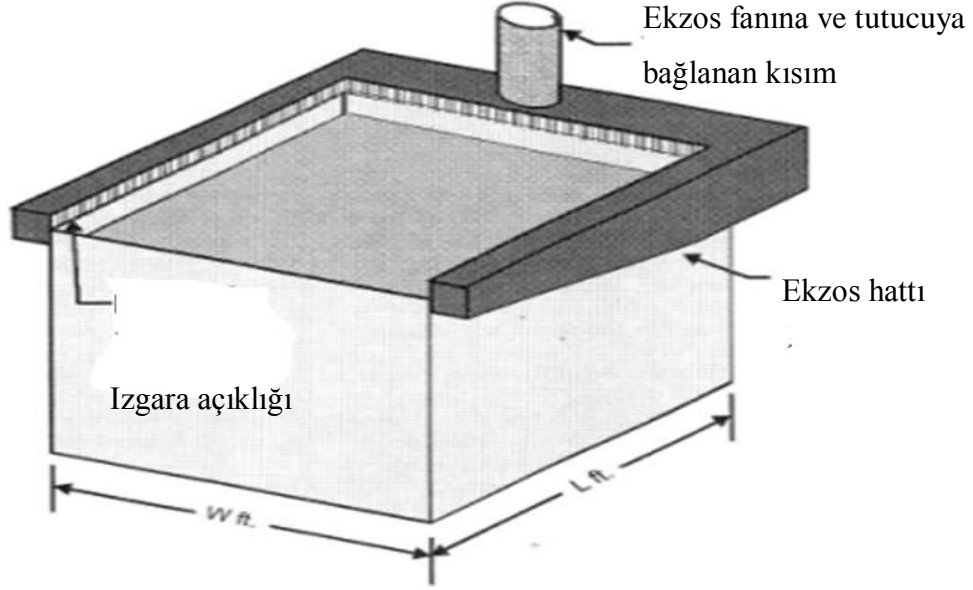
### 2.3.12.2 Kaplama Sertliği

Kaplamanın aşınma davranışına ilişkin olarak sertlik özelliği çok önemlidir. Çünkü, bir kaplamadan daha sert olan bir kaplama, diğer her şey eşit olduğunda daha uzun süre aşınma direnci gösterecektir [44]. Çeşitli sertlik ölçüm testleri vardır. Bunlardan biri olan *Brinell* sertlik testi metal bir numunenin yüzeyine tungsten karbür bilya ile 500 ile 3000 kg arasında bir yükün 10 ile 30 s arasında uygulanmasından ibarettir. *Vickers* sertlik testi düzgün yüzeyli metalik bir numuneye kare tabanlı piramit şeklindeki bir ucun batırılmasıyla uygulanır. Yük kaldırıldıktan sonra oluşan izin diagonal ölçümü yapılarak sertlik değeri hesaplanır. *Knoop* sertlik testi mikro düzeydeki sertlik ölçümleri için uygulanır. *Knoop* sertlik testi yüksek sertlik gradyanları ve kaplamalar için idealdir. *Knoop* sertlik testi özellikle sert ve kırılğan malzemeler için uygulanır. *Rockwell* sertlik testi ise *Brinell* sertlik testine benzer. Ama farklı tarafları vardır. Bu testte, elmas koni ve sertleştirilmiş çelik bilya batıcı uçlar kullanılır ve *Rockwell* sayısı küçük ve

büyük yüklerin batma derinlikleri arasındaki farkla belirlenir. Son olarak, *Mikro* sertlik testi özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliğini ölçmek için kullanılır. Karbürlenmiş, dekarbürlenmiş veya azotla-sertleşmiş yüzeyler ve kaplamalı yüzey sertliği, bu test ile belirlenir. Ayrıca, mikro sertlik testi metalik alaşım fazları, cam, porselen, metal karbürler ve çeşitli sert ve kırılğan malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılır [45].

### **2.3.13 Krom Kaplama Prosesinde İş Güvenliği ve Alınması Gereken Önlemler**

Krom kaplamada katot verimi çok düşük olduğundan, katottan hidrojen gazı salınımı büyük bir sorundur. Buna ek olarak, çözünmeyen anot kullanılmasından dolayı, anottan büyük miktarda oksijen gazı salınımı olmaktadır. Çözelti içinde yükselen bu gaz baloncukları ciddi miktarda enerjiye (yüzey enerjisine) sahiptir ki, baloncuklar patladığında gaz ile sıvı arasındaki ara yüzey zarar görür (tahrip olur). Çok küçük olan bu baloncuklar, çözelti yüzeyinde veya biraz üzerinde patladığında, kromik asit zerreciklerinin ince bir sprey veya buhar olarak ortaya çıkmasını sağlar. Kromik asit çok aşındırıcı (korozif) olup, ince sprey halindeyken solunması halinde burundaki mukoza zarının zarar görmesine yol açar. Bu ince zerrecikler özellikle ciltleri hassas insanlarda deri yanmasına sebep olur. Bu nedenle, aşındırıcı zerreciklerin solunmasını önlemek için, soluma bölgesinde gerekli ekipmanların kurulu olması gereklidir. Her şeyden önce, kaplama tankı, zerreciklerin bir emme sistemi ile uzaklaştırılması için gerekli ekipmanla donatılmış olmalıdır. Tankta kullanılan bu tipteki emme sistemine *slot vantilasyon* adı verilmektedir. Şekil 2.18’de krom kaplama tankında kullanılan bu sistem gösterilmektedir. Krom kaplama tankları çevresinde çalışırken, kauçuk eldiven önlük ve kauçuk çizme giyilmelidir. Saf vazelin veya krom tankı çevresinde çalışırken kullanmak için özel olarak imal edilmiş kremler ellere sürülebilir. Bazı çalışanlar burun deliklerine de vazelin sürerler. Eğer cilde asit temas ederse bol su ile yıkanmalıdır. Çalışma ortamında yoğun koku hissedilirse ya havalandırma ya da zerrecik arıtan kimyasallar görevlerini yapmıyor demektir. Bu durumda çalışmaya devam etmemeli, hemen ortamı terk etmeli ve ortamın havasının düzelmesi sağlanmalıdır. Bunun için aspiratörler iyi çalışmalı ve gerekli temizlikleri yapılmalıdır [23].



**Şekil 2.18** Krom tankı vantilasyonu [23].

Bunlara ilaveten, tankın ve kullanılan tüm kimyasalların üzerine içeriği yazılmalıdır. Kromik asit pulcukları açıkta veya yanıcı, patlayıcı maddelerin yanında bulundurulmamalıdır. Personel çalışırken lastik eldiven, önlük, yüz siperi gibi koruyucu malzemeleri işyeri talimatına uygun şekilde kullanılmalıdır. İlk yardım çantası her an kullanmaya hazır olmalı ve personel sürekli eğitilmelidir [46].

### **2.3.14 Krom Kaplamanın Kullanım Alanları**

Kaplama işlemi, havacılık ve otomotiv sektörleri gibi birçok büyük sektörde kullanılan bir işlemdir. Kaplama yapmak, görsel amaçlı olduğu gibi performans amaçlı da olabilir. Sanayide genelde performansını arttırmak ve malzemenin ömrünü uzatmak için kullanılır. Endüstriyel alandaki uygulamalar; elyaf, sentetik iplik, dokuma, demir - çelik, gıda, çelik tel, lastik, plastik, otomotiv, petrokimya, enerji, kağıt, suni gübre, matbaa, savunma, makine imalat gibi sektörlerdir. Kağıt valsleri, dokuma silindirleri, türbin şaftları, hidrolik piston milleri, lastik ve plastik kalıpları, salmastra kovanları, klavuz makaraları, besleme ruloları, sarım silindirleri, pompa pistonları, matbaa kazanları gibi parçalara uygulanmaktadır. Krom, atmosfer koşullarında korozyona uğramadığı için çok uzun ömürlü bir elementtir ve bu sebeple kaplama alanında sıklıkla kullanılır. Otomotiv sektöründe, dekoratif amaçla iç dizayn gibi bazı parçalarında kullanılmasının yanı sıra, dayanıklı olması gereken yerlere yapılan sert krom kaplama işlemidir. Otomobil motorlarının iç yüzeyleri buna örnek olarak verilebilir.

Aşınmaya çok maruz kalan yerlere uygulanan araç krom kaplama, gözenekli bir yapıya sahiptir ve bu sayede yağlı bünyesinde tutup aşınmayı engeller. Sert krom kaplama, ağır işlerde kullanılan iş aletlerini bozulmaya, korozyona, paslanmaya ve aşınmaya karşı uzun süre korur. Aynı zamanda ısı dirençlerini de arttıran bu yöntem *mühendislik krom kaplaması* da denilir. Krom elementinin sürtünme katsayısı oldukça düşüktür. Aşınma, korozyon gibi bozulmaların oluşması bu sebeple daha zordur. Özellikle çelik üzerine kaplandığında çok verimli sonuçlar elde edilen sert krom kaplama, araç krom kaplama gibi uygulamalardan daha sert bir tabaka ile yapılıdır [47 - 48].

Sert krom kaplamalar, adından da anlaşılacağı gibi yüksek sertlik değerlerine sahiptir. Ancak yüksek sertlikleri yanında dekoratif renkleri, kimyasal kararlılıkları nedeniyle de tercih edilmektedirler. Çekici renklerinin yanında zamanla oksitlenerek renklerini yitirmemeleri, kolayca çizilmemeleri ve aşınmamaları gibi özellikleri bu tür kaplamaların tercih edilmesinin başlıca sebepleridir. Ayrıca bu tür kaplamaların üretim tekniklerinin özellikle fiziksel buhar yoğunlaştırma yöntemlerinin geleneksel kaplama yöntemlerine kıyasla çevreye çok az zarar veren yöntemler olması da bir başka tercih sebebidir [49].

Krom kaplama, daha birçok sektörde kullanılmaktadır. Ancak yaygın olarak kullanıldığı sektörler genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

Silah sanayi	Matbaa	Enerji
Kesici aletler	Dekoratif ürünler	Tabela yazıları
Dokuma sanayi	Demir – çelik endüstrisi	Paslanmaz çelik üretimi
Suni gübre	Optik sanayi	Ağır iş makine parçaları
Kağıt sanayi	Ev eşyaları	Beyaz eşya sanayi
Gıda sanayi	Uçak ve gemi sanayi	Mobilya aksesuarları
Banyo aksesuarları	Petrokimya	Otomotiv iç dekorasyonu

## 2.4 TİCARİ YÖNDEN METAL KAPLAMACILIK

Yıllar boyunca elektro kaplama alanı kendi ufuklarıyla sınırlı kalmıştır. Yoldan geçen birini durdurup, ona kaplamayla ilgili ne bildiği sorulduğunda şu yanıtı verecektir, “Arabamın tamponundaki şu parlak malzeme. Ucuz mal. Yavaş yavaş çürüyor” ya da “Kaplama? Metalleri

parlatmanın ucuz yolu. Tek parça malzemeyi tercih ederim.” Bu işin yabancıları olanların aklındaki kaplama kavramı, onun metallerin ucuz bir şekilde parlatılma yolu olmasından başka bir şey değildir. Bu yanlış kanının kaynağı, kaplamacılığın bir başka işletmeciye göre biraz daha ucuza metal cilası üretmek için amansız bir yarıştan başka bir şey olmadığını düşünen sanayi mensuplarının kendileridir. Kaplamanın metal ya da metal olmayan maddeler için, diğer cilalardan çok daha yararlı ve üstün olan ve çok daha fazla dayanan cila üretme yeteneği olduğu, bununla birlikte kaplamacılığın tek kullanım alanının bu olmadığı, hatta bunun, haklı olarak kaplamacıya ait olan geniş kaplamacılık sektöründe sadece küçük bir yan dal olduğu gerçekleri ön plana çıkarılmamıştır. Dürüstçe söyleyememek gerekirse ortalama sanayi mensupları ufak sorunlardan işin genelini görememektedirler. Elektro kaplamacı, kaplamacılığın bir başkasının yapabileceğinden çok daha ucuz bir fiyata bir metalin başka bir metalin üzerine konmasından oluştuğu fikrini benimsemiştir. At gözlüklerini çıkarıp, etrafta kocaman bir fırsat olduğunu görmek gerekir. Metal kaplama endüstrisinin değişmekte olduğu bir gerçektir. Güçleniyor ve küçülüyor, ama asıl olan şey sektördeki zayıf kardeşlerin, sektörü terk ediyor olmasıdır. Oyunun eski kurallarını kullanarak artık rekabet edememektedirler. Bununla birlikte, eğer iyi bir kaplamacıysanız veya elektro kaplamayı düşünüyorsanız, dışarıda çok fazla olanağın sizi beklediğini unutmamak gerekir. Kaplamacılık işine girerken; bireysel kaplama işletmesinin açılması, yeni moda mücevherlerin kaplanması, otel gümüş malzemelerinin tekrar parlatılması, iletken olmayan maddelerin metallenmesi, armatürlerin tekrar parlatılması, gravür plakaların krom kaplanması, yıpranmış parçaların iyileştirilmesi gibi birçok alanda fırsatlar olduğu bilinmelidir [50].

## **2.5 KAPLAMACILIKTA MALİYET TASARRUFU**

Bugün tüm sanayide olduğu gibi kaplama sanayinde de tasarruf büyük bir önem arz etmektedir. Özellikle 1973 yılındaki enerji krizinden sonra bütün araştırmalar düşük enerji sarfiyatlı prosesler üzerine yoğunlaşmıştır. İlk önce düşük sıcaklıkta çalışan temizleyiciler, daha sonra yine düşük sıcaklıkta çalışan nikel ve krom kaplama prosesleri devreye girmeye başlamıştır. Bundan başka, kaplama tekniği dekoratif kaplamadan ziyade fonksiyonel kaplama türüne doğru kaymaktadır. Selektif kaplama, yani yalnızca parçanın işgören kısımlarının kaplanması da özellikle kıymetli metal kaplamacılığında yaygınlaşmıştır. Bunlara ilave olarak, taşınma ve yıkama çözeltilerine metal sürüklenmelerini asgariye indirecek sistemler geliştirilmekte ve bu çözeltilerden sürüklenen metaller geri kazanılmaya çalışılmaktadır. Kaplama spesifikasyonları değişmiş, daha düşük standartlar ikame edilmiştir. Bütün bunların ışığı altında,

memleketimizin şartlarına uygun olarak tesislerimizde ne gibi tasarruflar sağlanabileceği enerji ve kimyevi malzeme tasarrufu açısından irdelenebilir. Enerji tasarrufunda, bütün proseslerde düşük sıcaklıkta çalışabilen sistemler tercih edilmelidir. Isıtılan banyolara termostat takılarak sıcaklığı kontrol edilip gereksiz aşırı ısınmalar önlenebilir. Isı kayıplarını asgariye indirecek bütün izolasyon tedbirleri alınmalıdır. Mümkün olan en yüksek akım yoğunluğunda çalışılarak, kaplama sonucuna en kısa zamanda ulaşılması sağlanmalıdır. Kimyevi malzeme tasarrufunda ise, mümkün olan her yerde düşük konsantrasyonlu çözeltiler kullanılmalıdır. Her banyonun iktisadi çalkalamalarından azami istifade sağlanmalıdır. Banyo kirlenmesini önleyecek tedbirlerin alınarak, temizleme işlemlerinin asgariye indirilmesi gerekmektedir. Kaplama standartlarına uygun prosesler seçilerek gereksiz kaplama kalınlıklarından tasarruf edilmelidir. Fireleri azaltıcı bütün tedbirlerin alınarak, gereksiz malzeme ve işçilik sarfiyatının önüne geçilmelidir. Ön işlemlerin kalitesi artırılarak, kaplama proseslerinin görevlerinin azaltılması sağlanmalıdır. Askıların bakımının ve dizaynının, en kısa zamanda ve en verimli sonucu alacak şekilde yapılması gerekmektedir [51].

## **2.6 GALVANO SEKTÖRÜNDE MESLEK HASTALIKLARI VE ZEHİRLENMELER**

Meslek hastalıkları işçinin kendi çalışma çevresinde çeşitli zararlı etkenlere maruz kalması, başka bir deyişle işçinin işini sağlıksız bir şekilde yapması sonucu meydana gelir. Bu duruma göre, iş hekiminin meslek hastalığını kolay ve doğru olarak tanıyıp değerlendirmesi için hasta ile çevresini beraber incelemesi ve düşünmesi gerekir. İş hekimi işçinin meslek hastalıklarından her iş dalında olmamakla birlikte, çoğu kez korunabileceğini bilmelidir. İş hekimi her meslek hastalığının spesifik, patognomonik, klinik ve laboratuvar belirtileri vermediğini hesaba katarak çalışma çevresindeki zararlı etkenleri iyi tanımalıdır. İş hekiminin, meslek hastalığına yakalanmış işçinin hastalığının teşhis ve tedavisini güçleştirecek faktörleri de iyi bilmesi gerekir. Türkiye'de pek çok hastalık meslek hastalığı olarak yasa ile belirlenmiştir fakat Sosyal Sigortalar Kurumu'nun kayıtlarından, ülkemizde meslek hastalıklarının sayısal ve nitelik bakımından çok az olduğu kanısına varılabilir. Ancak son yıllarda az da olsa değişiklik olmuş ve toz hastalıkları dışında kalan bazı hastalıklar da meslek hastalığı olarak işlem görmeye başlamıştır. Bugün bu gelişmelere rağmen Türkiye, işlem gören meslek hastalığı çok az olan ülkeler arasındadır. Hemen belirtmek gerekir ki mevcut rakamlar gerçeği yansıtmaktan çok uzaktır ve gerçek meslek hastalığı sıklığı kayıtlara geçen birkaç mislidir. Bu durum çeşitli amaçlarla yürütülmüş olan bilimsel araştırmadan sonuçlarından anlaşılmaktadır. Krom ve

bileşikleri ile olan zehirlenmelerde, bu kimyasalların metabolizmadaki ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, bu etkilerden korunma yöntemleri aşağıda belirtilmiştir [52].

### **2.6.1 Metabolizmadaki Etkileri**

Altı değerli krom bileşiklerinin biyolojik membranlardan geçme özelliği, üç değerlikli krom bileşiklerine göre daha fazladır. Solunum sisteminde absorbe edilme dereceleri iyi bilinmemektedir. Ancak vücutta en çok krom içeren organ akciğerdir. Çevre havasındaki krom bileşiklerine maruz kalmak akciğerde bulunan krom miktarını artırmaktadır. Vücuda enjeksiyon yoluyla verilen kromun, vücuttaki dağılışı değişiklik gösterir. Dalak, böbrek ve karaciğerde daha yüksek konsantrasyonda bulunur. Krom kandan çabuk ayrılır ve dokuda toplanır. Bu durumda vücuttaki krom miktarı için plazma ve kan seviyeleri iyi bir gösterge değildir. Krom vücuttan idrar ve dışkı ile atılır [52].

### **2.6.2 İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri**

Krom bileşiklerinin insan sağlığı üzerindeki etkisi daha çok deri ve solunum sistemi üzerinde görülür. Deri üzerindeki etkisi korozif reaksiyon, ülser ve ülseratif olmayan alerjik dermatitler şeklindedir. Krom bileşiklerine maruz kalınması halinde korozif etki ve bunun sonucu olarak da ülserleşme ve krom delikleri denilen tipik lezyon meydana gelir. Bunlar asit kromik sodyum, potasyum kromat ve dikromatın deride kalması sonucu krom iyonlarının etkisi ile oluşurlar. Bu lezyonların ortaya çıkması için deride harabiyet meydana gelmiş olmalıdır. Kromun bir karakteristiği olan krom delikleri, zımba ile delinmiş gibi muntazam bir görünümde dirler. Krom ülserleri; tırnak dipleri, elin üst kısımları, bilek, ön kol ve daha çok temasa açık olan vücut kısımlarında meydana gelir. Bu ülserlerin kemiğe kadar derinleşerek, kemik nekrozlarına sebep oldukları bilinmektedir. Bu durumlarda Versenat merhemi koruyucu olarak kullanılabilir. Solunum sistemi üzerindeki etkisi, altı değerli krom bileşiği içeren toz, duman ve sis teneffüs edildiği takdirde solunum sistemi mukozasında tahriş, öksürük ve nefes darlığı görülür. Koku alma duygusu bozulmaz, ağrı yoktur. Akut aşamada burun akıntısı ve kanaması rahatsızlık veren belirtilerdir. Bileşik ile temas ortadan kalkarsa iyileşme kendiliğinden meydana gelir. Kromatların akciğer kanserine neden olduğu tezi ilk kez 1930'larda, kromat üreten işyerlerinde çalışan işçiler arasında çok fazla akciğer kanseri görülmesi nedeni ile ortaya atılmıştır. Elde edilen istatistikî bilgiler kromatların akciğer kanserine neden olduğunu göstermektedir ve bu görüş genellikle kabul görmektedir [52].

### 2.6.3 Zararlı Etkilerinden Korunma Yöntemleri

Krom ile ilgili her türlü işlemler, mümkün olduğu oranda kapalı sistem içinde yürütülmelidir. Krom bileşiklerinin toz, sis ve buharından korunmak için, kullanıldığı yerlerde iyi işleyen çekici havalandırma sistemine ihtiyaç vardır. Özellikle kromik asit kullanılarak yapılan kaplamalarda tankların üzerine aspirasyon davlumbazları veya tankın kenarlarına özel çekici havalandırma sistemi kurulmalıdır. Ayrıca yardımcı olarak genel havlandırmadan yararlanılmalıdır. İşyeri son derece temiz tutulmalı ve işçilere kişisel korunma aracı olarak iş elbisesi, lastik eldiven ve çizme verilip, kullanımına özen gösterilmelidir. İşçilerin temizliği için gerekenler yapılmalı ve işten sonra yıkanmaları sağlanmalıdır. Periyodik olarak ortam analizleri yapılmalı ve elde edilen değerler kıyaslanarak gereken önlemler alınmalıdır. İşe giriş muayenelerinde deri ve solunum yolları dikkatle incelenerek, tam sağlıklı olmayanlar krom işlerinde çalıştırılmamalıdır. Bünyenin kroma karşı duyarlı olup olmadığı ve alerji meydana gelip gelmeyeceği de incelenmelidir. Periyodik muayenelerle cilt dikkatle incelenmeli, krom ülserasyonu veya başlangıç belirtileri kontrol edilmelidir. Uzun süre kroma maruz kalarak çalışmış olanların akciğer kanseri bakımından kontrol altında bulundurulmaları gerekmektedir. Sağlık bakımından eğitim, işçinin kendini korumayı ve ilk belirtileri bilmesi son derece önemlidir [52].



## BÖLÜM 3

### DENEYSEL KISIM

#### 3.1 KULLANILAN MALZEMELER VE SİSTEMLER

Bu bölümde deneylerde kullanılan kimyasal maddeler ve deney düzeneğinde kullanılan banyo tankı, anot, karıştırıcı, ısıtıcı, güç kaynağı ve pH metreye yer verilmiştir.

##### 3.1.1 Kimyasal Maddeler

Krom kaplama deneylerinde banyo içerisinde banyo çözeltisi olarak kullanılan kimyasallar; kromik asit ( $\text{CrO}_3$ ), sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ve sodyum hekzaflorasilikat ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ )'tır. Kaplanacak kromların kaynağı olarak krom trioksit kullanıldı. (Suda çözündüğünde kromik asit oluşur.) Bu krom iyonlarının katoda doğru geçip, çeliğin üzerinde kaplanmasına yardımcı olan katalizör görevinde ise sodyum sülfat ve sodyum hekzaflorasilikat kullanıldı.

**Çizelge 3.1** Bir litrede olması gereken kimyasal miktarları.

Kimyasal adı	Miktar (g/L)
Kromik asit ( $\text{CrO}_3$ )	250
Sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2,5
Florür ( $\text{F}^-$ )	3

Literatürde bulunan, bir litrede yaklaşık olarak olması gereken kimyasal miktarları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Tezde kullanılan banyo çözeltisi hacmi 300 mL olduğu için Çizelge 3.1'deki veriler ışığında 300 mL'lik banyo çözeltisi içerisinde olması gereken kimyasal maddelerin miktarları şu şekilde hesaplandı.

Kromik asit ( $\text{CrO}_3$ ) için  $\rightarrow 0,3 \text{ L} \times 250 \text{ g/L} = 75 \text{ g}$

Sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) için  $\rightarrow (0,3 \text{ L} \times 2,5 \text{ g/L}) / 0,676 = 1,1094 \text{ g}$

Sodyum hekzaflorasilikat ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) için  $\rightarrow (0,3 \text{ L} \times 3 \text{ g/L}) / 0,606 = 1,4851 \text{ g}$  tartıldı.

Bu kimyasal banyo bileşimi 300 mL'ye saf su ile tamamlandı. Dört kaplamada bir, çözelti yeniden hazırlandı. Sodyum sülfattan gelen sülfat iyonu ve sodyum hekzaflorasilikattan gelen florür iyonu için yapılan hesaplamalardaki kimyasalların mol kütlelerinin iyonlarına oranı şu şekilde hesaplandı.

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ 'ın mol kütlelerinin  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonuna oranı:

$$\text{SO}_4 / \text{Na}_2\text{SO}_4 = [32 + (16 \times 4)] / [(23 \times 2) + 32 + (16 \times 4)] = 0,676$$

$\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 'ın mol kütlelerinin  $\text{F}^-$  iyonuna oranı:

$$\text{F}_6 / \text{Na}_2\text{SiF}_6 = (19 \times 6) / [(23 \times 2) + 28 + (19 \times 6)] = 0,606$$

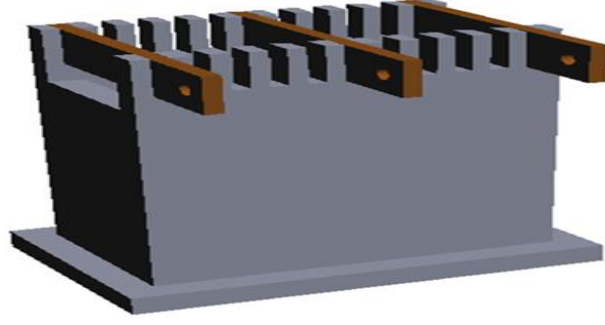
Çelik numuneler kaplanmadan önce yüzey temizliği için % 5'lik sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ve % 5'lik sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) çözeltileri ile ön temizleme işlemine tabi tutuldular ve ardından saf su ile durulandılar.

### 3.1.2 Deney Düzenegi

Bu bölümde krom kaplama deneylerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan deney düzenegi içerisindeki banyo tankı, anot, karıştırıcı, ısıtıcı, güç kaynağı ve deney düzenegi haricinde kullanılan pH metre ile teraziye yer verilmiştir.

#### 3.1.2.1 Banyo Tankı

Bu tez çalışmasında, PE (polietilen) malzemeden üretilen ve uzunluğu 10 cm, genişliği 5 cm ve yüksekliği 10 cm olan banyo tankı kullanıldı. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de bu banyo tankının çizimi ve fotoğrafı gösterilmektedir.



**Şekil 3.1** Tez çalışmasında kullanılan banyo tankının çizimi.



**Şekil 3.2** Tez çalışmasında kullanılan banyo tankı.

### 3.1.2.2 Anot

Anot olarak % 93 kurşun % 7 kalay alaşımli elektrot kullanıldı. Anotu banyo tankı içerisindeki çözeltiliye daldırmak için ise askı görevinde kalay alaşımli kurşun tel kullanıldı. Kurşun tel % 60 Sn, % 40 Pb alaşım oranından oluşan bir teldi. Anotun banyo çözeltilisine daldırıldığı andaki görüntüsü Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



**Şekil 3.3** Anotun banyo çözeltilisine daldırıldığı andaki görüntüsü.

### 3.1.2.3 Karıştırıcı

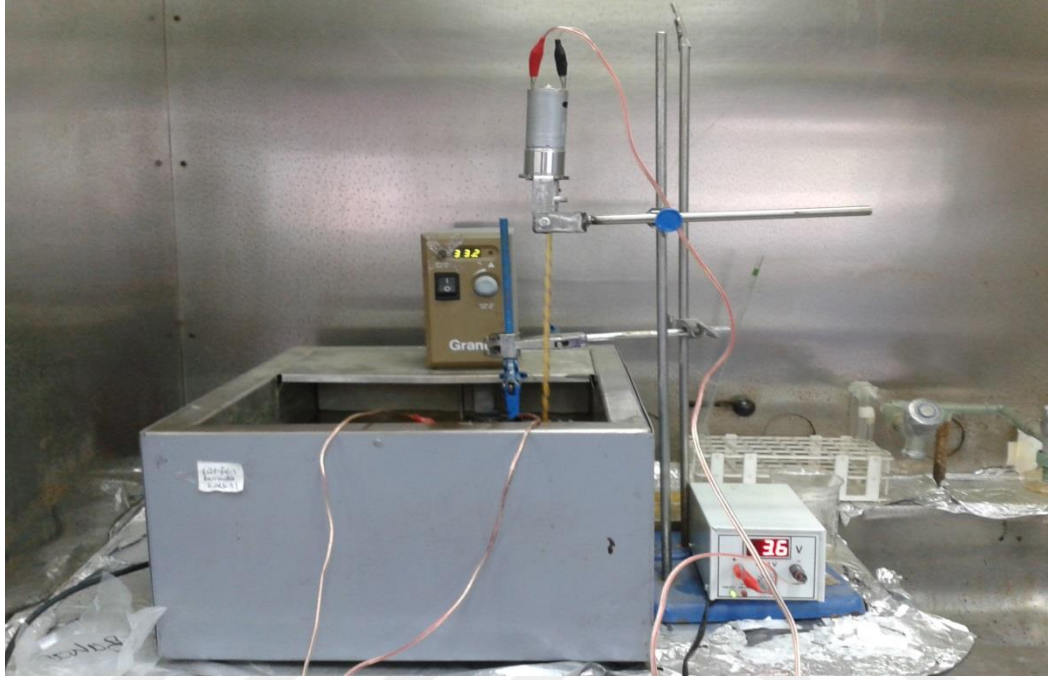
15 V - 10 A değerlerindeki bir güç kaynağı, 20 - 500 devir/dakika arasında hızı kontrol edilebilen DC motor, kromik aside dayanıklı PE malzemedен üretilen karıştırıcı bir uç ve bağlantı aparatları temin edilip, tüm parçalar birleştirilerek laboratuvar tipi mekanik bir karıştırıcı elde edildi. Böylece hem piyasadaki değerinden daha ucuza mal edildi hem de kaplama işlemindeki banyo çözeltisinin tüm deneylerde sürekli aynı hızda (3,6 volt gerilim, 120 devir/dakika) karıştırılarak homojenliği sağlanmış oldu. Kullanılan karıştırıcı Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Kaplama deneylerinde kullanılan karıştırıcı.

### 3.1.2.4 Isıtıcı

Isıtıcı olarak 100 °C'ye kadar sıcaklığı kontrol edilebilen Grant marka ısıtıcı kullanıldı. Şekil 3.5'te bu ısıtıcının düzenek içerisindeki bir fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 3.5 Isıtıcının düzenek içerisindeki bir fotoğrafı.

### 3.1.2.5 Güç Kaynağı

16 V - 50 A değerinde, akım/gerilim kontrollü, kısa devre korumalı, dijital voltmetre ve ampermetre göstergeli Switchmode güç kaynağı kullanıldı. Kaplama deneylerinde, güç kaynağındaki akım değeri ayarlanarak çalışıldı. (Voltmetre değeri ise ona bağlı olarak değişmektedir.)

### 3.1.2.6 pH Metre

Banyo çözeltisi kontrolleri için deney çalışmaları esnasında, kaplama işlemi başladıktan yarım saat sonra ve kaplama işlemi bitiminde olmak üzere her kaplanan numune için banyodaki pH kontrolleri yapıldı. -2 ile +16 pH aralığında,  $\pm 0,01$  ölçüm hassasiyetiyle çalışan Crison marka Basic 20 model bir pH metre kullanıldı.

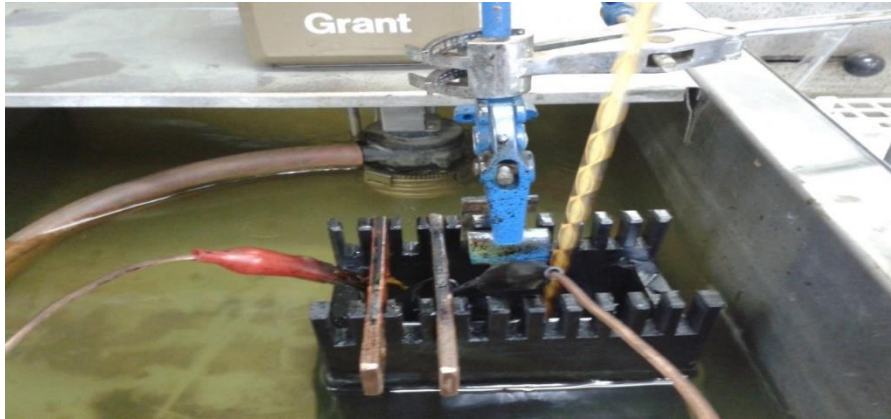
### 3.1.2.7 Hassas Terazi

Shimadzu AUW - 220 D marka,  $\pm 0,0001$  ölçüm hassasiyetiyle çalışan hassas bir terazi kullanıldı. Bu terazi, banyo çözeltisi içerisinde bulunan kimyasalların tartımı sırasında kullanıldı.

Krom kaplama deney düzeneği, tüm ekipmanlar ile birlikte Şekil 3.6'da ve yakından görüntüsü de Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Deney düzeneği.



Şekil 3.7 Deney düzeneğinin yakından görünümü.



## **3.2 KAPLAMA İŞLEMİ ÖNCESİ NUMUNE HAZIRLIĞI**

### **3.2.1 Numune Özellikleri**

DIN EN 10202:2001 Standardı TS275 kalitesinde üretilen, soğuk haddelenmiş, düşük karbonlu, yumuşak yassı çelik numuneler ile çalışıldı. Bu çelikler Erdemir'den temin edildi.

### **3.2.2 Numune Boyutları**

Çelik sac levha (2 cm x 3 cm) ebatlarında kesilerek, eşit ölçülerde 70 adet dikdörtgen numune elde edildi ve kaplama işlemleri bu çelik numuneler ile gerçekleştirildi. (Kaplanacak çelikler katot görevindedir.) Numuneler, kaplama banyosuna ise çelik bir tel ile daldırıldı.

### **3.2.3 Numune Hazırlığı**

Temin edilen çelik numuneler krom kaplama tesisinde gerekli ön temizleme işlemlerden geçmiş durumdaydı fakat kaplama banyosuna alınma aşamasına kadar yüzeyinin tekrar oksitlenme ihtimaline karşın, kısa bir ön temizleme işlemine tabi tutuldular. Eşit ölçülerde kesilen her bir numune, kaplama banyosuna alınmadan önce 70 - 80 °C'ye getirilen % 5'lik NaOH çözeltisine daldırıldı ve sonrasında saf suya daldırılarak durulandı. Daha sonra 50 - 60 °C'ye getirilen % 5'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisine daldırılıp, akabinde tekrar saf suya daldırılarak durulandı. Böylece temizleme işlemi bitmiş olan (2 cm x 3 cm) ebatındaki her bir dikdörtgen çelik numune, bu işlemlerden sonra krom kaplama işlemine hazır olmasından dolayı kaplama banyosuna alındı.

## **3.3 KAPLAMA DENEYLERİ**

Çelik numuneler kaplama banyosuna çelik bir tel yardımıyla banyo tankı üzerinde bulunan bakır baralara asılarak daldırıldı. İlk 64 çelik numunenin her biri 1 saat kaplama işlemine tabi tutuldu. 65, 66 ve 67 numaralı numuneler 2 saat, 68, 69 ve 70 numaralı numuneler ise 3 saatlik periyotlarla kaplandı. Belli bir parametrenin etkisi araştırılırken, diğer tüm parametreler sabit tutuldu. Etkisi araştırılan bu parametreler; sıcaklık, akım yoğunluğu, anot - katot arasındaki mesafe, kaplama süresi ve banyo çözeltisindeki kromik asit konsantrasyonu ile florür varlığının etkisi idi.

Çalışılan banyo çözeltisi sıcaklık değerleri 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C; akım yoğunlukları 25 A/dm<sup>2</sup>, 35 A/dm<sup>2</sup>, 45 A/dm<sup>2</sup>, 55 A/dm<sup>2</sup>; banyo çözeltisindeki kromik asit konsantrasyonları 200 g/L, 225 g/L, 250 g/L, 275 g/L; anot - katot arasındaki mesafe 20 mm, 30 mm, 40 mm; kaplama süreleri 1 saat, 2 saat, 3 saat ve banyo çözeltisinde florür mevcut olduğunda kullanılan florür miktarı 1,48 g idi.

Banyo çözeltisi içerisindeki florürün etkisini araştırmak amaçlı yapılan deneylerde, banyoya florür katalizörü konmadan, yalnızca sülfat katalizörü konularak florürün kaplamaya olan etkisi belirlenmeye çalışıldı.

Çoğunlukla kaplamalar eşit sürede (1 saat) yapıldı. Aynı zamanda (2.20) eşitliğindeki formüle göre kaplama süresi arttıkça, kaplanan krom miktarının arttığını teyit etmek ve eğer öyleyse pratikte de kaplama süresiyle kalınlık arasında orantılı bir artışın olup olmadığını gözlemlemek için 2 saat ve 3 saatlik olmak üzere farklı kaplamalar da yapıldı.

Akım yoğunluğu parametresinin değiştirilerek çalışıldığı deneylerde akım yoğunluğu, birim yüzey alanındaki akım şiddeti olduğundan güç kaynağında ayarlanan akım değerinin hesabı, her bir akım yoğunluğunun numune alanıyla (0,12 dm<sup>2</sup>) çarpılmasıyla yapıldı. Güç kaynağında ayarlanan akım değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

$$\text{Numune alanı} : (2 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}) = 6 \text{ cm}^2 = 0,06 \text{ dm}^2$$

Tek bir yüzeyin alanı 0,06 dm<sup>2</sup>’dir. Deneylerde iki yüzey de kaplandığından hesaba katılacak alan 0,12 dm<sup>2</sup>’dir.

**Çizelge 3.2** Güç kaynağında ayarlanan akım değerleri.

Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Güç kaynağında ayarlanan akım (A)
25	3
35	4,2
45	5,4
55	6,6





**Şekil 3.8** Krom kaplanmış numunelerden bazı örnek fotoğraflar.

Şekil 3.8’de krom kaplanmış birkaç numune fotoğrafına yer verilmiştir. Çeliğin kaplanmadan önceki hali ve krom kaplandıktan sonraki hali ise Şekil 3.9’te gösterilmektedir.



a) Kaplanmamış hali

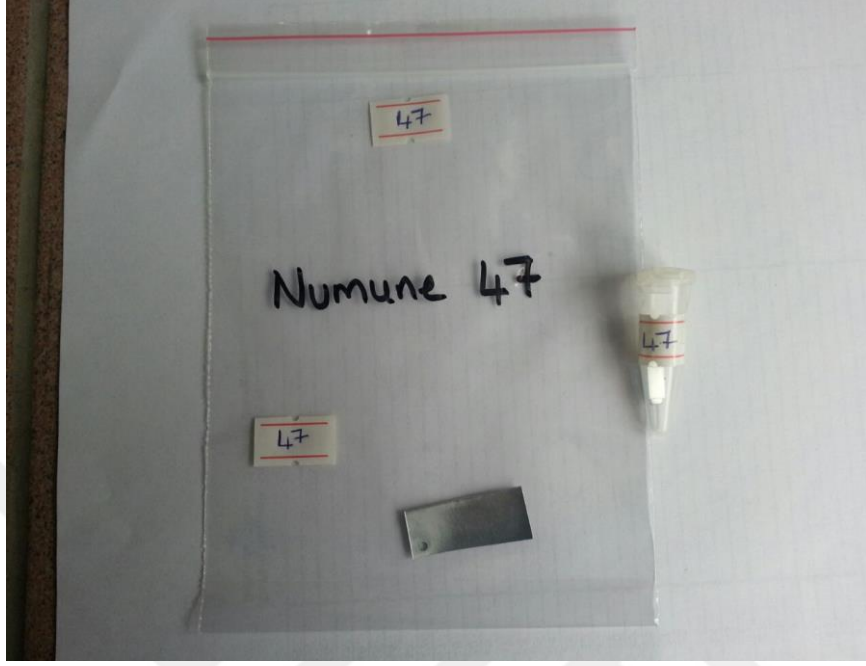


b) Krom kaplanmış hali

**Şekil 3.9** Çeliğin kaplamadan önceki ve sonraki fotoğrafları.

Yapılan 70 adet krom kaplamanın ardından numuneler kaplama kalınlığı ve kaplama sertliği analizleri için hazırlandı. Kalınlık analizi için numuneden yaklaşık olarak en 0,5 cm ve boy 0,5 cm olan küçük parçalar kesilerek eppendorf tüplerinin içine konuldu. Geriye kalan parçalar, sertlik analizleri, mikroyapı ve EDX analizleri için ayrıldı.

Kalınlık, sertlik ve mikroyapı analizleri için numunelerin ayrılması işlemleri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.10 47 numaralı krom kaplanmış numunenin kalınlık, sertlik, mikroyapı ve EDX analizlerine hazırlığı.



a) Diğer analizler için ayrılan numuneler.



b) Kalınlık analizi için ayrılan numuneler.

Şekil 3.11 Krom kaplanmış numunelerin kaplama kalınlığı, sertlik, mikroyapı ve EDX analizleri için ayrılarak hazırlanmış halleri.

### 3.4 KAPLAMA ANALİZLERİNDE KULLANILAN CİHAZLAR

#### 3.4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Krom kaplanmış çelik numunelerin kalınlık analizleri ve EDX'leri Bülent Ecevit Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Merkez Laboratuvarı'nda bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazında yapıldı. Analizlerde kullanılan SEM cihazı, FEI QUANTA FEG 450 marka bir cihazdı. Bu cihazın fotoğrafları Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazının fotoğrafları.

Krom kaplı numunelerden analiz için (0,5 cm x 0,5 cm) ebatlarında kesitler elde edilmişti. SEM cihazında çalışılırken bu kesitler alınarak karbon bant ile dik stablara yapıştırıldı ve cihaza yerleştirilerek görüntüler alındı. Krom kaplama kalınlığı için numunenin kesitinden, EDX incelemesi için ise numunenin yüzeyinden görüntü alındı. Kalınlık analizinde numunenin sağ kenarı, merkezi ve sol kenarından olmak üzere 3 farklı yerden ölçüm yapıldı ve bunların ortalaması değerlendirildi.

Kaplama yüzeyi mikroyapı incelemeleri ise Erdemir Ar - Ge Laboratuvarı'nda bulunan SEM cihazında yapıldı. Kullanılan bu cihaz, JEOL JSM 5600 marka bir cihazdı. Bu cihazın fotoğrafı Şekil 3.13'da gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Kaplama yüzeyi mikroyapı incelemeleri için kullanılan SEM cihazı.

### 3.4.2 Sertlik Ölçüm Cihazı

Krom kaplanmış çelik numunelerin sertlik ölçüm analizleri, Erdemir Metalurji Laboratuvarı'nda bulunan, Rockwell cinsi sertlik ölçümü yapan TIME GROUP TH 320 marka bir cihazda yapıldı. Cihazın fotoğrafları Şekil 3.14'de gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Rockwell cinsi sertlik ölçüm cihazı.

Numunelerin cihazda analizi yapılırken her bir numune yüzeyinde 3 farklı noktadan ölçüm alındı ve bunların ortalaması değerlendirildi.

Sertlik testi yapılmış bir numunenin görüntüsü Şekil 3.15’te gösterilmektedir.



**Şekil 3.15** Sertlik testi yapılmış bir numune.



## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 4.1 ÇALIŞILAN PARAMETRE DEĞERLERİ VE KAPLAMA ANALİZ SONUÇLARI

Krom kaplama deneylerinde, kaplama işlemi yapılan 70 adet çelik numunenin her biri için çalışılan parametreler Çizelge 4.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Kaplama deneylerinde çalışılan parametreler.

Numune No	Kaplama süresi (h)	Kromik asit konsantrasyonu (g/L)	Anot - katot arası mesafe (mm)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)
1	1	250	20	25	45
2	1	250	20	25	50
3	1	250	20	25	55
4	1	250	20	25	60
5	1	250	20	35	45
6	1	250	20	35	50
7	1	250	20	35	55
8	1	250	20	35	60
9	1	250	20	45	45
10	1	250	20	45	50
11	1	250	20	45	55
12	1	250	20	45	60
13	1	250	20	55	45
14	1	250	20	55	50
15	1	250	20	55	55
16	1	250	20	55	60
17	1	250	30	25	45
18	1	250	30	25	50
19	1	250	30	25	55
20	1	250	30	25	60
21	1	250	30	35	45
22	1	250	30	35	50

**Çizelge 4.1** (devam ediyor).

23	1	250	30	35	55
24	1	250	30	35	60
25	1	250	30	45	45
26	1	250	30	45	50
27	1	250	30	45	55
28	1	250	30	45	60
29	1	250	30	55	45
30	1	250	30	55	50
31	1	250	30	55	55
32	1	250	30	55	60
33	1	250	40	25	45
34	1	250	40	25	50
35	1	250	40	25	55
36	1	250	40	25	60
37	1	250	40	35	45
38	1	250	40	35	50
39	1	250	40	35	55
40	1	250	40	35	60
41	1	250	40	45	45
42	1	250	40	45	50
43	1	250	40	45	55
44	1	250	40	45	60
45	1	250	40	55	45
46	1	250	40	55	50
47	1	250	40	55	55
48	1	250	40	55	60
49	1	200	30	25	60
50	1	200	30	35	60
51	1	200	30	45	60
52	1	200	30	55	60
53	1	225	30	25	60
54	1	225	30	35	60
55	1	225	30	45	60
56	1	225	30	55	60
57	1	275	30	25	60
58	1	275	30	35	60
59	1	275	30	45	60
60	1	275	30	55	60
61	1	250 florürsüz	20	25	50
62	1	250 florürsüz	20	35	50
63	1	250 florürsüz	20	45	50



**Çizelge 4.1** (devam ediyor).

64	1	250 florürsüz	20	55	50
65	2	250	20	35	45
66	2	250	30	35	45
67	2	250	40	35	45
68	3	250	20	35	45
69	3	250	30	35	45
70	3	250	40	35	45

Görüldüğü gibi çelik numuneler, çalışma parametreleri değiştirilerek farklı şartlarda krom kaplanmıştır. Kaplama deneyleri sonrasında analizleri yapılan bu kaplamaların, analiz sonuçlarına göre ideal çalışma parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Kaplama kalınlıkları, sertlikleri, kaplama yüzeyi EDX analizleri ve kaplama yüzeyi mikroyapı analizleri yapılmıştır.

Kalınlık analiz sonuçları, sertlik analiz sonuçları ve deney sırasında iki kere alınan pH ölçüm verileri Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

pH ölçümleri; 1 saat sürede kaplanan numuneler için deneyin başlatıldığı andan yarım saat sonra ve deneyin bitiminde; 2 saat sürede kaplanan numuneler için deneyin başlatıldığı andan bir saat sonra ve deneyin bitiminde; 3 saat sürede kaplanan numuneler için deneyin başlatıldığı andan bir buçuk saat sonra ve deneyin bitiminde yapılmıştır.

**Çizelge 4.2** Kalınlık, sertlik analiz sonuçları ve pH ölçüm verileri.

<b>Numune No</b>	<b>pH (ilk ölçüm)</b>	<b>pH (son ölçüm)</b>	<b>Kaplama kalınlığı (µm)</b>	<b>Kaplama sertliği (HR 30T)</b>
1	4,51	4,56	31,3	48,8
2	4,59	4,62	30,93	51,8
3	4,68	4,71	29,81	56,1
4	4,73	4,77	29,03	58,3
5	4,99	5,01	46,52	60
6	5,03	5,08	44,8	63,7
7	5,11	5,14	40,69	69,2
8	5,18	5,19	39,79	72,6

**Çizelge 4.2** (devam ediyor).

9	4,75	4,79	61,77	78,3
10	4,87	4,92	58,8	82,1
11	4,96	4,99	57,01	85,1
12	5,01	5,05	54,44	87,3
13	4,49	4,51	73,46	68,4
14	4,53	4,59	71,39	71,2
15	4,63	4,67	69,04	74,9
16	4,69	4,78	66,78	77,1
17	4,71	4,78	24,73	49,7
18	4,81	4,88	23,51	52,7
19	4,92	4,99	22,97	56,7
20	5,01	5,06	22,63	58,9
21	4,79	4,85	33,06	59,9
22	4,88	4,89	31,43	63
23	4,91	4,96	30,35	65
24	4,98	5,03	28,9	67,9
25	4,67	4,74	42,97	68,6
26	4,78	4,79	41,3	71,1
27	4,83	4,89	41,01	75
28	4,9	4,97	39,1	77,4
29	5,02	5,04	49,86	67,1
30	5,07	5,08	48,36	70,3
31	5,1	5,11	47,03	73,3
32	5,13	5,14	45,93	76,1
33	4,81	4,89	18,76	50,2
34	4,9	4,92	17,43	52,9
35	4,95	4,97	17,39	56,4
36	4,99	5,01	17,07	59
37	4,69	4,71	27,77	59,3
38	4,77	4,84	26,36	62,3
39	4,89	4,92	25,06	66,1
40	4,95	5,02	23,77	67,9
41	4,52	4,57	35,69	69,4
42	4,61	4,69	34,38	72,7
43	4,72	4,77	33,01	75,2
44	4,81	4,89	32,01	77,4
45	4,59	4,64	42,9	68,1
46	4,69	4,71	42,26	70,3
47	4,76	4,79	41,8	73,4
48	4,82	4,88	41,03	75,3
49	6,41	6,47	73,53	99,2

**Çizelge 4.2** (devam ediyor).

50	6,52	6,59	93,59	100,4
51	6,62	6,68	107,88	102,1
52	6,7	6,73	122,77	101,3
53	5,32	5,37	50,19	93,4
54	5,4	5,43	63,57	95,2
55	5,46	5,5	77,1	99,3
56	5,52	5,54	89,52	96,7
57	3,52	3,55	12,41	39,9
58	3,58	3,6	21,06	41,7
59	3,63	3,66	27,95	49,7
60	3,68	3,71	32,61	44,4
61	4,62	4,69	23,25	87,5
62	5,08	5,11	32,15	89,2
63	4,79	4,83	41,06	93,3
64	4,59	4,64	49,96	91,4
65	4,31	4,49	83,04	61,7
66	4,26	4,44	56,12	60,3
67	4,19	4,35	45,54	60,9
68	4,17	4,58	121,56	62,4
69	4,25	4,62	89,18	61,8
70	4,21	4,87	73,31	62,01

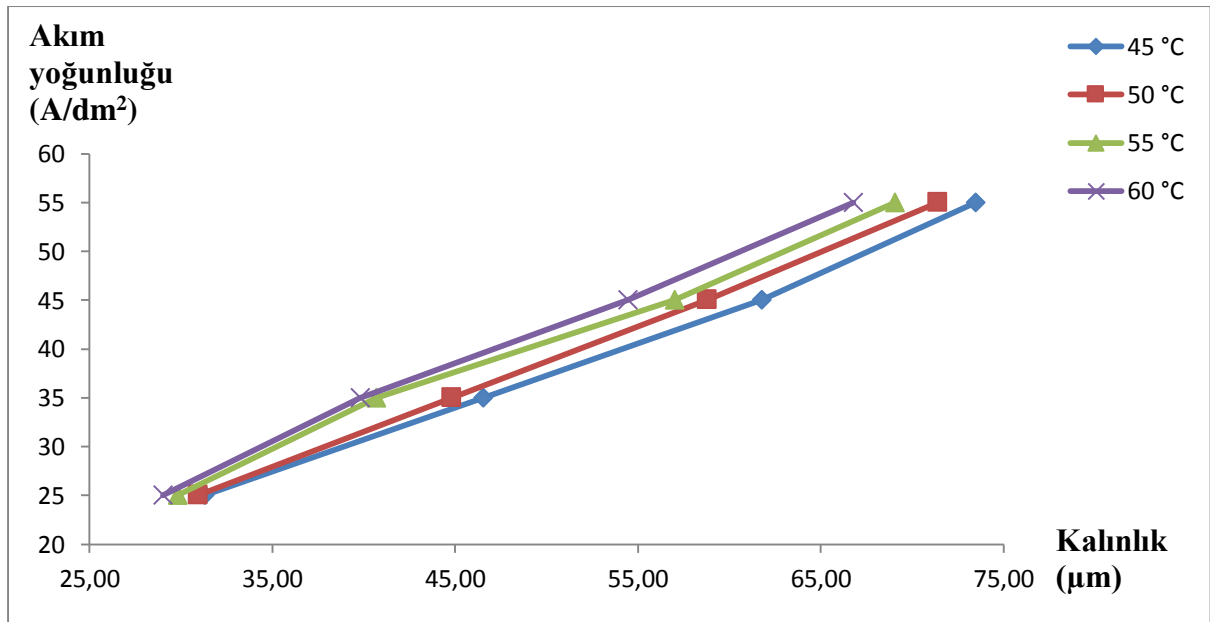
## **4.2 KAPLAMA KALINLIĞI ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE KALINLIĞIN PARAMETRELERE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

### **4.2.1 Akım Yoğunluğunun Kalınlığa Etkisi**

Akım yoğunluğunun kalınlığa etkisinin tespitinde üç farklı anot - katot arası mesafe için üç farklı grafik oluşturulmuştur. Çizelge 4.3 banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, anot - katot arası mesafe 20 mm iken farklı sıcaklıklarda, akım yoğunlukları değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen verileri göstermektedir. Bu verilerden oluşturulan grafik ise Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Anot - katot arasındaki mesafe dışındaki diğer parametreler Çizelge 4.3 ile aynı fakat anot - katot arasındaki mesafe 30 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.4 ve Şekil 4.2'de; anot - katot arasındaki mesafe 40 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler ise Çizelge 4.5 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.3** Akım yoğunluğunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

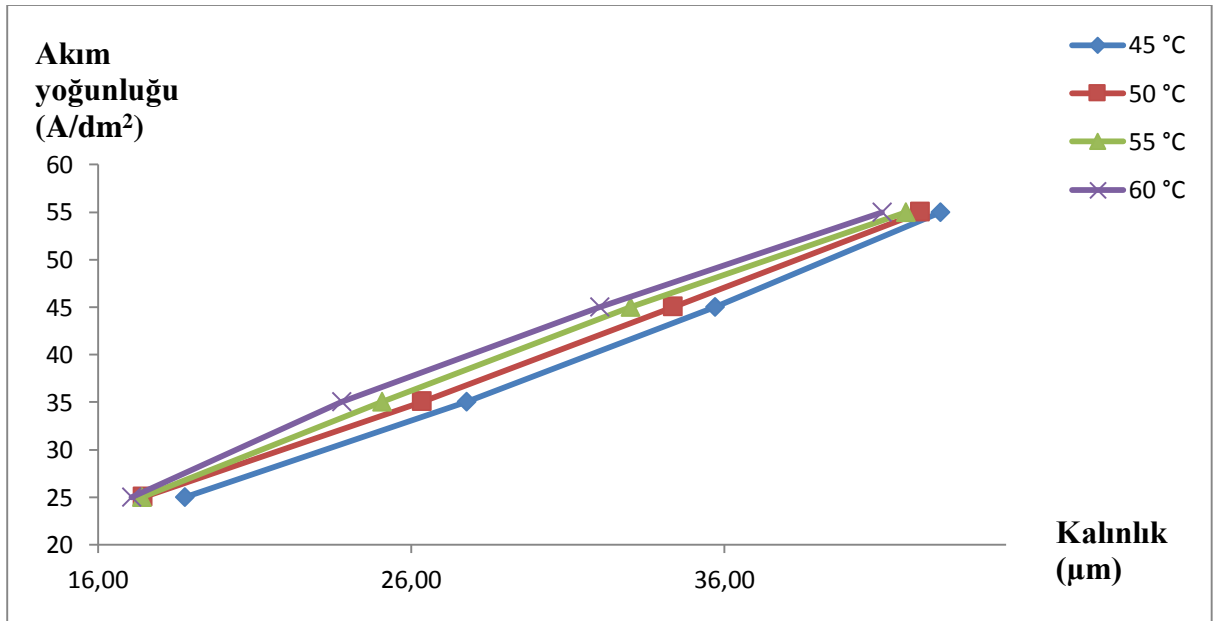
Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Kaplama kalınlığı (µm)
25	45	31,30
25	50	30,93
25	55	29,81
25	60	29,03
35	45	46,52
35	50	44,80
35	55	40,69
35	60	39,79
45	45	61,77
45	50	58,80
45	55	57,01
45	60	54,44
55	45	73,46
55	50	71,39
55	55	69,04
55	60	66,78



**Şekil 4.1** Çizelge 4.3'teki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

**Çizelge 4.4** Akım yoğunluğunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

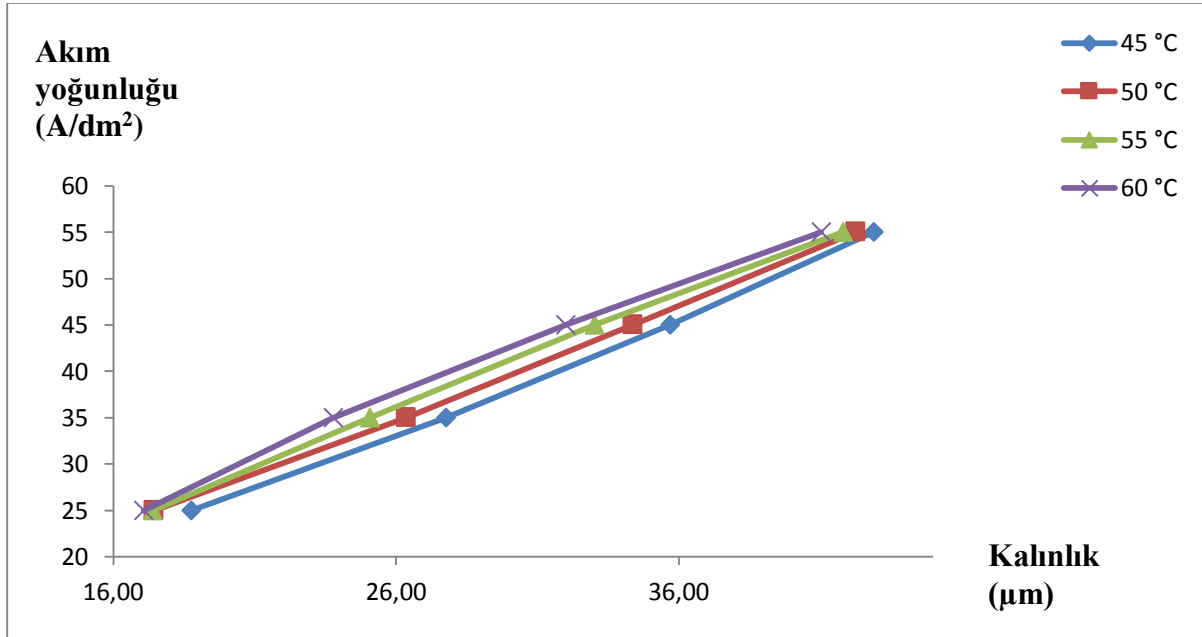
Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Kaplama kalınlığı (µm)
25	45	24,73
25	50	23,51
25	55	22,97
25	60	22,63
35	45	33,06
35	50	31,43
35	55	30,35
35	60	28,90
45	45	42,97
45	50	41,30
45	55	41,01
45	60	39,10
55	45	49,86
55	50	48,36
55	55	47,03
55	60	45,93



**Şekil 4.2** Çizelge 4.4'teki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

**Çizelge 4.5** Akım yoğunluğunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Kaplama kalınlığı (µm)
25	45	18,76
25	50	17,43
25	55	17,39
25	60	17,07
35	45	27,77
35	50	26,36
35	55	25,06
35	60	23,77
45	45	35,69
45	50	34,38
45	55	33,01
45	60	32,01
55	45	42,90
55	50	42,26
55	55	41,80
55	60	41,03



**Şekil 4.3** Çizelge 4.5'teki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

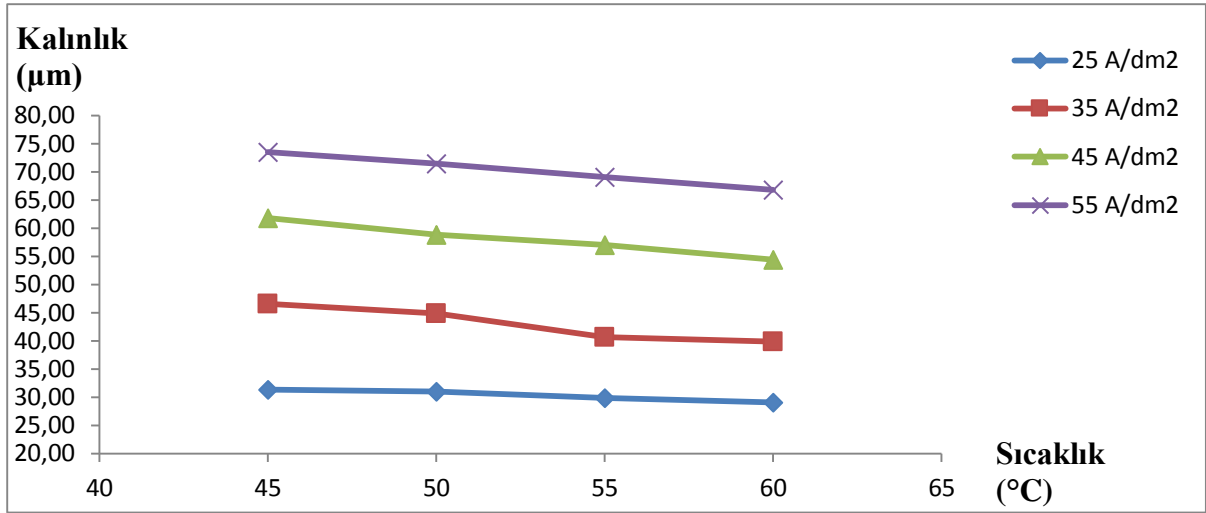
Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te elde edilen bu üç grafikten yola çıkarak; akım yoğunluğu arttıkça, kaplama kalınlığının da arttığı tespit edilmiştir.

#### 4.2.2 Sıcaklığın Kalınlığa Etkisi

Sıcaklığın kalınlığa etkisinin tespiti için elde edilen grafikler, akım yoğunluğunun etkisinin araştırılmasındaki gibi yine üç farklı anot - katot arasındaki mesafe için oluşturulmuştur. Çizelge 4.6 banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, anot - katot arasındaki mesafe 20 mm iken farklı akım yoğunluklarında, sıcaklıklar değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen verileri göstermektedir. Bu verilerden oluşturulan grafik ise Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Anot - katot arasındaki mesafe dışındaki diğer parametreler Çizelge 4.6 ile aynı fakat anot - katot arasındaki mesafe 30 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.7 ve Şekil 4.5'te; anot - katot arasındaki mesafe 40 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler ise Çizelge 4.8 ve Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

**Çizelge 4.6** Sıcaklığın kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

Sıcaklık (°C)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama kalınlığı (µm)
45	25	31,30
45	35	46,52
45	45	61,77
45	55	73,46
50	25	30,93
50	35	44,80
50	45	58,80
50	55	71,39
55	25	29,81
55	35	40,69
55	45	57,01
55	55	69,04
60	25	29,03
60	35	39,79
60	45	54,44
60	55	66,78

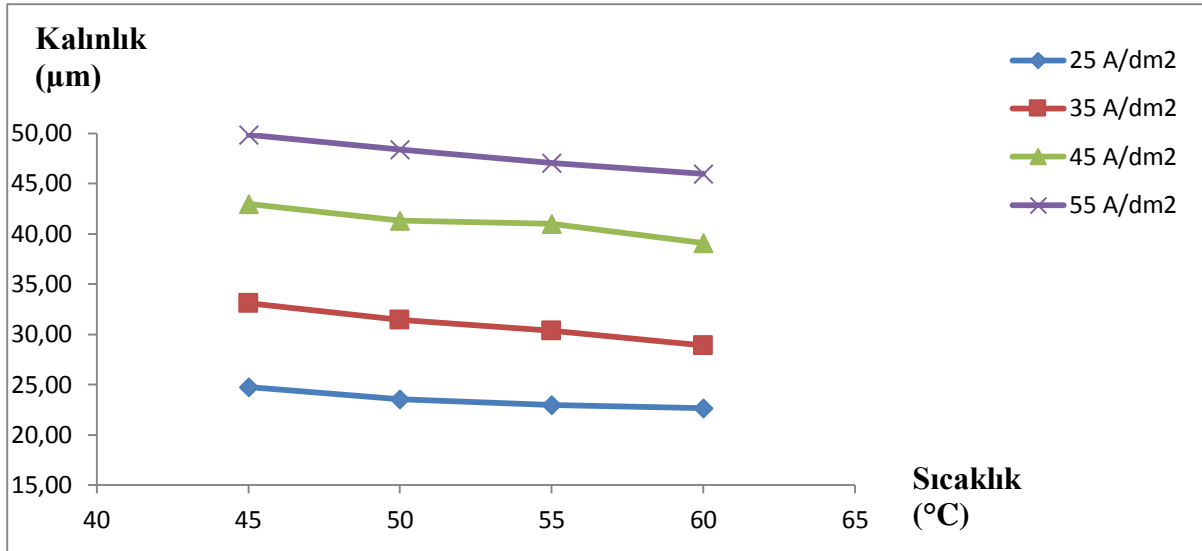


Şekil 4.4 Çizelge 4.6'daki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

Çizelge 4.7 Sıcaklığın kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Akım yoğunluğu ( $\text{A/dm}^2$ )	Kaplama kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )
45	25	24,73
45	35	33,06
45	45	42,97
45	55	49,86
50	25	23,51
50	35	31,43
50	45	41,30
50	55	48,36
55	25	22,97
55	35	30,35
55	45	41,01
55	55	47,03
60	25	22,63
60	35	28,90
60	45	39,10
60	55	45,93

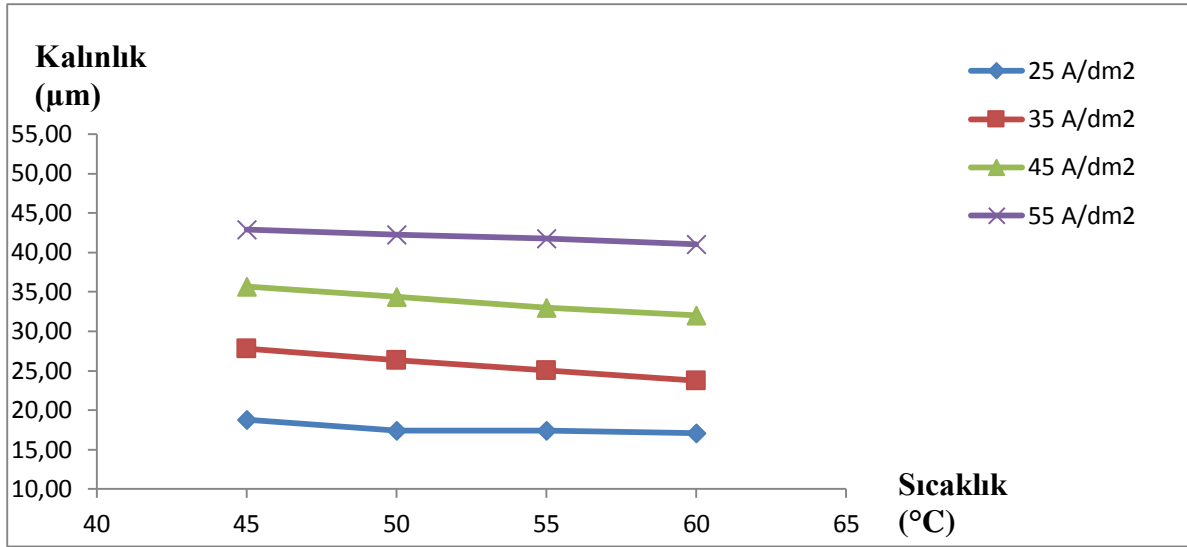




Şekil 4.5 Çizelge 4.7’deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

Çizelge 4.8 Sıcaklığın kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

Sıcaklık (°C)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama kalınlığı (μm)
45	25	18,76
45	35	27,77
45	45	35,69
45	55	42,90
50	25	17,43
50	35	26,36
50	45	34,38
50	55	42,26
55	25	17,39
55	35	25,06
55	45	33,01
55	55	41,80
60	25	17,07
60	35	23,77
60	45	32,01
60	55	41,03



Şekil 4.6 Çizelge 4.8’deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da elde edilen bu üç grafikten yola çıkarak; sıcaklık arttıkça, kaplama kalınlığının azaldığı tespit edildi.

#### 4.2.3 Banyodaki Kromik Asit Konsantrasyonunun Kalınlığa Etkisi

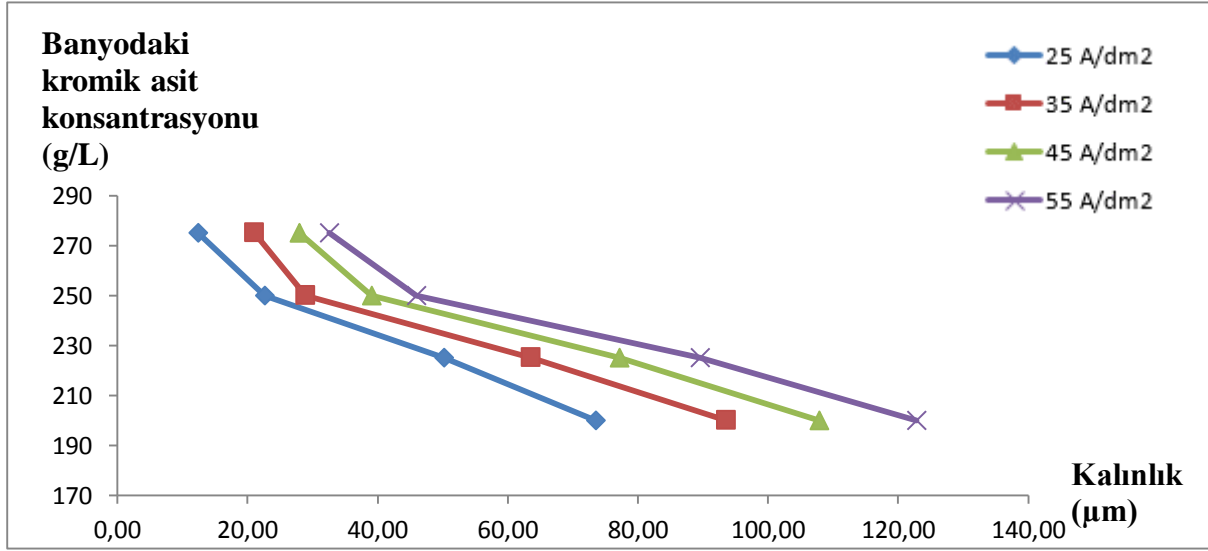
Banyodaki kromik asit konsantrasyonunun kalınlığa etkisinin tespiti için elde edilen grafik; anot - katot arasındaki mesafe 30 mm, sıcaklık 60 °C iken farklı akım yoğunluklarında, banyodaki kromik asit konsantrasyonu değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.9’da gösterilmekte olup Şekil 4.7’de de grafik olarak yansıtılmaktadır.

**Çizelge 4.9** Banyodaki kromik asit konsantrasyonunun kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, kromik asit konsantrasyonu değiştirilerek elde edilen deney verileri.

Banyodaki kromik asit konsantrasyonu (g/L)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama kalınlığı (µm)
200	25	73,53
200	35	93,59
200	45	107,88
200	55	122,77
225	25	50,19
225	35	63,57

**Çizelge 4.9** (devam ediyor).

225	45	77,10
225	55	89,52
250	25	22,63
250	35	28,9
250	45	39,1
250	55	45,93
275	25	12,41
275	35	21,06
275	45	27,95
275	55	32,61



**Şekil 4.7** Çizelge 4.9'daki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

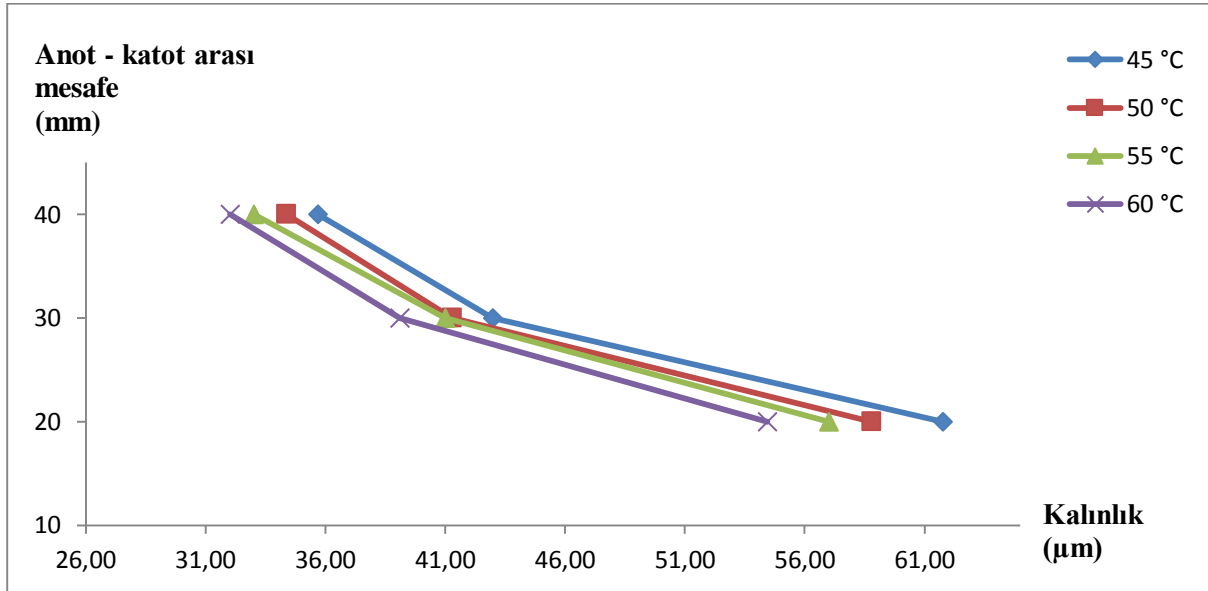
Şekil 4.7'deki grafikten yola çıkarak; banyodaki kromik asit konsantrasyonu arttıkça, kaplama kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir.

#### 4.2.4 Anot - Katot Arasındaki Mesafenin Kalınlığa Etkisi

Anot - katot arasındaki mesafenin kalınlığa etkisinin tespiti için elde edilen grafik; banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, akım yoğunluğu 45 A/dm<sup>2</sup> iken farklı sıcaklıklarda, anot - katot arasındaki mesafe değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.10'da gösterilmekte olup Şekil 4.8'de de grafik olarak yansıtılmaktadır.

**Çizelge 4.10** Anot - katot arasındaki mesafenin kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, farklı sıcaklıklarda anot - katot arası mesafe değiştirilerek elde edilen deney verileri.

Anot - katot arası mesafe (mm)	Sıcaklık (°C)	Kaplama kalınlığı (µm)
20	45	61,77
20	50	58,8
20	55	57,01
20	60	54,44
30	45	42,97
30	50	41,3
30	55	41,01
30	60	39,1
40	45	35,69
40	50	34,38
40	55	33,01
40	60	32,01



**Şekil 4.8** Çizelge 4.10'daki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

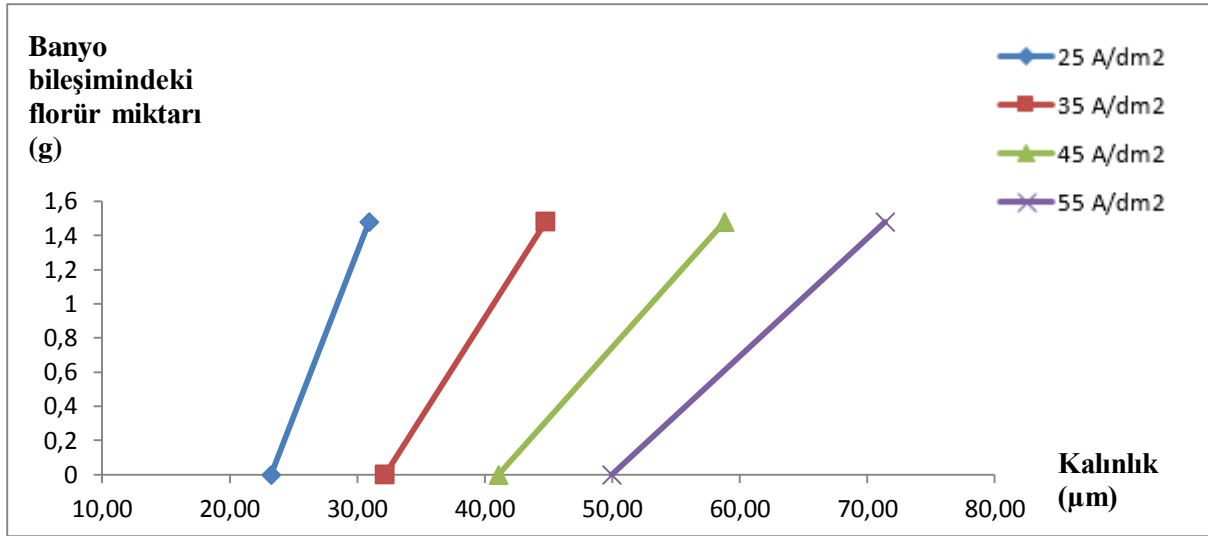
Şekil 4.8’de elde edilen bu grafikten yola çıkarak; anot - katot arasındaki mesafe azaldıkça, kaplama kalınlığının arttığı tespit edilmiştir.

#### 4.2.5 Banyodaki Florür Varlığının Kalınlığa Etkisi

Banyodaki florür varlığının kalınlığa etkisinin tespiti için elde edilen grafik; banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, sıcaklık 50 °C, anot - katot arasındaki mesafe 20 mm iken farklı akım yoğunluklarında, banyoya 1,48 g florür konularak ve hiç konulmayarak yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.11’de gösterilmekte olup Şekil 4.9’da da grafik olarak yansıtılmaktadır.

**Çizelge 4.11** Banyodaki florür varlığının kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, florür varlığında ve yokluğunda yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri.

<b>Banyo bileşimindeki florür miktarı (g)</b>	<b>Akım yoğunluğu (A/dm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kaplama kalınlığı (µm)</b>
Florürlü	25	30,93
Florürlü	35	44,80
Florürlü	45	58,80
Florürlü	55	71,39
Florürsüz	25	23,25
Florürsüz	35	32,15
Florürsüz	45	41,06
Florürsüz	55	49,96



Şekil 4.9 Çizelge 4.11'deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

Şekil 4.9'da elde edilen bu grafikten yola çıkarak; banyo bileşimindeki florür varlığında, kaplama kalınlığının arttığı tespit edilmiştir.

#### 4.2.6 Kaplama Süresinin Kalınlığa Etkisi

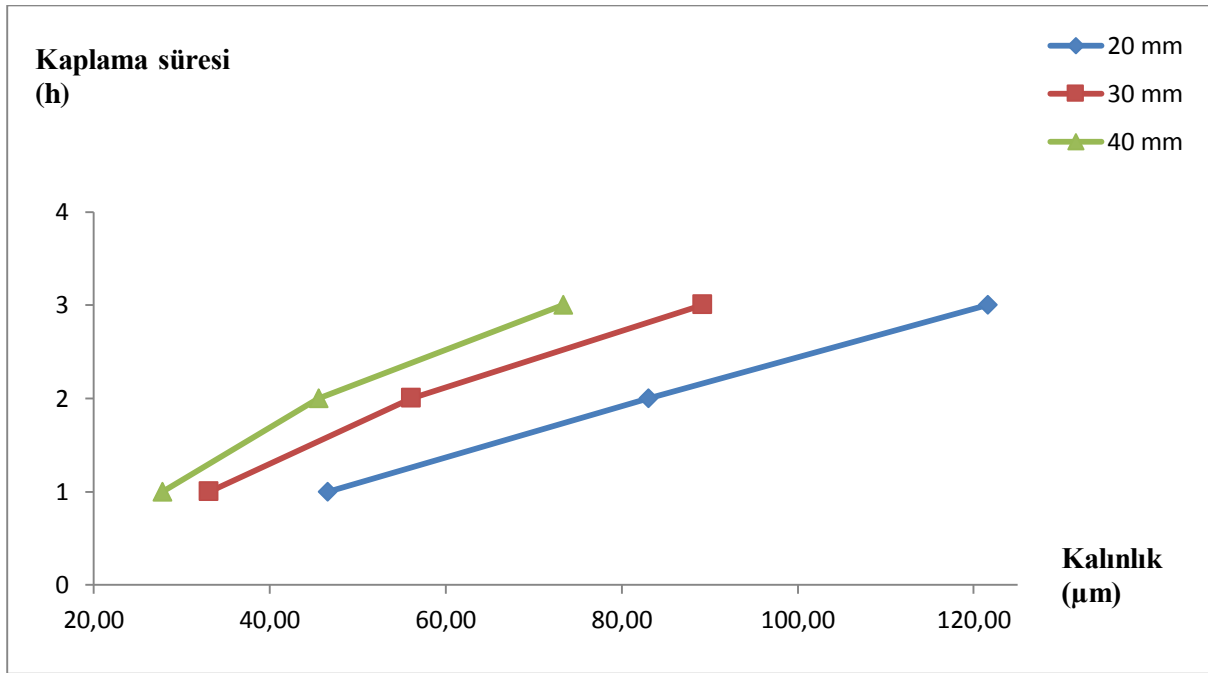
Kaplama süresinin kalınlığa etkisinin tespiti için elde edilen grafik; banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, sıcaklık 45 °C, akım yoğunluğu 35 A/dm<sup>2</sup> iken farklı anot - katot arası mesafelerde, kaplama süreleri değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.12'de gösterilmekte olup Şekil 4.10'da da grafik olarak yansıtılmaktadır.

**Çizelge 4.12** Kaplama süresinin kalınlığa etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, farklı sürelerde yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri.

Kaplama süresi (h)	Anot - katot arası mesafe (mm)	Kaplama kalınlığı (µm)
1	20	46,52
1	30	33,06
1	40	27,77
2	20	83,04

**Çizelge 4.12** (devam ediyor).

2	30	56,12
2	40	45,54
3	20	121,56
3	30	89,18
3	40	73,31



**Şekil 4.10** Çizelge 4.12’deki verilerden elde edilen kalınlık grafiği.

Şekil 4.10’da elde edilen bu grafikten yola çıkarak; kaplama süresi arttıkça, kaplama kalınlığının da arttığı tespit edilmiştir.

### **4.3 KAPLAMA SERTLİĞİ ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE SERTLİĞİN PARAMETRELERE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

#### **4.3.1 Akım Yoğunluğunun Sertliğe Etkisi**

Akım yoğunluğunun sertliğe etkisinin tespitinde üç farklı anot - katot arası mesafe için üç farklı grafik oluşturulmuştur. Çizelge 4.13 banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, anot -

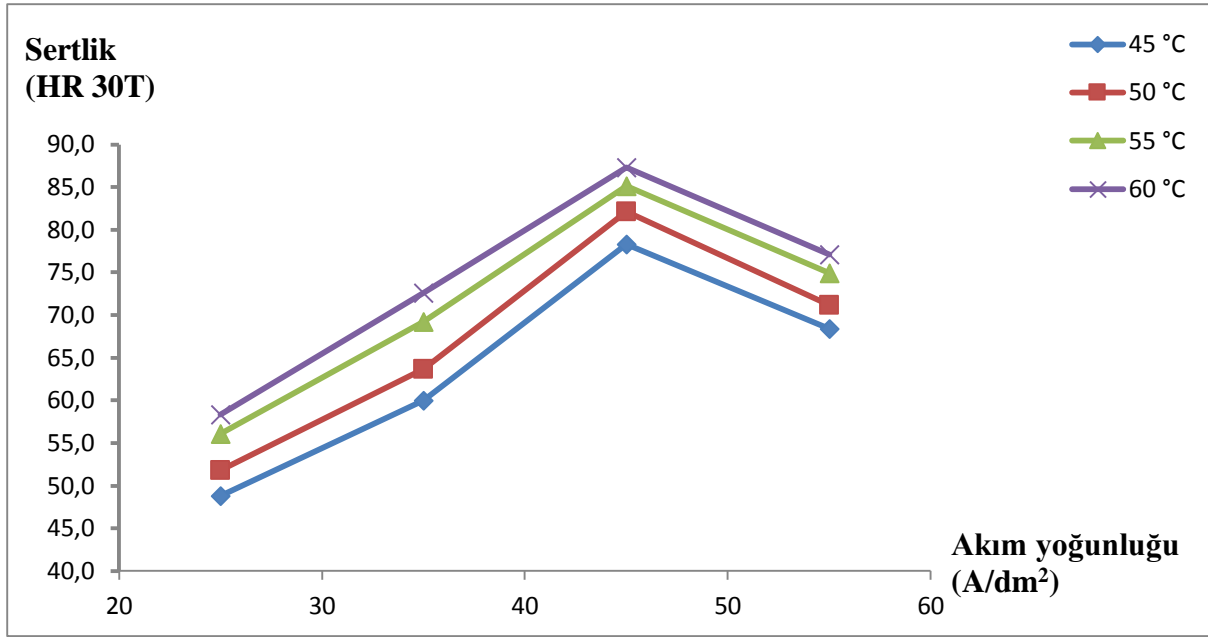
katot arası mesafe 20 mm iken farklı sıcaklıklarda, akım yoğunlukları değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen verileri göstermektedir. Bu verilerden oluşturulan grafik ise Şekil 4.11’de gösterilmektedir.

Anot - katot arasındaki mesafe dışındaki diğer parametreler Çizelge 4.13 ile aynı fakat anot - katot arasındaki mesafe 30 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.14 ve Şekil 4.12’de; anot - katot arasındaki mesafe 40 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler ise Çizelge 4.15 ve Şekil 4.13’te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.13** Akım yoğunluğunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

<b>Akım yoğunluğu (A/dm<sup>2</sup>)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Kaplama sertliği (HR 30T)</b>
25	45 °C	48,80
25	50 °C	51,80
25	55 °C	56,10
25	60 °C	58,30
35	45 °C	60,00
35	50 °C	63,70
35	55 °C	69,20
35	60 °C	72,60
45	45 °C	78,30
45	50 °C	82,10
45	55 °C	85,10
45	60 °C	87,30
55	45 °C	68,40
55	50 °C	71,20
55	55 °C	74,90
55	60 °C	77,10

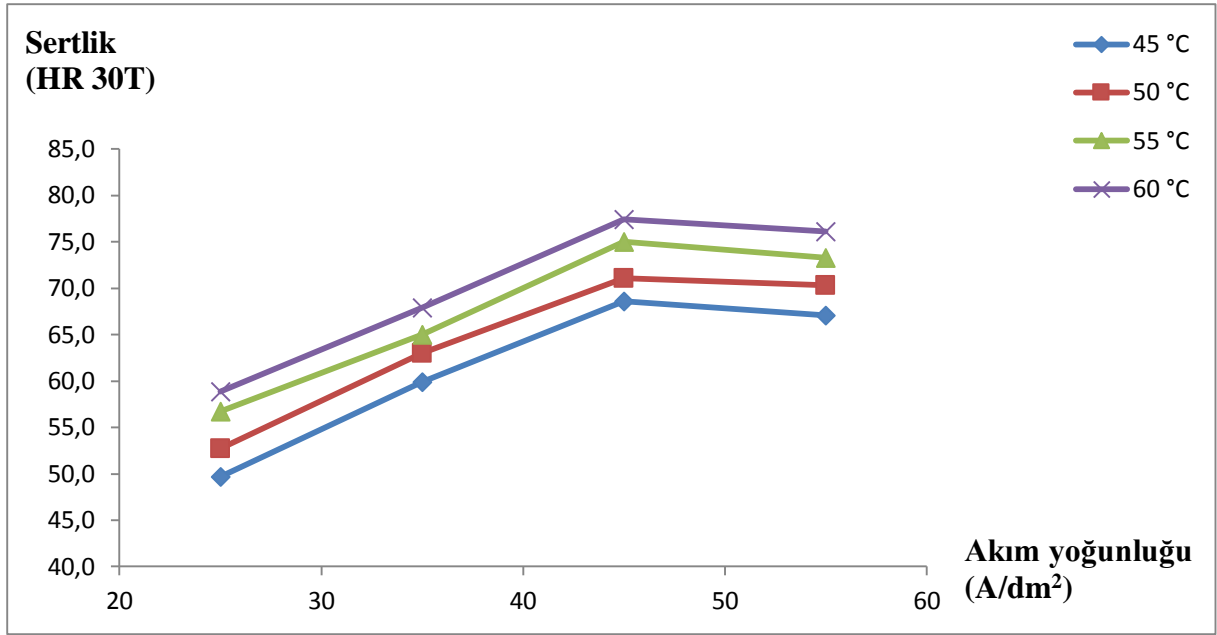




Şekil 4.11 Çizelge 4.13'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

Çizelge 4.14 Akım yoğunluğunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

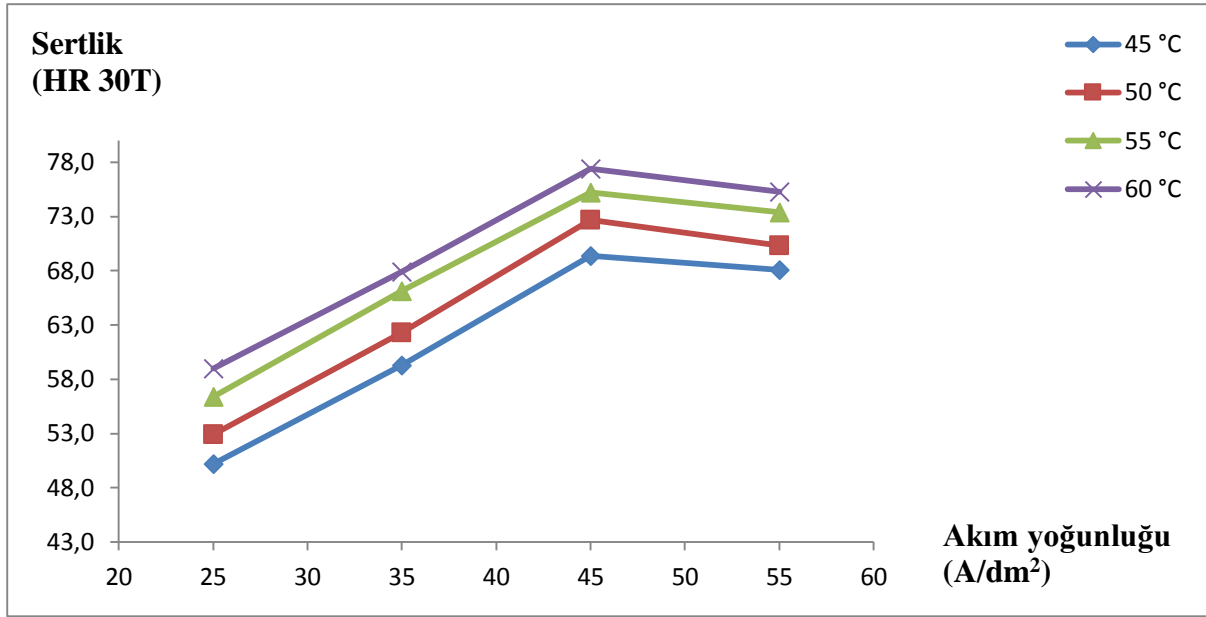
Akım yoğunluğu (A/dm²)	Sıcaklık (°C)	Kaplama sertliği (HR 30T)
25	45 °C	49,70
25	50 °C	52,70
25	55 °C	56,70
25	60 °C	58,90
35	45 °C	59,90
35	50 °C	63,00
35	55 °C	65,00
35	60 °C	67,90
45	45 °C	68,60
45	50 °C	71,10
45	55 °C	75,00
45	60 °C	77,40
55	45 °C	67,10
55	50 °C	70,30
55	55 °C	73,30
55	60 °C	76,10



Şekil 4.12 Çizelge 4.14'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

Çizelge 4.15 Akım yoğunluğunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Kaplama sertliği (HR 30T)
25	45 °C	50,20
25	50 °C	52,90
25	55 °C	56,40
25	60 °C	59,00
35	45 °C	59,30
35	50 °C	62,30
35	55 °C	66,10
35	60 °C	67,90
45	45 °C	69,40
45	50 °C	72,70
45	55 °C	75,20
45	60 °C	77,40
55	45 °C	68,10
55	50 °C	70,30
55	55 °C	73,40
55	60 °C	75,30



Şekil 4.13 Çizelge 4.15'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te elde edilen bu üç grafikten yola çıkarak; akım yoğunluğu arttıkça, kaplama sertliğinin de arttığı fakat 45 amp/dm<sup>2</sup>'den sonra sertlikte azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

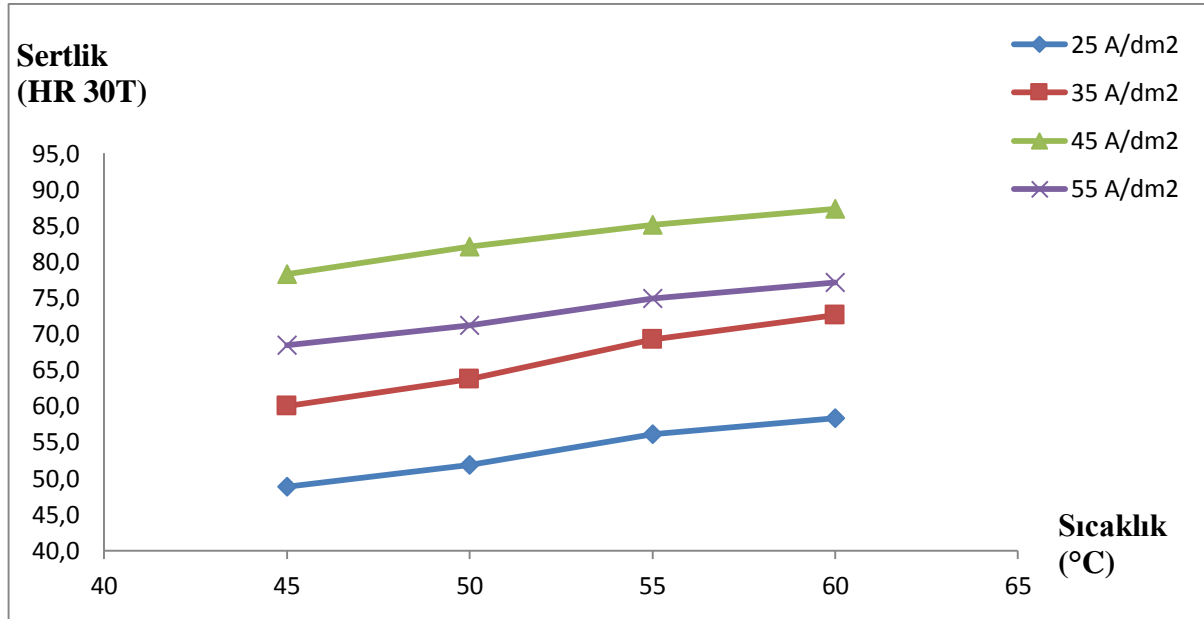
#### 4.3.2 Sıcaklığın Sertliğe Etkisi

Sıcaklığın sertliğe etkisinin tespiti için elde edilen grafikler, akım yoğunluğunun etkisinin araştırılmasındaki gibi yine üç farklı anot - katot arasındaki mesafe için oluşturulmuştur. Çizelge 4.16 banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, anot - katot arasındaki mesafe 20 mm iken farklı akım yoğunluklarında, sıcaklıklar değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen verileri göstermektedir. Bu verilerden oluşturulan grafik ise Şekil 4.14'te gösterilmektedir.

Anot - katot arasındaki mesafe dışındaki diğer parametreler Çizelge 4.16 ile aynı fakat anot - katot arasındaki mesafe 30 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.17 ve Şekil 4.15'te; anot - katot arasındaki mesafe 40 mm olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler ise Çizelge 4.18 ve Şekil 4.16'da gösterilmektedir.

**Çizelge 4.16** Sıcaklığın sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 20 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

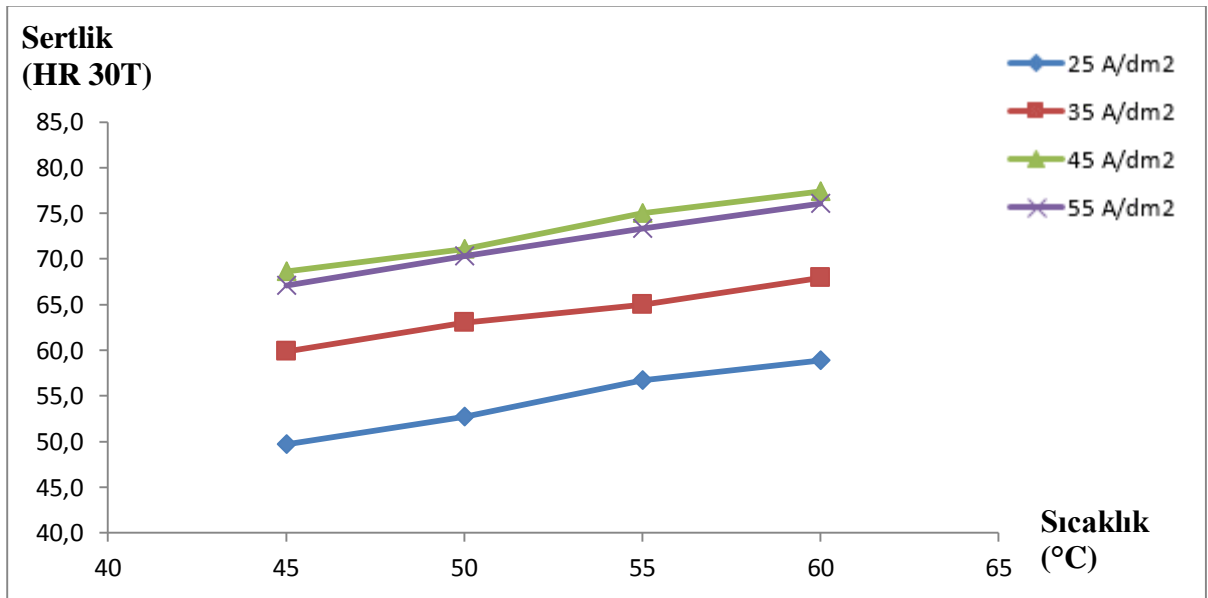
Sıcaklık (°C)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama sertliği (HR 30T)
45	25	48,80
45	35	60,00
45	45	78,30
45	55	68,40
50	25	51,80
50	35	63,70
50	45	82,10
50	55	71,20
55	25	56,10
55	35	69,20
55	45	85,10
55	55	74,90
60	25	58,30
60	35	72,60
60	45	87,30
60	55	77,10



**Şekil 4.14** Çizelge 4.16'daki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

**Çizelge 4.17** Sıcaklığın sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 30 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

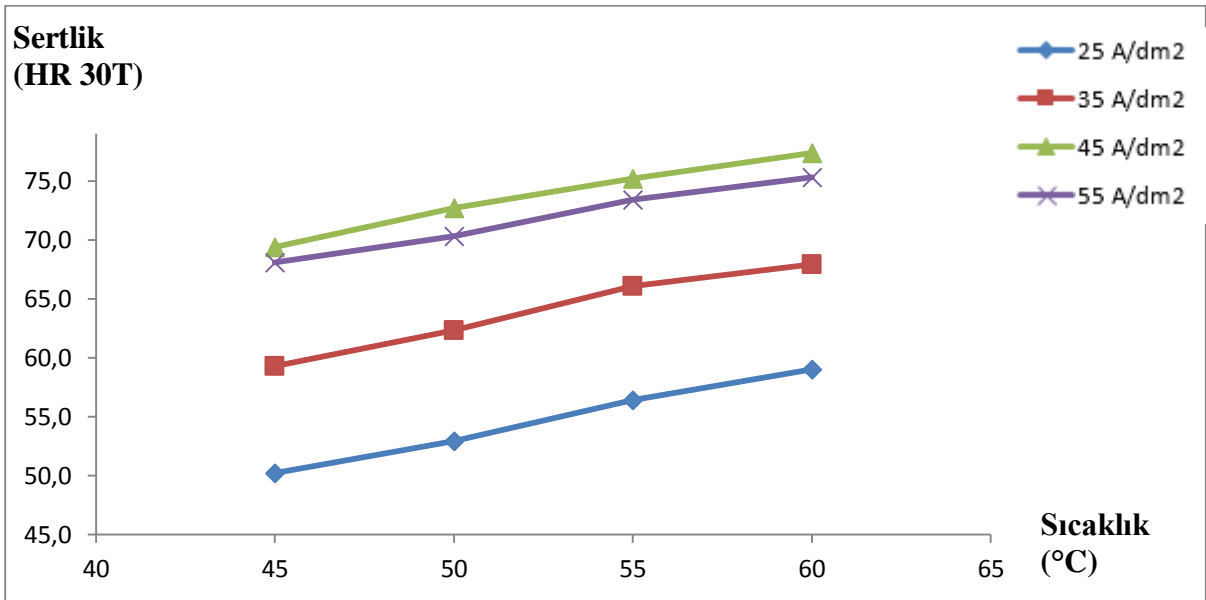
Sıcaklık (°C)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama sertliği (HR 30T)
45	25	49,70
45	35	59,90
45	45	68,60
45	55	67,10
50	25	52,70
50	35	63,00
50	45	71,10
50	55	70,30
55	25	56,70
55	35	65,00
55	45	75,00
55	55	73,30
60	25	58,90
60	35	67,90
60	45	77,40
60	55	76,10



**Şekil 4.15** Çizelge 4.17’deki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

**Çizelge 4.18** Sıcaklığın sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 40 mm anot - katot arası mesafede elde edilen deney verileri.

Sıcaklık (°C)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama sertliği (HR 30T)
45	25	50,20
45	35	59,30
45	45	69,40
45	55	68,10
50	25	52,90
50	35	62,30
50	45	72,70
50	55	70,30
55	25	56,40
55	35	66,10
55	45	75,20
55	55	73,40
60	25	59,00
60	35	67,90
60	45	77,40
60	55	75,30



**Şekil 4.16** Çizelge 4.18'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

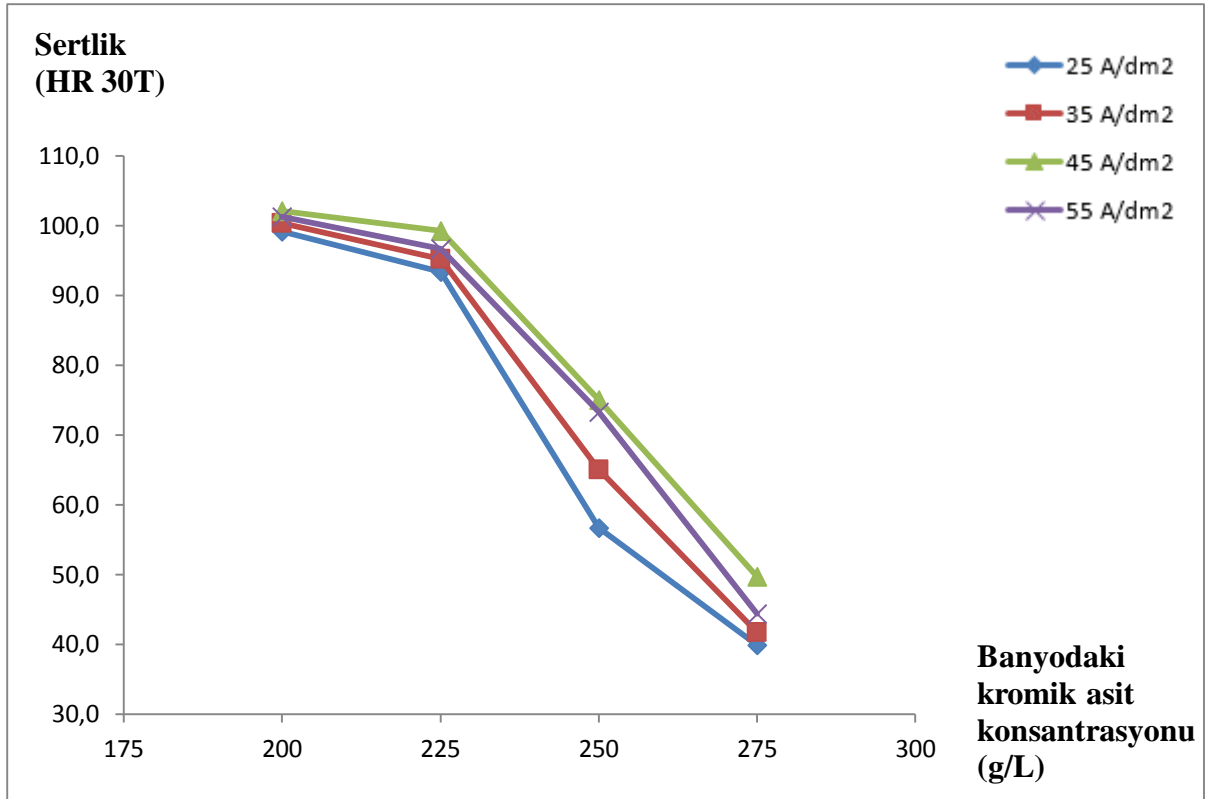
Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da elde edilen bu üç grafikten yola çıkarak; sıcaklık arttıkça, kaplama sertliğinin de arttığı tespit edilmiştir.

#### 4.3.3 Banyodaki Kromik Asit Konsantrasyonunun Sertliğe Etkisi

Banyodaki kromik asit konsantrasyonunun sertliğe etkisinin tespiti için elde edilen grafik; anot - katot arasındaki mesafe 30 mm, sıcaklık 60 °C iken farklı akım yoğunluklarında, banyodaki kromik asit konsantrasyonu değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.19’da gösterilmekte olup Şekil 4.17’de de grafik olarak yansıtılmaktadır.

**Çizelge 4.19** Banyodaki kromik asit konsantrasyonunun sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, kromik asit konsantrasyonu değiştirilerek elde edilen deney verileri.

Banyodaki kromik asit konsantrasyonu (g/L)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama sertliği (HR 30T)
200	25	99,20
200	35	100,40
200	45	102,10
200	55	101,30
225	25	93,40
225	35	95,20
225	45	99,30
225	55	96,70
250	25	56,70
250	35	65,00
250	45	75,00
250	55	73,30
275	25	39,90
275	35	41,70
275	45	49,70
275	55	44,40



Şekil 4.17 Çizelge 4.19'daki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

Şekil 4.17'deki grafikten yola çıkarak; banyodaki kromik asit konsantrasyonu arttıkça, kaplama sertliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

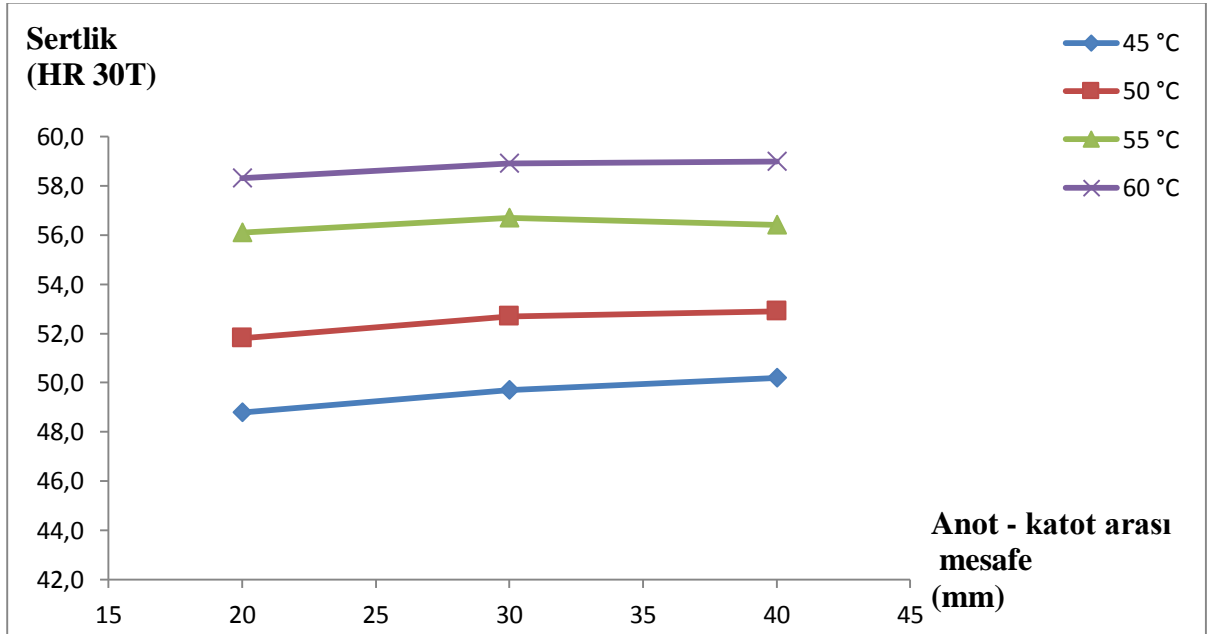
#### 4.3.4 Anot - Katot Arasındaki Mesafenin Sertliğe Etkisi

Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin tespitinde dört farklı akım yoğunluğu için dört farklı grafik oluşturulmuştur. Çizelge 4.20 banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, akım yoğunluğu 25 A/dm<sup>2</sup> iken farklı sıcaklıklarda, anot - katot arasındaki mesafe değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturuldu. Bu veriler Çizelge 4.20'de gösterilmekte olup Şekil 4.18'de de grafik olarak yansıtılmaktadır. Akım yoğunluğu dışındaki diğer parametreler Çizelge 4.20 ile aynı fakat akım yoğunluğu 35 A/dm<sup>2</sup> olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.21 ve Şekil 4.19'da; akım yoğunluğu 45 A/dm<sup>2</sup> olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.22 ve Şekil 4.20'de; akım yoğunluğu 55 A/dm<sup>2</sup> olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler ise Çizelge 4.23 ve Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



**Çizelge 4.20** Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 25 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri.

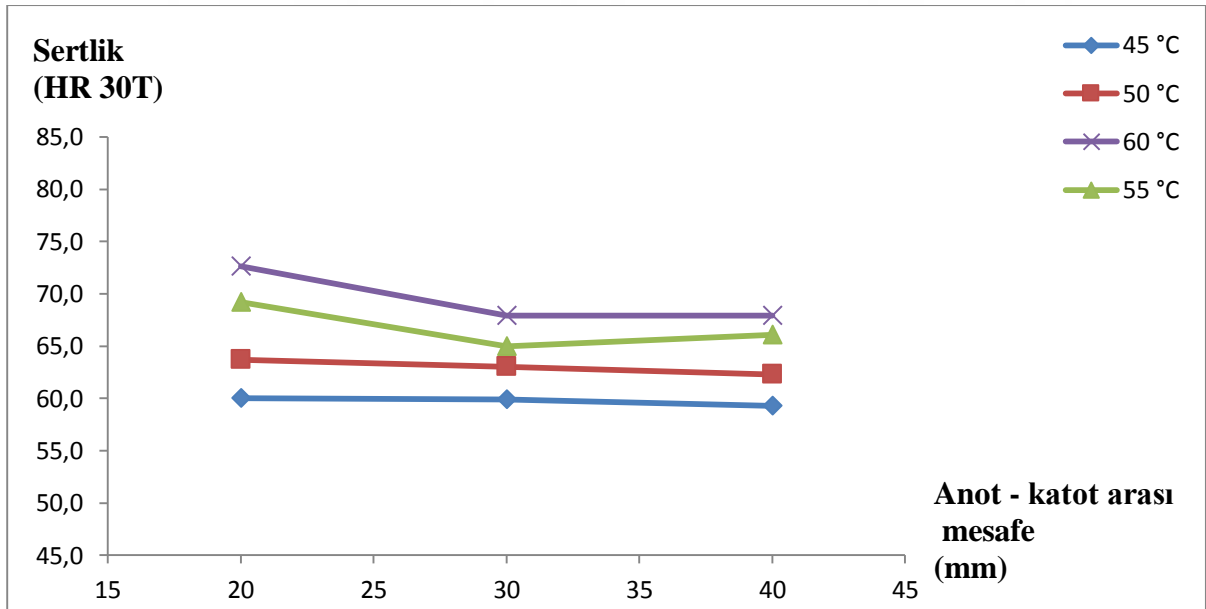
Anot - katot arası mesafe (mm)	Sıcaklık (°C)	Kaplama sertliği (HR 30T)
20	45	48,8
20	50	51,8
20	55	56,1
20	60	58,3
30	45	49,7
30	50	52,7
30	55	56,7
30	60	58,9
40	45	50,2
40	50	52,9
40	55	56,4
40	60	59,0



**Şekil 4.18** Çizelge 4.20'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

**Çizelge 4.21** Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 35 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri.

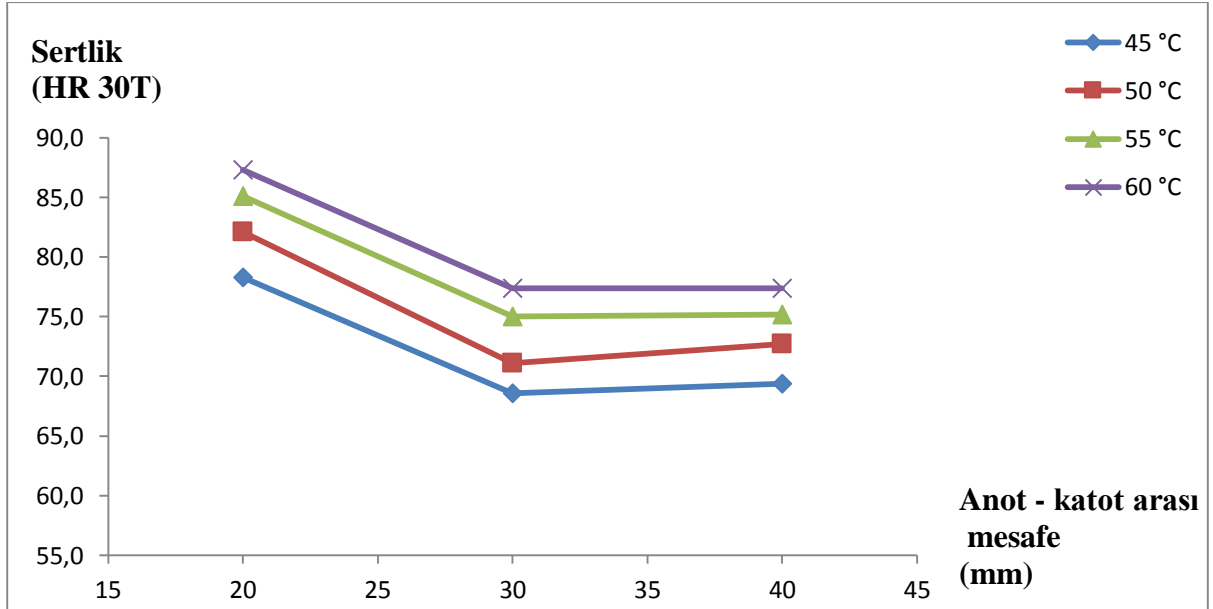
Anot - katot arası mesafe (mm)	Sıcaklık (°C)	Kaplama sertliği (HR 30T)
20	45	60,0
20	50	63,7
20	55	69,2
20	60	72,6
30	45	59,9
30	50	63,0
30	55	65,0
30	60	67,9
40	45	59,3
40	50	62,3
40	55	66,1
40	60	67,9



**Şekil 4.19** Çizelge 4.21'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

**Çizelge 4.22** Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, 45 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri.

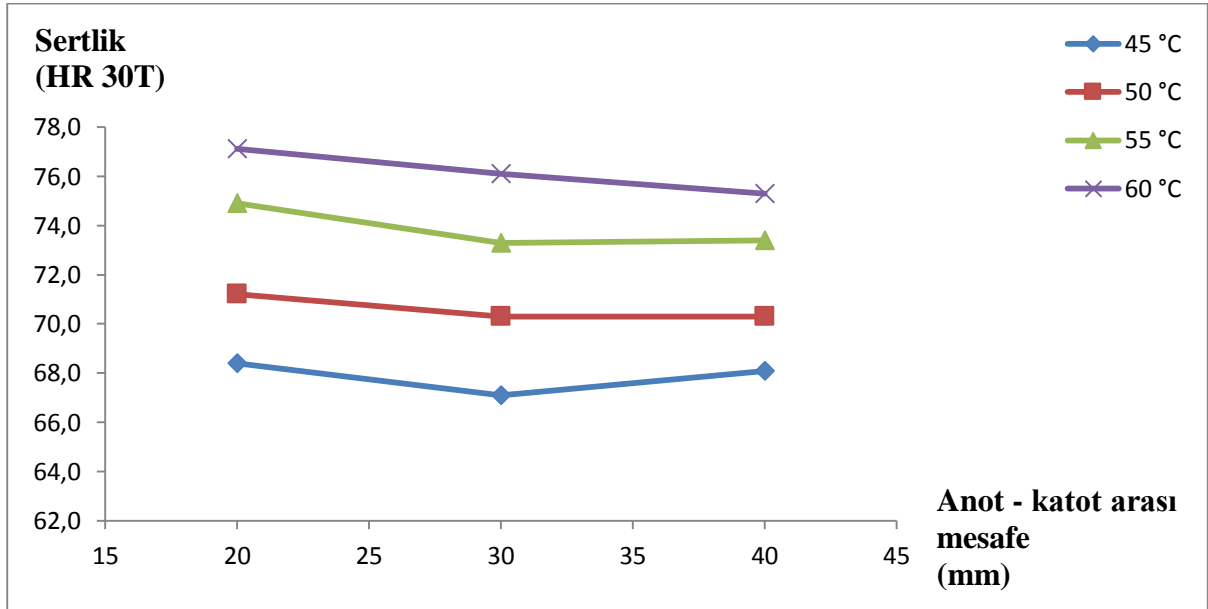
Anot - katot arası mesafe (mm)	Sıcaklık (°C)	Kaplama sertliği (HR 30T)
20	45	78,3
20	50	82,1
20	55	85,1
20	60	87,3
30	45	68,6
30	50	71,1
30	55	75,0
30	60	77,4
40	45	69,4
40	50	72,7
40	55	75,2
40	60	77,4



**Şekil 4.20** Çizelge 4.22'deki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

**Çizelge 4.23** Anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen,  $55 \text{ A/dm}^2$  akım yoğunluğunda elde edilen deney verileri.

Anot - katot arası mesafe (mm)	Sıcaklık (°C)	Kaplama sertliği (HR 30T)
20	45	68,4
20	50	71,2
20	55	74,9
20	60	77,1
30	45	67,1
30	50	70,3
30	55	73,3
30	60	76,1
40	45	68,1
40	50	70,3
40	55	73,4
40	60	75,3



**Şekil 4.21** Çizelge 4.23'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

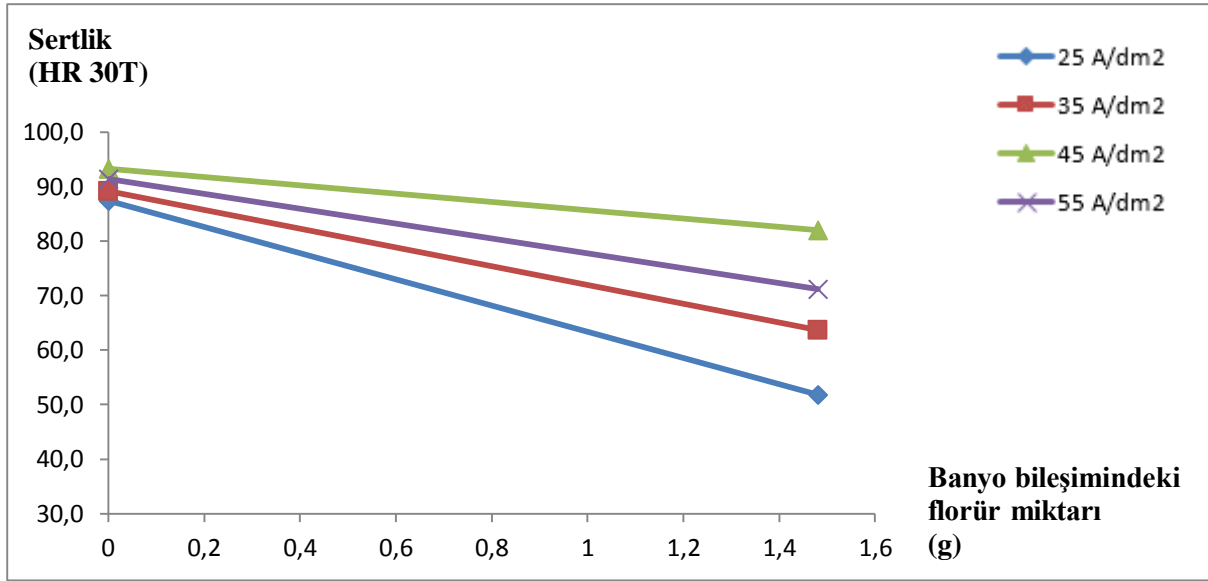
Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de elde edilen bu grafiklerden yola çıkarak; anot - katot arasındaki mesafe arttıkça, kaplama sertliğinin anlamlı bir şekilde değişmediği tespit edilmiştir. Çünkü; sertlik değerlerinin bazen azaldığı, bazen arttığı ve bazen de hemen hemen hiç değişmediği gözlenmiştir.

#### 4.3.5 Banyodaki Florür Varlığının Sertliğe Etkisi

Banyodaki florür varlığının sertliğe etkisinin tespiti için elde edilen grafik; banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, sıcaklık 50 °C, anot - katot arasındaki mesafe 20 mm iken farklı akım yoğunluklarında, banyoya 1,48 g florür konularak ve hiç konulmayarak yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.24’de gösterilmekte olup Şekil 4.22’de de grafik olarak yansıtılmaktadır.

**Çizelge 4.24** Banyodaki florür varlığının sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, florür varlığında ve yokluğunda yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri.

<b>Banyo bileşimindeki florür miktarı (g)</b>	<b>Akım yoğunluğu (A/dm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kaplama sertliği (HR 30T)</b>
Florürlü	25	51,8
Florürlü	35	63,7
Florürlü	45	82,1
Florürlü	55	71,7
Florürsüz	25	87,5
Florürsüz	35	89,2
Florürsüz	45	93,3
Florürsüz	55	91,4



Şekil 4.22 Çizelge 4.24'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

Şekil 4.22'de elde edilen bu grafikten yola çıkarak; banyo bileşimindeki florür varlığında, kaplama sertliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

#### 4.3.6 Kaplama Süresinin Sertliğe Etkisi

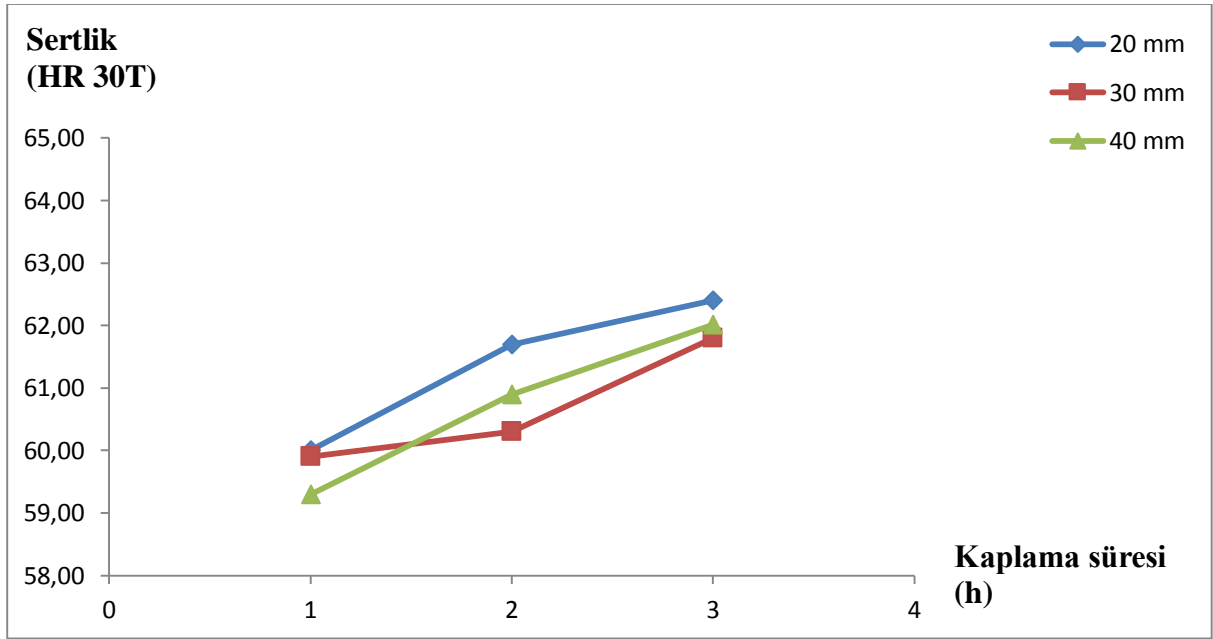
Kaplama süresinin sertliğe etkisinin tespiti için elde edilen grafik; banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, sıcaklık 45 °C, akım yoğunluğu 35 A/dm<sup>2</sup> iken farklı anot - katot arası mesafelerde, kaplama süreleri değiştirilerek yapılan kaplama deneylerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Bu veriler Çizelge 4.25'te gösterilmekte olup Şekil 4.23'de de grafik olarak yansıtılmaktadır.

**Çizelge 4.25** Kaplama süresinin sertliğe etkisinin araştırılmasında değerlendirilen, farklı sürelerde yapılan kaplamalardan elde edilen deney verileri.

Kaplama süresi (h)	Anot - katot arası mesafe (mm)	Kaplama sertliği (HR 30T)
1	20	60,00
1	30	59,90
1	40	59,30

**Çizelge 4.25** (devam ediyor).

2	20	61,70
2	30	60,30
2	40	60,90
3	20	62,40
3	30	61,80
3	40	62,01



**Şekil 4.23** Çizelge 4.25'teki verilerden elde edilen sertlik grafiği.

Şekil 4.23'te elde edilen bu grafikten yola çıkarak; kaplama süresi arttıkça, kaplama sertliğinin de arttığı fakat bu artışın anot - katot arasındaki mesafeyle orantılı bir artış şeklinde olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bu grafikten anot - katot arasındaki mesafenin sertliğe bir etkisinin olmadığı bir kez daha gözlenmiştir.

#### **4.4 KAPLAMA YÜZEYİ EDX ANALİZ SONUÇLARI**

Krom kaplı çeliklerde kaplama yüzeyi EDX (Enerji Dağılımlı X-Ray Analizi) analizleri SEM cihazında yapılmıştır. EDX, yüzeyden yapılan yarı kantitatif analiz anlamına da gelmektedir.

Özellikle, florür iyonu içermeyen banyo çözeltisinde yapılan kaplamalar ile sülfat ve florür iyonlarını birlikte içeren banyo çözeltisinde yapılan kaplamaların yüzeydeki mikroyapılarının kıyaslanması amaçlanmıştır. Banyo çözeltisi içerisinde bulunan kimyasalların, mikroyapı analizlerinde görülüp görülmeyeceği tespit edilmek istenmiştir.

Bu bölümde incelenen numunelerden bazılarının EDX sonuçlarına yer verilmiştir. Bunların genelinde; O, F, Fe, Cr elementleri görülmüştür. Bu numunelerin tümünde sülfat iyonundan kaynaklı olabilecek S elementine rastlanmazken, O elementine birçoğunda rastlanmıştır fakat buradaki O elementinin sülfattan kaynaklı olmadığı görülmüştür. Çünkü, analiz sonuçlarına göre yüzeyde S elementine rastlanmadığı için sülfat iyonunun yüzeye yapışma özelliği olmadığı tespit edilmiştir. Kaplama kalitesi düşük olan kaplamalarda analiz yapılanaya kadar geçen sürede bir miktar oksitlenme olmuş olabileceğinden dolayı O elementinin görülmüş olabileceği düşünülmüştür.

Banyo çözeltisi içerisinde hem sülfat hem de florür iyonları bulunarak kaplanan 9, 25, 41, 51 numaralı numunelerde yapılan kaplama yüzeyi EDX analizlerinin tümünde F elementine rastlanmıştır. Bu sonuca göre, banyo solüsyonunda bulunan F elementinin kaplamanın yüzeyine iyi yapışma özelliğinin olabileceği kanısına varılmıştır.

Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 banyo solüsyonunda sülfat ve florür bir aradayken yapılan EDX analizlerini; Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 ise banyo solüsyonunda florür olmayıp yalnız sülfat varken yapılan EDX analizlerini göstermektedir.

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	22.36	46.82	0.1141	1.1318	0.4496	1.0025
F K	2.82	4.98	0.0019	1.0623	0.0640	1.0000
CrK	74.82	48.20	0.7312	0.9494	1.0294	1.0000
FeK	0.00	0.00	0.0000	0.9480	0.6034	1.0000
Total	100.00	100.00				

**Şekil 4.24** Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 9 numaralı numunenin EDX sonuçları.



Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	36.28	61.39	0.2041	1.0917	0.5145	1.0018
F K	6.01	8.56	0.0043	1.0259	0.0692	1.0000
CrK	57.72	30.05	0.5769	0.9276	1.0776	1.0000
FeK	0.00	0.00	0.0000	0.9279	0.5440	1.0000
Total	100.00	100.00				

**Şekil 4.25** Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 25 numaralı numunenin EDX sonuçları.

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	34.26	59.97	0.1895	1.0964	0.5035	1.0019
F K	4.95	7.29	0.0035	1.0303	0.0681	1.0000
CrK	60.79	32.74	0.6064	0.9319	1.0703	1.0000
FeK	0.00	0.00	0.0000	0.9323	0.5336	1.0000
Total	100.00	100.00				

**Şekil 4.26** Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 41 numaralı numunenin EDX sonuçları.

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
F K	4.59	11.63	0.0031	1.0948	0.0617	1.0001
CrK	95.41	88.37	0.9542	0.9944	1.0057	1.0000
Total	100.00	100.00				

**Şekil 4.27** Katalizör olarak sülfat ve florürü birlikte içeren banyoda kaplanan 51 numaralı numunenin EDX sonuçları.

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
CrK	100.00	100.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Total	100.00	100.00				

**Şekil 4.28** Katalizör olarak yalnız sülfat içeren, florür içermeyen banyoda kaplanan 61 numaralı numunenin EDX sonuçları.

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
CrK	100.00	100.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Total	100.00	100.00				

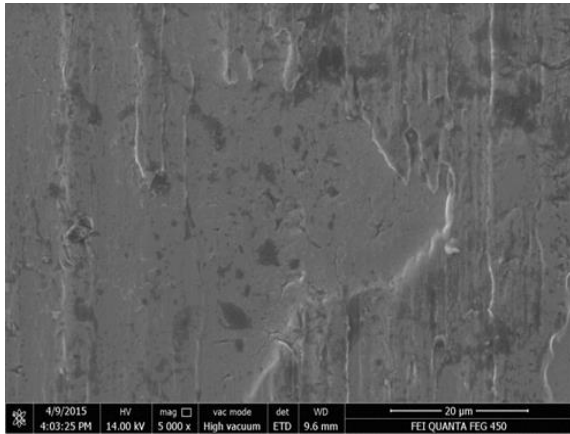
**Şekil 4.29** Katalizör olarak yalnız sülfat içeren, florür içermeyen banyoda kaplanan 62 numaralı numunenin EDX sonuçları.

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	1.02	3.24	0.0047	1.2122	0.3823	1.0043
CrK	98.98	96.76	0.9877	0.9973	1.0006	1.0000
Total	100.00	100.00				

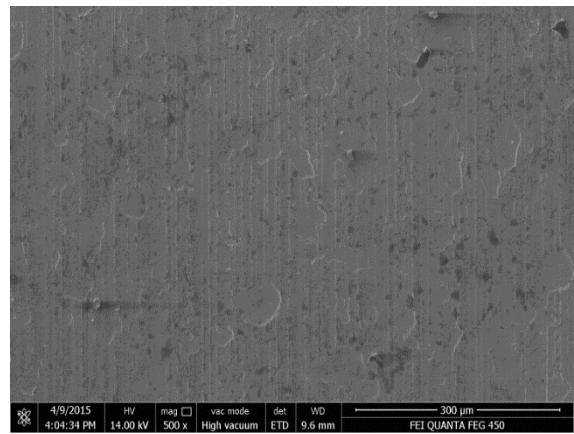
**Şekil 4.30** Katalizör olarak yalnız sülfat içeren, florür içermeyen banyoda kaplanan 63 numaralı numunenin EDX sonuçları.

#### 4.5 KAPLAMA YÜZEYİ MİKROYAPI ANALİZ SONUÇLARI

Krom kaplamaların yüzeydeki mikroyapı analizleri de SEM cihazında yapılmıştır. (2 cm x 3 cm) ebatlarında olan numunelerden (0,5 cm x 0,5 cm) ebatlarında parçalar kesilerek karbon bant ile staba yapıştırılmış ve cihaza yerleştirilerek mikroyapı incelemeleri için farklı büyütme ile yüzeyden görüntüler alınmıştır. Kaplamaların yüzey görüntülerine yer vermeden önce, krom kaplanmamış çeliğin sol, merkez ve sağ yüzeyden alınan görüntüleri Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te gösterilmektedir.

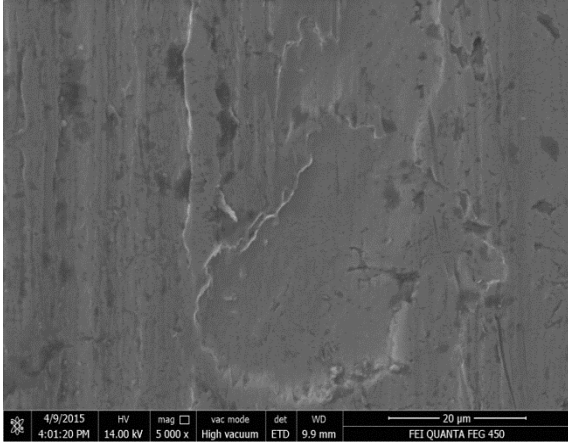


a) 5000 büyütme

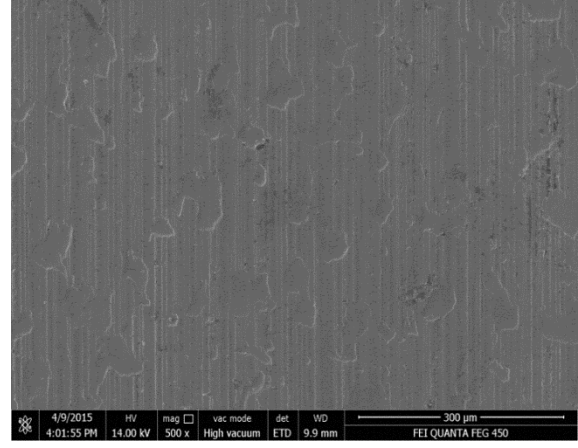


b) 500 büyütme

**Şekil 4.31** Çeliğin kaplanmadan önce 5000 ve 500 büyütme ile sol kenar yüzeyinden alınan görüntüsü.

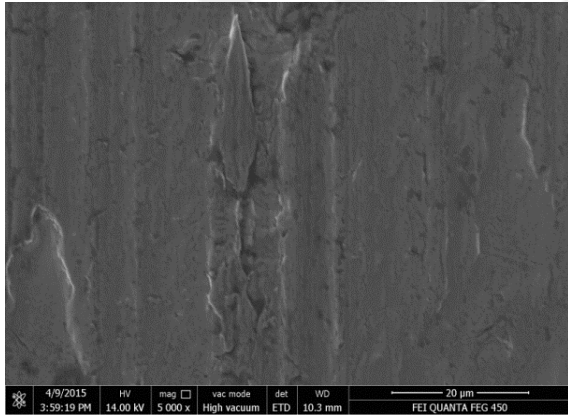


a) 5000 büyütme

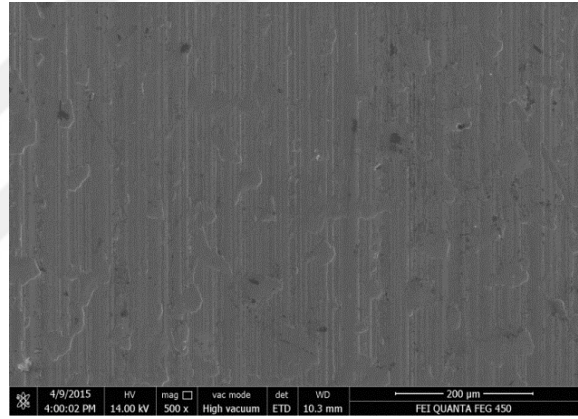


b) 500 büyütme

**Şekil 4.32** Çeliğin kaplanmadan önce 5000 ve 500 büyütme ile merkez yüzeyden alınan görüntüsü.



a) 5000 büyütme



b) 500 büyütme

**Şekil 4.33** Çeliğin kaplanmadan önce 5000 ve 500 büyütme ile sağ kenar yüzeyinden alınan görüntüsü.

Çizelge 4.26’da verildiği gibi banyo bileşimindeki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, anot - katot arası mesafe 30 mm, sıcaklık 45 °C olarak aynı şartlarda ve değişken parametre olarak da farklı akım yoğunluklarında (25 A/dm<sup>2</sup>, 35 A/dm<sup>2</sup>, 45 A/dm<sup>2</sup> ve 55 A/dm<sup>2</sup>) yapılan 17, 21, 25 ve 29 numaralı numunelerin yüzeydeki mikroyapıları incelendiğinde; kaplamalarda ortak olarak boşluklu yapılar olduğu belirlenmiştir. Bu boşluklara 29 numaralı numunede daha fazla rastlanmıştır.

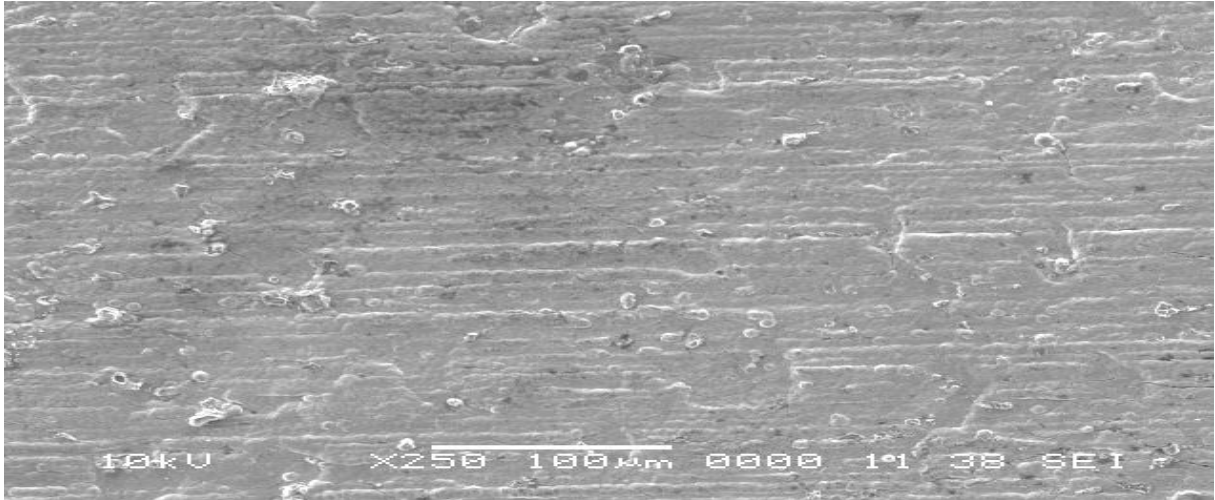
29 numaralı numune gibi yüksek akım yoğunluğunda yapılan kaplamaların yanık kaplama olduğu tespit edilmiştir. Zaten akım yoğunluğu yüksek tutularak yapılan kaplama deneyleri

esnasında da banyoda yoğun hidrojen gazı çıkışı olduğu fark edilmişti. Ayrıca 29 numaralı numunenin rengi, yanık kaplama olmasından dolayı daha koyu olmuştu ve aynı zamanda kaplamada çatlaklar gözlenmişti.

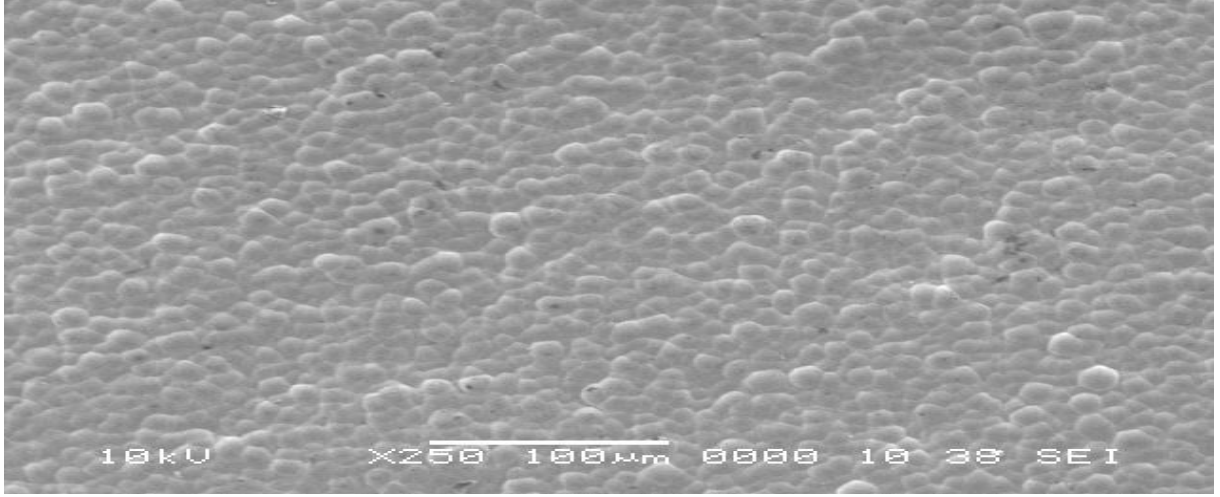
Kaplama kesitlerinin analizlerinde ise; bu dört numune için, akım yoğunluğu arttıkça kaplama kalınlığının da arttığı bulunmuştu. Bu çalışma şartlarında, akım yoğunluğu ile orantılı olarak kalınlık artarken, yanık kaplama elde etme olasılığının ve homojen bir kaplama elde edememe olasılığının da arttığı kanısına varılmıştır.

**Çizelge 4.26** Değişken akım yoğunluklarında kaplanan numunelerin kıyaslanması.

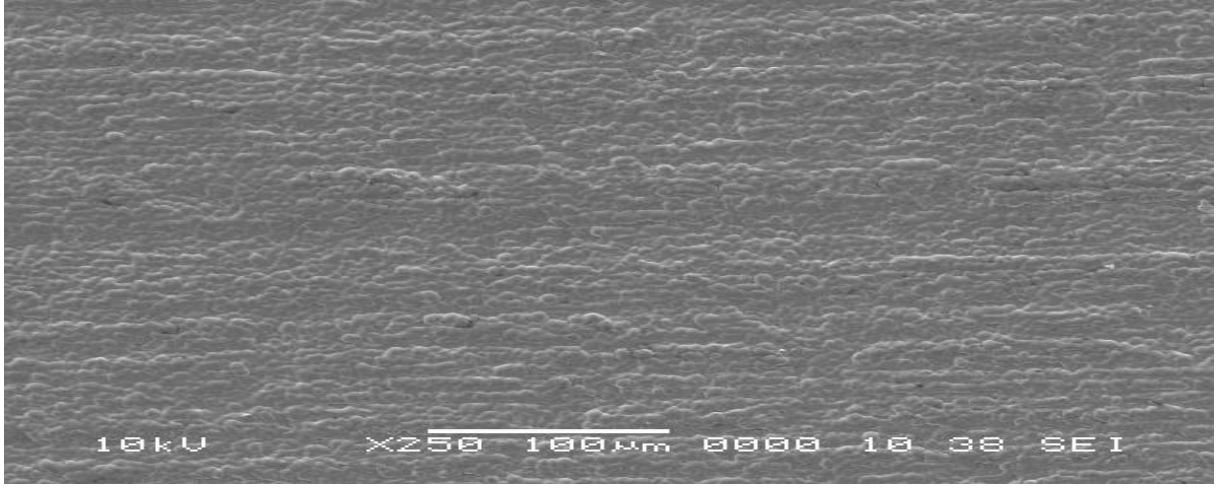
Numune No	Kromik asit konsantrasyonu (g/L)	Anot - katot arası mesafe (mm)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Kaplama kalınlığı (µm)
17	250	30	25	45	24,73
21	250	30	35	45	33,06
25	250	30	45	45	42,97
29	250	30	55	45	49,86



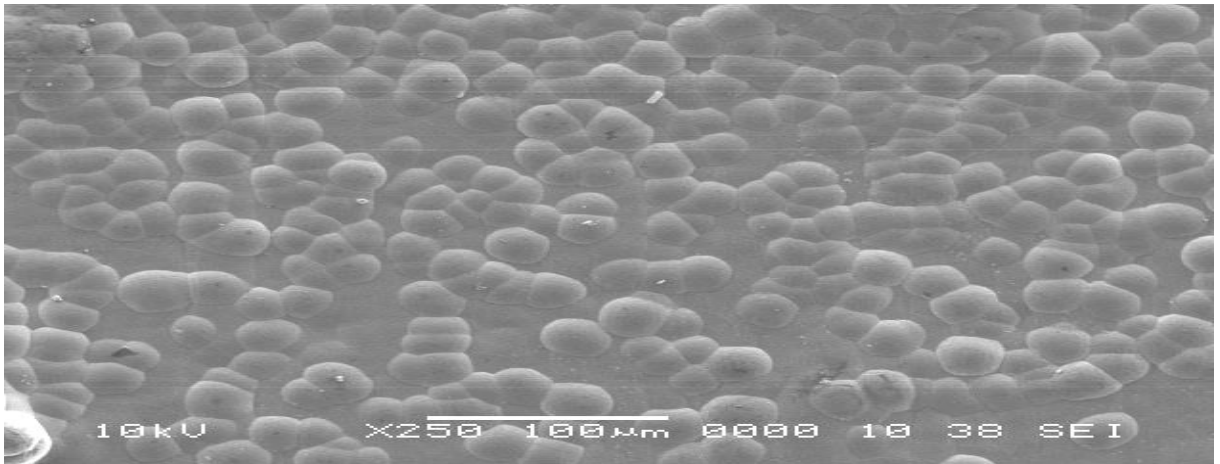
**Şekil 4.34** 25 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 17 numaralı numune (250 büyütme).



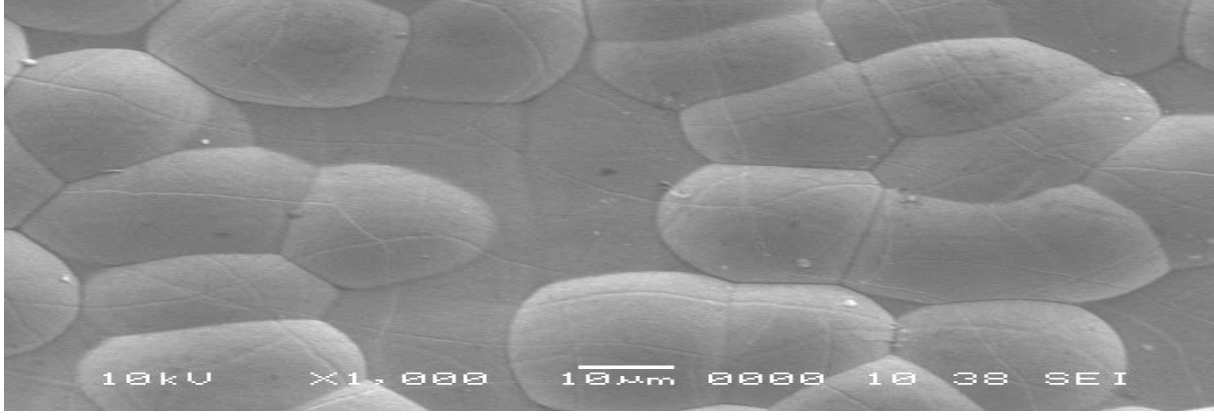
Şekil 4.35 35 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 21 numaralı numune (250 büyütme).



Şekil 4.36 45 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 25 numaralı numune (250 büyütme).



Şekil 4.37 55 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda kaplanan 29 numaralı numune (250 büyütme).



**Şekil 4.38** 29 numaralı numunenin ayrıca 1000 büyütme ile alınan görüntüsü.

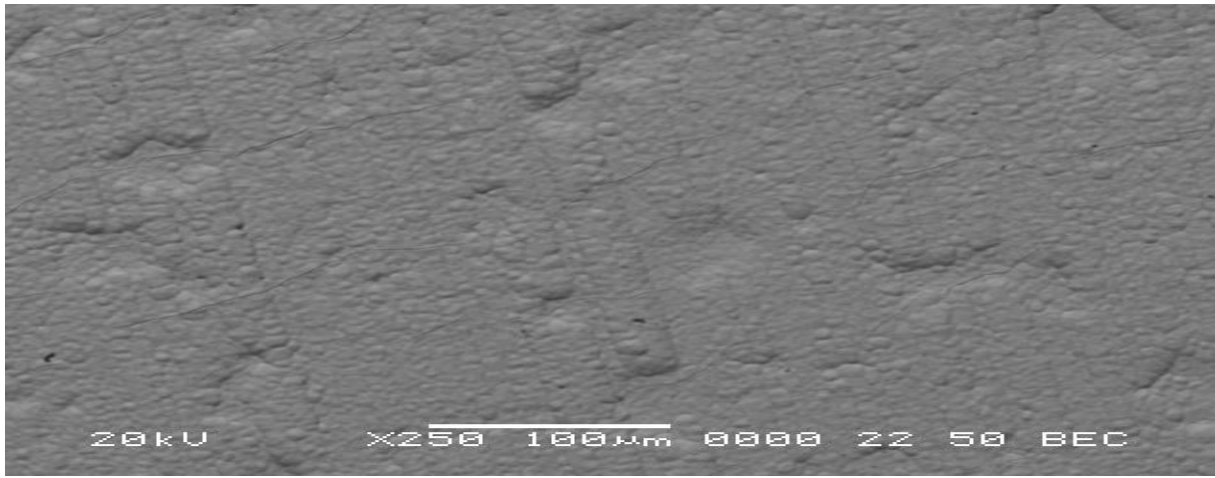
Numunelerin farklı büyütme ile alınan görüntüleri arasında 29 numaralı numunedeki çatlaklar 1000 büyütmede daha net bir şekilde gözlenebilmiştir ve bu çatlaklar Şekil 4.38’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.27’de verildiği gibi banyo bileşimindeki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L, akım yoğunluğu 45 A/dm<sup>2</sup>, sıcaklık 55 °C olarak aynı şartlarda ve değişken parametre olarak da farklı anot - katot arası mesafede (20 mm, 30 mm, 40 mm) yapılan 11, 27 ve 43 numaralı numunelerin yüzeydeki mikroyapıları incelendiğinde; 11 numaralı numunenin kaplamasının homojen olmadığı ve boşlukların var olduğu gözlenmiştir. 27 numaralı numunede de belli bölgelerde kaplama daha kalın olduğundan homojen bir kaplama elde edilememiştir fakat 43 numaralı numunenin, diğerlerine kıyasla daha homojen bir kaplamaya sahip olduğu görülmüştür.

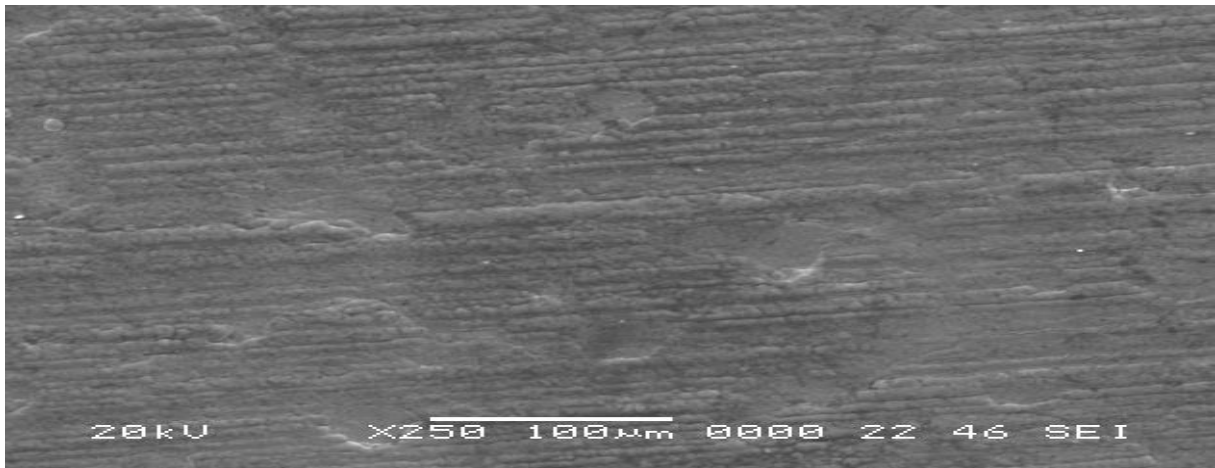
Kaplama kesitlerinin analizlerinde ise; anot - katot arası mesafe yakın tutulduğunda kaplama kalınlığının arttığı görülmüştü fakat artan kalınlıkla birlikte homojen bir kaplama elde edememe olasılığının da arttığı tespit edilmiştir. Özellikle 11 numaralı numunede görülen pürüzlü ve homojen olmayan yapı oldukça fark edilebilir düzeydedir. Zaten çıplak göz ile bakıldığında da bu durum bariz ortadadır. Anot - katot arası mesafenin en uzak tutulduğu 43 numaralı numunenin kaplama kalınlığının daha ince olduğu ve bununla birlikte de daha homojen kaplanmış olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 4.27** Değişken anot - katot arası mesafelerde kaplanan numunelerin kıyaslanması.

Numune No	Kromik asit konsantrasyonu (g/L)	Anot - katot arası mesafe (mm)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Kaplama kalınlığı (µm)
11	250	20	45	55	57,01
27	250	30	45	55	41,01
43	250	40	45	55	33,01

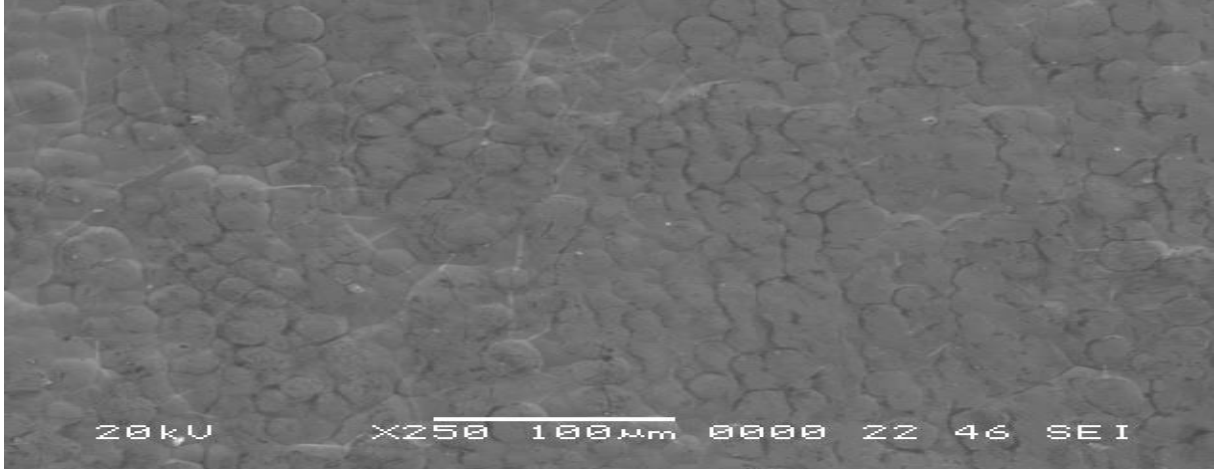


**Şekil 4.39** 20 mm anot - katot arası mesafede kaplanan 11 numaralı numune (250 büyütme).



**Şekil 4.40** 30 mm anot - katot arası mesafede kaplanan 27 numaralı numune (250 büyütme).





**Şekil 4.41** 40 mm anot - katot arası mesafede kaplanan 43 numaralı numune (250 büyütme).

Çizelge 4.28’de verildiği gibi akım yoğunluğu  $35 \text{ A/dm}^2$ , sıcaklık  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , anot - katot arası mesafe 20 mm olarak aynı şartlarda ve değişken parametre olarak da banyodaki kromik asit konsantrasyonu 250 g/L iken, banyoda florür varken ve florür yokken olmak üzere yapılan 6 ve 62 numaralı numunelerin yüzeydeki mikroyapıları incelendiğinde; 62 numaralı numunede oldukça fazla çatlaklar olduğu gözlenmiştir.

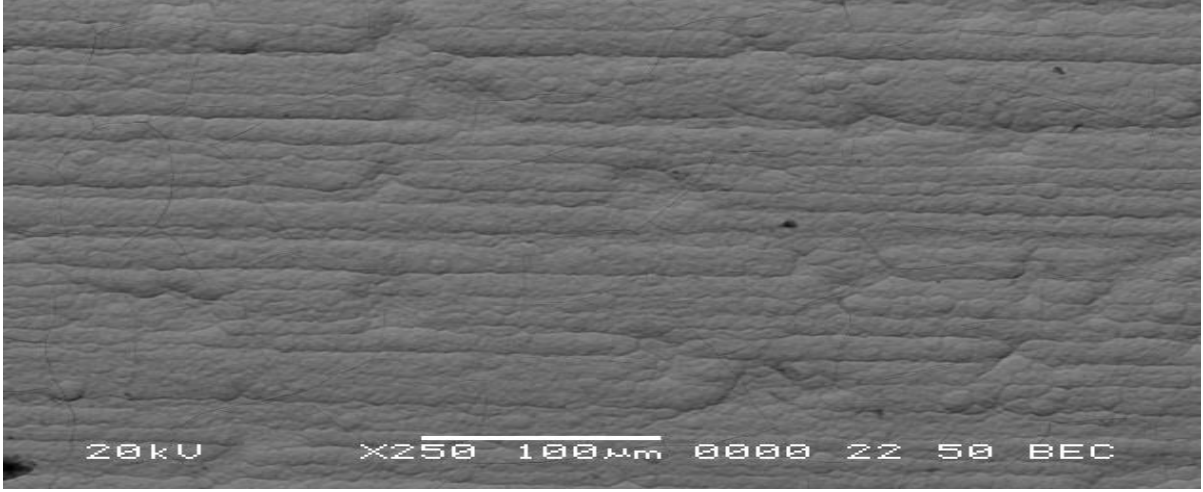
Aynı numunelerin kaplama sertlikleri kıyaslandığında 62 numaralı numunenin sertliğinin 89,2 HR 30T, 6 numaralı numunenin sertliğinin 63,7 HR 30T olduğu göz önünde bulundurulduğunda 62 numaralı numunenin, diğerine kıyasla çok daha fazla sert olmasından kaynaklı çatlaklar oluşmuş olabilir kanısına varılmıştır

Kaplama kesitlerinin analizlerinde ise; banyo solüsyonunda florür mevcutken yapılan kaplamanın daha kalın olduğu belirlenmişti.

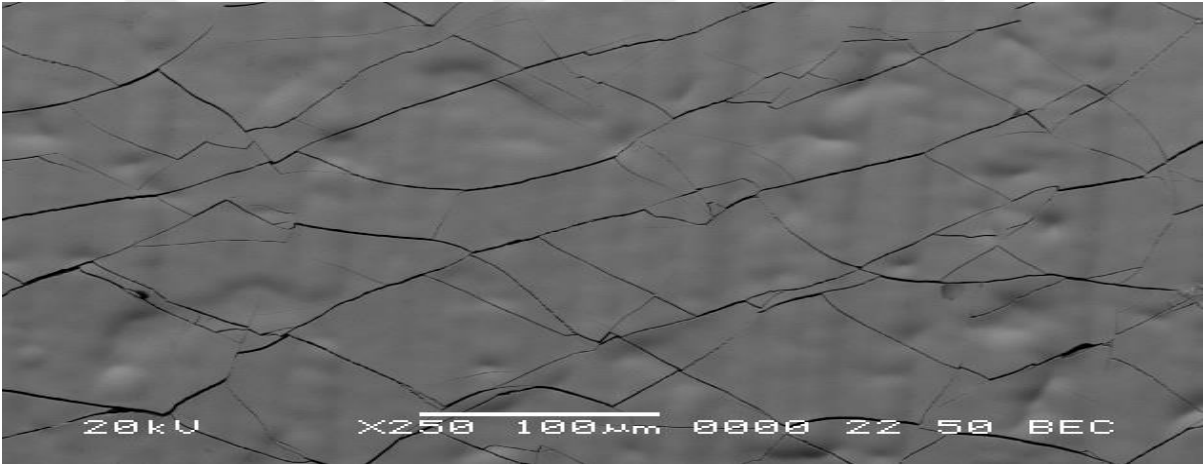
**Çizelge 4.28** Değişken olarak banyo bileşimindeki florür belirlenerek kaplanan numunelerin kıyaslanması.

Numune No	Kromik asit konsantrasyonu (g/L)	Anot - katot arası mesafe (mm)	Akım yoğunluğu ( $\text{A/dm}^2$ )	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	Kaplama kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )
6	250	20	35	50	44,8
62	250 florürsüz	20	35	50	32,15





**Şekil 4.42** Banyo çözeltisinde florür varken yapılan 6 numaralı numune (250 büyütme).



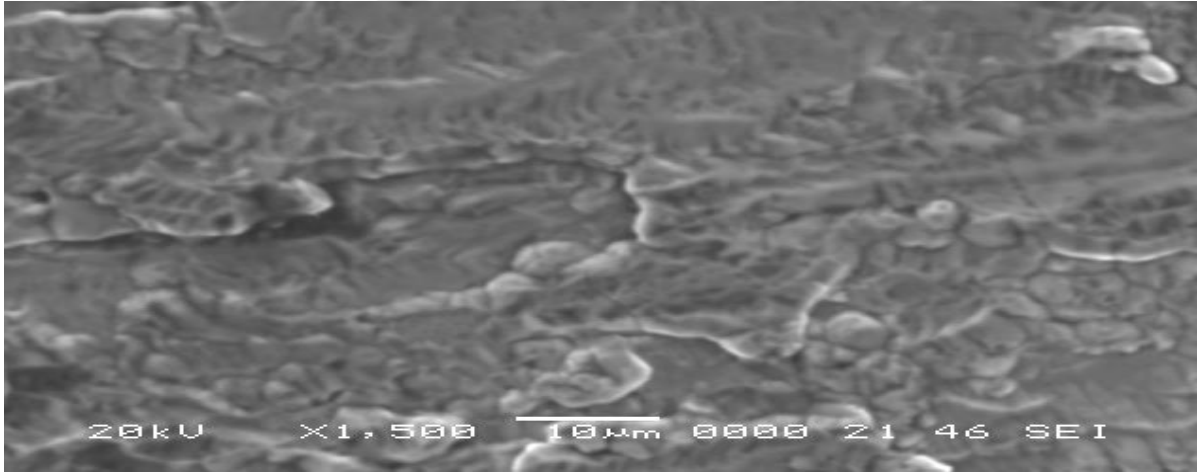
**Şekil 4.43** Banyo çözeltisinde florür yokken yapılan 62 numaralı numune (250 büyütme).

Çizelge 4.29’da verildiği gibi akım yoğunluğu  $25 \text{ A/dm}^2$ , sıcaklık  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , anot - katot arası mesafe 30 mm olarak aynı şartlarda ve değişken parametre olarak da banyo bileşimindeki farklı kromik asit konsantrasyonlarında (200 g/L, 225 g/L, 250 g/L ve 275 g/L) yapılan 20, 49, 53 ve 57 numaralı numunelerin yüzeydeki mikroyapıları incelendiğinde; dört numunenin de hiç birinde yanık kaplama olayına rastlanılmamıştır. Bu numuneler en düşük akım yoğunluğu ve en yüksek sıcaklık şartlarında kaplanan numunelerdir. Yanık kaplama olayının yüksek akım yoğunluklarında gözlemlendiği daha önce de tespit edilmişti. Bu dört numunenin, düşük akım yoğunluğunda kaplama işlemine tabi tutulmasından dolayı hiçbirinde yanık kaplamaya rastlanılmamasının beklenen bir durum olduğu kanısına varılmıştır fakat bununla birlikte istenilen düzeyde homojen bir kaplama elde edilmediği de görülmüştür. Kromik asit

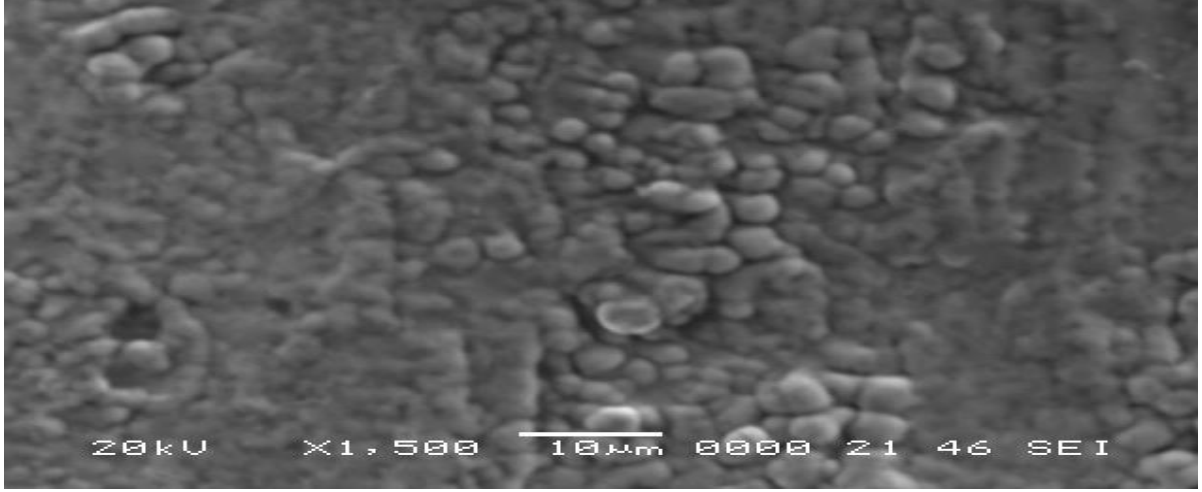
konsantrasyonu en az olan 49 numaralı numunede, diğerlerine oranla daha fazla boşluklar görülmüş, bu banyonun bomesinin daha düşük olmasının, yüzeyin boşluklu olmasına yol açmış olabileceği düşünülmüştür. Kaplama kesitlerinin analizlerinde ise; numunelerin kalınlıkları arasında oldukça fark olduğu görülmüştü. Ayrıca kromik asit konsantrasyonu en fazla olan 57 numaralı numunenin en ince kalınlıkta olduğu tespit edilmişti.

**Çizelge 4.29** Değişken kromik asit konsantrasyonlarında kaplanan numunelerin kıyaslanması.

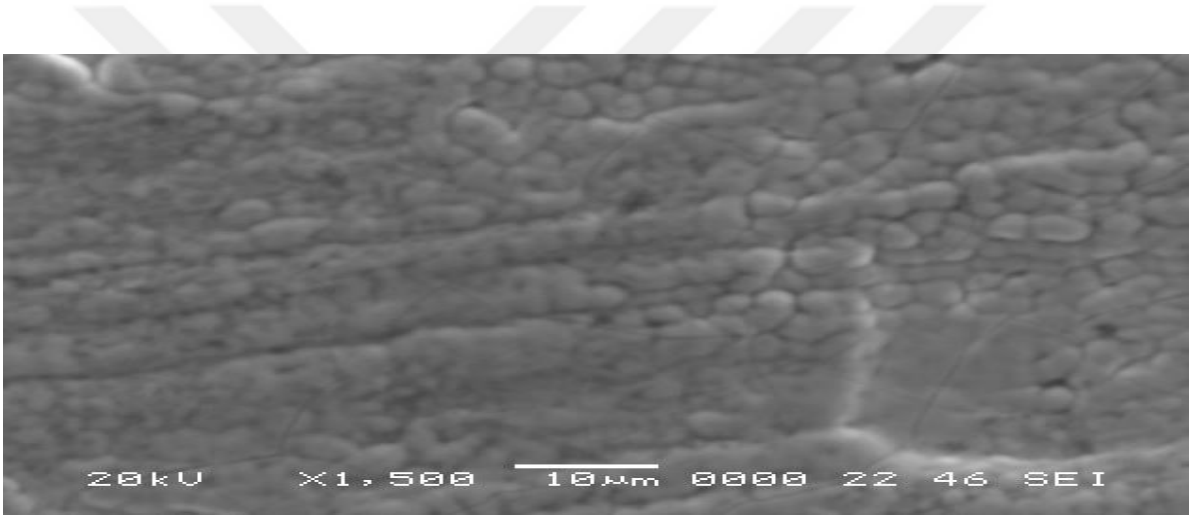
Numune No	Kromik asit konsantrasyonu (g/L)	Anot - katot arası mesafe (mm)	Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Kaplama kalınlığı (µm)
49	200	30	25	60	73,53
53	225	30	25	60	50,19
20	250	30	25	60	22,63
57	275	30	25	60	12,41



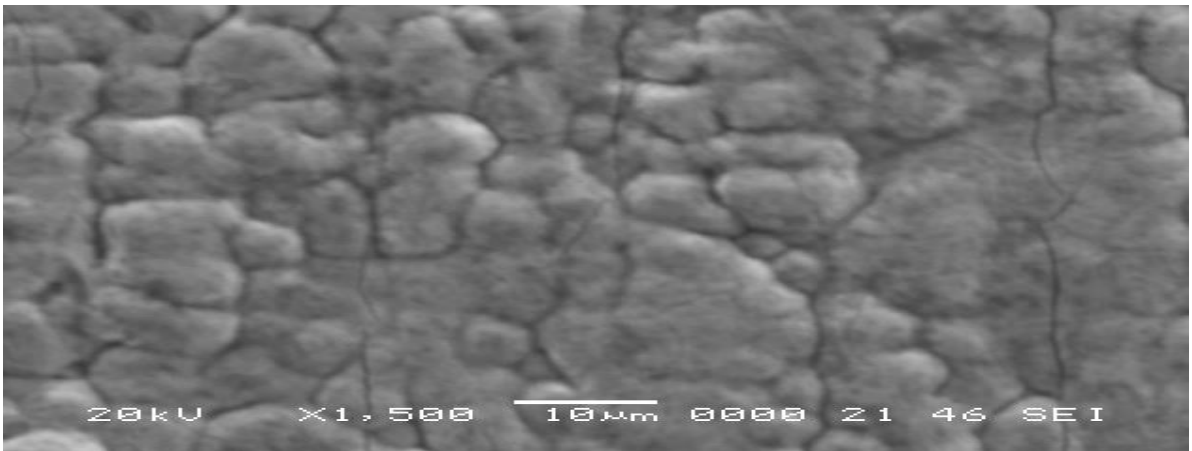
**Şekil 4.44** 200 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 49 numaralı numune (1500 büyütme).



Şekil 4.45 225 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 53 numaralı numune (1500 büyütme).



Şekil 4.46 250 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 20 numaralı numune (1500 büyütme).



Şekil 4.47 275 g/L kromikasit içeren banyoda kaplanan 57 numaralı numune (1500 büyütme).

## 4.6 SONUÇLAR

Farklı çalışma parametreleri ile krom kaplama yapılmış numunelerden elde edilen analiz sonuçları toparlanarak bir arada verildiğinde kaplama kalınlığının çalışma parametreleri ile ilişkileri; akım yoğunluğu arttığında kalınlığın da arttığı, sıcaklık arttığında kalınlığın azaldığı, banyo bileşimindeki kromik asit konsantrasyonu arttığında kalınlığın azaldığı, anot - katot arasındaki mesafe azaldığında kalınlığın arttığı, banyo bileşimindeki florür varlığında kalınlığın arttığı ve kaplama süresi arttığında kalınlığın da arttığı görülmüştür. Kaplama sertliğinin çalışma parametreleri ile ilişkileri ise, akım yoğunluğu arttığında sertliğin de arttığı fakat 45 A/dm<sup>2</sup>'den sonra sertliğin azalmaya başladığı, sıcaklık arttığında sertliğin arttığı, banyodaki kromik asit konsantrasyonu arttığında sertliğin azaldığı, anot - katot arasındaki mesafe arttığında sertliğin anlamlı bir şekilde değişmediği (Sertlik değeri bazen artmış, bazen azalmış ve bazen de hemen hemen hiç değişmemiştir.), banyo bileşimindeki florür varlığında sertliğin azaldığı, kaplama süresi arttığında sertliğin de arttığı fakat bu artışın anot - katot arasındaki mesafeyle orantılı bir artış olmadığı görülmüştür.

Katot yüzeyinde krom birikmesinin hidrojen gazı çıkışıyla olduğu bilinmektedir. Sıcaklık yükseldiğinde; aktivasyon kontrollü olan hidrojen çıkış hızı, krom birikme hızından daha fazla arttığı için yüksek sıcaklıklarda kaplama hızı ve kaplama kalınlığı düşmektedir. Bu durum teorik olarak bu şekilde açıklanabilir [53]. Anot - katot arasındaki mesafe azaldığında, elektrotlar birbirine daha yakın olmuş olduğundan uygulanan akımın çoğu elektroliz için harcanacak ve kaplama kalınlığı da artacaktır [26]. Ayrıca SEM analiz sonuçlarına göre artan bu kalınlıkla beraber homojen bir kaplama elde edilememesi olasılığının da arttığı tespit edilmiştir. Akım yoğunluğu arttığında, kaplama kalınlığının da arttığı bulunmuştu. Akım yoğunluğu ile orantılı olarak kalınlık artarken, yanık kaplama elde edilme ve homojen bir kaplama elde edilememesi olasılıklarının da arttığı gözlenmiştir. Bununla beraber, SEM'de yapılan mikroyapı analizlerinde akım yoğunluğu arttığında kaplamada çatlakların oluştuğu da gözlenmiştir. Banyo solüsyonunda florür yokken yapılan kaplamaların mikroyapı analizinde, florür varken yapılan kaplamaya kıyasla çok daha fazla çatlaklar gözlenmiştir. Ayrıca, florür yokken yapılan kaplamanın sertlik değeri, florür varken yapılanına göre daha fazladır. Sertliğin böyle fazla olmasının etkisiyle kaplamada çatlaklar oluşmuş olabilir kanısına varılmıştır. Kaplama yüzeyi mikroyapı analizlerinin genelinde özetle, kaplama kalınlığı fazla olan numunelerin homojen olmadıkları, boşluklu yapıların var olduğu görülmüş ve SEM'deki yüzey görüntülerinden krom kaplı çeliklerin depozitli yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Kaplama yüzeyi EDX analizlerinde; banyo çözeltisi içerisinde katalizör olarak hem sülfat hem de florür varken kaplanan numunelerin tümünde F elementine rastlanmıştır. Bu sonuca göre, banyo çözeltisinde bulunan florürün kaplamanın yüzeyine iyi yapışma özelliğinin olabildiği tespit edilmiştir. Banyodaki kromik asit konsantrasyonu arttığında, kalınlığın azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum teorik olarak şu şekilde açıklanabilir. Banyodaki kromik asit konsantrasyonu arttığında, banyo daha asidik hale geldiğinden banyo çözeltisinin pH değeri düşmektedir. Bu da banyodaki hidrojen iyonları konsantrasyonunun artması anlamına gelmektedir. Böylelikle, hidrojen gazı miktarı artacağından kromun birikme hızı azalacaktır [26].

İdeal bir kaplama yapabilmek için kaplanacak alt malzeme yüzeyinin kaplama işlemi öncesinde mekanik ve kimyasal temizliğinin düzgün bir şekilde yapılması olmazsa olmaz bir proses adımıdır. Çünkü, elektrolizle kaplama işlemleri ne kadar kusursuz yapılırsa yapılsın, yüzeyi temiz olmayan bir malzeme kaplama yapılmak istenirse ideal bir kaplama elde edilemeyecektir. Ön temizleme işlemlerinin dışında önemli olan diğer hususlar, kaplamanın homojenliğinin sağlanması için banyo çözeltisinin bir karıştırıcı yardımıyla sürekli karışıyor olmasına dikkat etmek, banyo çözeltisinin temizliğine ve kontrolüne önem vermek, anot ve katotun kablo bağlantılarını sık sık kontrol etmektir. Bu işlem adımlarını doğru bir şekilde yerine getirmek, kaplama esnasında yaşanabilecek sıkıntıları önlemede büyük rol oynar. Bunlara ilave olarak, “2.5 Kaplamacılıkta Maliyet Tasarrufu” bölümünde geçen maliyeti düşürmek için yapılabilecek olan adımlara dikkat etmek, işletmedeki kaplama sistemini ona göre kurmak, daha az maliyetle daha kaliteli kaplama elde etmeye oldukça yardımcı olur.

Bu tez çalışmasında yapılan deney verilerine dayanarak  $Cr^{+6}$  ile yapılan sert krom kaplama işlemlerinde, ideal bir kaplama elde etmek için çalışma parametreleri; akım yoğunluğu 45 A/dm<sup>2</sup>, sıcaklık 50 °C - 55 °C, kromik asit konsantrasyonu 225 g/L - 250 g/L ve pH 4 - 5 aralığında tercih edilmelidir. Çünkü, akım yoğunluğu en düşük (25 A/ dm<sup>2</sup>) ve sıcaklık en yüksek (60 °C) olarak yapılan kaplama işlemlerinde donuk renkli ve homojenlikten uzak kaplamalar elde edilmiştir. Aynı zamanda bu şartlarda kromik asit miktarı en düşük (200 g/L) tutulduğunda kaplamada boşluklar olduğu ve kaplama kalitesinin daha kötü olduğu görülmüştür. Yine bu şartlarda sertlikleri kıyaslandığında kromik asit miktarı arttığında sertlik azalmaktadır. Kaplamanın sertliğinin ne çok fazla ne de çok az olması tercih edilmektedir. Çünkü sert olması dayanıklılığı sağladığı gibi fazla sert olması da kaplamada çatlaklara yol açmaktadır. Banyoya florür ilavesinin bu sertliği biraz azaltarak çatlak oluşmasını engellediği ve daha parlak kaplama elde edilmesini sağladığı görülmüştür. Akım yoğunluğu 45 A/ dm<sup>2</sup> nin

üstüne çıkarıldığında sertlikte azalma görülür, bu da dayanıklılık için istenilen bir durum değildir. Bu sebeple akım yoğunluğu 45 A/ dm<sup>2</sup> ideal olarak kabul edilebilir. Sıcaklık 45 °C'de kaplama kalınlığı fazla ve homojenlikten uzak bir kaplama, sıcaklık 60 °C'de kalınlık az fakat daha homojen kaplamaların elde edildiği görülmüştür. Bu sebeple, hem kalınlık hem de homojenlik düşünüldüğünde sıcaklık 50 °C - 55 °C olarak tercih edilmelidir. Kaplama süresi ve anot - katot arasındaki mesafe ise isteğe bağlı olarak değişmektedir. Daha kalın ve daha sert bir kaplama isteniyorsa kaplama süresi uzun tutulmalıdır. Anot - katot arasındaki mesafe ise yaklaştırıldığında daha kalın bir kaplama elde edilmektedir. Bu iki parametrenin seçimi kaplamacının isteğine bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada Cr<sup>+6</sup> ile krom kaplama yapılmıştır fakat günümüzde Cr<sup>+6</sup> ile yapılan krom kaplama prosesleri yavaş yavaş terk edilmeye başlanmıştır. Çünkü, 1990'lı yılların sonlarına doğru Avrupa Topluluğu tarafından ELV Ömrünü Tamamlamış Araçlar ile ilgili 2000/53/EC kodlu direktif yayınlanmıştır. Bu direktifin son hali uyarınca 1 Temmuz 2007 tarihinden itibaren ömrünü tamamlamış araç olarak adlandırılan hurda araçlardaki Cr<sup>+6</sup> miktarı 2 gramı aşmayacaktır. Bu direktife uyumu sağlamak ve sürekli kontrollere mahal bırakmama amacıyla Avrupa otomotiv endüstrisi insan sağlığına ve çevreye zararlı olan Cr<sup>+6</sup> kullanımını tüm kaplama malzemelerini için yasaklama yoluna gitmiştir. Bu zorunluluk otomotiv endüstrisini Cr<sup>+6</sup> özelliklerini gösterecek ve performansını sağlayacak alternatifler üzerinde çalışmaya yöneltmiştir. Günümüzde Cr<sup>+6</sup>'nın yerini tutabilecek en başarılı alternatif olarak Cr<sup>+3</sup> teknolojileri oldukça gelişmiştir. 1980'lerin başından itibaren kanserojen Cr<sup>+6</sup> yerine kullanılabilir Cr<sup>+3</sup> üzerinde çalışılmaktaydı fakat kaplama sanayinde sonuçlar Cr<sup>+3</sup> için pek parlak değildi zira Cr<sup>+3</sup> içeren pasivasyonların tuzlu sis testindeki dayanımları 12 - 24 saat arasındaydı. Otomotiv endüstrisinin uzun süreli korozyon beklentilerini Cr<sup>+3</sup> ile karşılamak amacıyla yürütülen çalışmalar Cr dönüşüm kaplamalar prensibini temel almış ve sonuçta korozyon dayanımı yüksek Cr<sup>+3</sup> içeren pasivasyonlar geliştirilmiştir ve geliştirilmeye de devam edilmektedir [54].

## KAYNAKLAR

- [1] **Çukurcuk Korozyonu** (29.07.2013) *Eren Acar*. Adres:  
<http://erenacarr.tumblr.com/post/56776510765/%C3%A7ukurcuk-korozyonu>
- [2] **Metallerin Korozyonu** (t.y) *Ödev Arşivi*. Adres:  
<http://kutuphanem.bilgievi.gen.tr/indir.aspx?id=6240>
- [3] **Bali U** (2013) Endüstriyel Kirlilik Kontrolü. *Ders Notları*, Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Sivas, 45 s.
- [4] **Metal Yüzeylerinin Korunma Yöntemleri ve Pasivasyon** (28.05.2013) *Kimyasal Deneyler ve Teorik Bilgileri*. Adres:  
<http://kimyasaldeneyler.blogspot.com.tr/2013/05/metal-yuzeylerinin-korunma-yontemleri.html#!/2013/05/metal-yuzeylerinin-korunma-yontemleri.html>
- [5] **Berk V** (2004) *Yüzey İşlemler Teknolojileri I*. 1. baskı, Erişen Matbaacılık, İstanbul, e-kitap, 127 s.
- [6] **Aydonat H** (2002) *Galvano Teknikte Krom Kaplama*. 1. baskı, ISBN: 975-297-081-8, Alfa Yayınevi, İstanbul, 234 s.
- [7] **Jones A R** (1989) Microcraks in Hard Chromium Elektrodeposits. *Plating and Surface Finishing*, 62-66.
- [8] **Jong-Hee Chai, Do Yon Chang and Sik-Chol Kwon** (1989) Properties of Chromium Elektroplated With Pulsed Current. *Plating and Surface Finishing*, South Korea, 80-82.
- [9] **Bozyazı E, Ürgen M ve Çakır A F** (2003) Comparison of reciprocating wear behaviour of electrolytic hard chrome and arc-PVD CrN coatings. *Wear*, 256: 832-839.
- [10] **Gerede Y A** (2003) Krom Kaplama Teknikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Eskişehir, 69 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [11] **Surviliene S, Jasulaitiene V, Nivinskiene O and Cesuniene** (2007) Effect of hydrazine and hydroxylaminophosphate on chrome plating from trivalent electrolytes. *Applied Surface Science*, 253: 6738-6743.
- [12] **Köksal N S, Türkmen İ ve Filazi B** (2012) *14<sup>th</sup> International Materials Symposium (IMSP'2012)*, 10-12 Ekim 2012, Denizli, Türkiye, 6s.
- [13] **Yükseltgenme - İndirgenme Reaksiyonları ve Elektrokimya** (t.y) *Ünite 12*. Adres:  
<http://www.kimyaevi.org/TR/yonlendir.aspx?F6E10F8892433CFF679A66406202CB0BE2AE76D43B06C34>
- [14] **Yükseltgenme - İndirgenme Reaksiyonları** (t.y) *T.C Milli Eğitim Bakanlığı Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü*. Adres:  
[http://yegitek.meb.gov.tr/aok/Aok\\_Kitaplar/AolKitaplar/Kimya\\_6/2.pdf](http://yegitek.meb.gov.tr/aok/Aok_Kitaplar/AolKitaplar/Kimya_6/2.pdf)
- [15] **Erdik E ve Sarıkaya Y** (1993) *Temel Üniversite Kimyası, SI Birimleri İle*. 21. baskı, ISBN: 978-975-7313-01-4, Gazi Kitabevi, Ankara, 1185 s.
- [16] **Kimya Ders Notları** (2013) *Faraday'ın Elektroliz Deneyleri*. Adres:  
<http://kimyaygs.blogspot.com.tr/2013/03/faradayin-elektroliz-deneyleri.html>
- [17] **Pamuk F** (1984) *Genel Kimya*. 2. baskı, ISBN: 978-975-5070-07-0, Gazi Üniversitesi Basın Yayın Yüksek Okul Matbaası, Ankara, 339-341.
- [18] **Dağdevren M ve Arslan Ö** (2006) *Korozyon ve Elektroliz. Enstrümental Analitik Yöntemler Laboratuvar Deney Raporu*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, 20 s.
- [19] **Müller E, Aydoğan C ve Geyran Y** (1956) *Elektrokimya Tatbikatı*. 8. baskı, Kurtulmuş Matbaası, İstanbul, 336 s.
- [20] **Yonar İ K** (1979) *Galvano Teknik Temel Ders Kitabı*. 1. baskı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, e-kitap, 399 s.
- [21] **Skoog D A, West D M, Holler F J** (1999) *Analitik Kimya Temelleri I*. 7. baskı, ISBN: 975-556-025-4, Bilim Yayıncılık, Ankara, 496 s.
- [22] **Beşergil B** (2015) *Enstrümental Analiz Temel İlkeler*. 1. baskı, ISBN: 978-605-344-249-3, Gazi Kitabevi, Ankara, 833s.



## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [23] **Elektrometal Kaplama Tekniği** (t.y) *Kaplama Banyoları Bölüm 1 Ders 6*. Adres:  
<http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/06.pdf>
- [24] **Dokuz Eylül Üniversitesi Korozyon Dersi Deney Föyü** (t.y) *Galvanik Seri*. Adres:  
[https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAAahUKEwiHyqHR6KjHAhWml3IKHbR\\_AGI&url=http](https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAAahUKEwiHyqHR6KjHAhWml3IKHbR_AGI&url=http)
- [25] **Dekoratif Parlak Nikel ve Krom Kaplama** (t.y) *Uđur Kaplama*. Adres:  
<http://ugurkaplama.com.tr/kaplama/dnkaplama.html>
- [26] **Kavak S** (2001) Sert Krom Kaplamada İşlem Parametrelerinin Değiştirilmesinin Kaplama Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 126 s.
- [27] **Siyah Krom Kaplama** (2004) *Ateş Krom Kaplama*. Adres:  
[http://www.ateskrom.com/service\\_trk.asp](http://www.ateskrom.com/service_trk.asp)
- [28] **Siyah Krom Kaplama** (t.y) *Şahinler Metal Sanayi*. Adres:  
<http://www.sahinlermetalltd.com/siyahkrom.htm>
- [29] **Endüstriyel Sert Krom Kaplama** (t.y) *Tarakçıoğlu Yüzey İşleme*. Adres:  
[http://www.tarakcioglu.com.tr/kat.asp?kat\\_adi=End%FCstriyel%20Sert%20Krom%20Kaplama&kat\\_id=51&kat\\_no=0](http://www.tarakcioglu.com.tr/kat.asp?kat_adi=End%FCstriyel%20Sert%20Krom%20Kaplama&kat_id=51&kat_no=0)
- [30] **MKE** (1990) *Metaller İçin Yüzey İşlemleri Seminer Notları*, Ankara, 91 s.
- [31] **Öđel B** (1985) Metal Yüzeylerine Uygulanan İşlemler Yöntem ve Malzeme Seçimi. *Metalurji Dergisi*, (86): 6-9.
- [32] **Galvanoteknik - Krom** (2013) *Erdener Kimya Sanayi*. Adres:  
[http://www.erdenerkimya.com/v2/index.php?option=com\\_content&view=article&id=120&Itemid=117](http://www.erdenerkimya.com/v2/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=117)
- [33] **Erdemir 1**. Soğuk Haddehane Teneke Hattı Ön İşlem Prosesleri.
- [34] **Brugger R** (1984) *Die Galvanische Vernickelung*. 2.baskı, Eugen Lenze Yayınevi, Saulgau, Almanya, 154 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [35] **Elektrometal Kaplama Tekniği** (t.y) *Kaplama Banyosu Kontrolü Ders 5*. Adres:  
<http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/05.pdf>
- [36] **Hull Cell Cihazı ile Galvano Banyoları Kontrol Deneyleri** (2004) *Yüzey İşlemler*.  
Adres: <http://www.yuzeyislemeler.com/indir/HullCell01.pdf>
- [37] **Kromaj Nedir ve Krom Kaplama Nasıl Yapılır?** (2013) *Öztürk Galvano*. Adres:  
<http://www.webhatti.net/forum/konu/kromaj-nedir-ve-krom-kaplama-nasil-yapilir.827190/>
- [38] **Evcin A** (2006) *Kaplama Teknikleri. Ders Notları*, Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Afyonkarahisar, 6 s.
- [39] **Berkem A R** (1957) *Elektrokimya ve Hesapları*. 1. cilt, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 295-301.
- [40] **Deniz Kromaj** (2014) *Polisaj*. Adres: <http://www.denizkromaj.com/>
- [41] **Lowenheim F A** (1978) *Electroplating*. McGraw-Hillbook Yayınevi, New York, Amerika Birleşik Devletleri, 205 s.
- [42] **Üneri S** (1989) *Elektrokimya*. Ankara Üniversitesi Yayınları, Ankara, 16 s.
- [43] **Kabasakalođlu M** (1996) *Kaplama Teknikleri. Ders Notları*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [44] **Elektrometal Kaplama Tekniği** (t.y) *Kaplama Banyosu Kontrolü Ders 14*. Adres:  
<http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/14.pdf>
- [45] **Testler** (t.y) *Demir Çelik Enstitüsü, Karabük Üniversitesi*. Adres:  
<http://dce.karabuk.edu.tr/test.html>
- [46] **Develi S** (1969) *Galvanoteknik (Maden Kaplamacılığı)*. Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 279 s.
- [47] **Krom Kaplamanın Kullanım Alanları** (2012) *Manşet Haber*. Adres:  
<http://www.mansethaber.com.tr/krom-kaplamanin-kullanim-alanlari-91570h.htm>

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [48] **Sert Krom Kaplama Kullanım Alanları** (2015) *Adova Sert Krom Kaplama*. Adres:  
<http://www.sertkromkaplama.gen.tr/sert-krom-kaplama.html>
- [49] **Keleşoğlu E** (2011) *Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, e-kitap, 3-4.
- [50] **Elektrometal Kaplama Tekniği** (t.y) *Metal Kaplamanın Ticari Yönleri Ders 20*. Adres:  
<http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/20.pdf>
- [51] **Altınok S** (2011) *Kaplamada Maliyet Düşürücü Tasarruf Metotları. Yüzey İşlemler Dergisi*, (81): 20.
- [52] **Yıldırım G** (2005) *Galvano Sektöründe Meslek Hastalıkları, Zehirlenmeler ve İlk Yardım*. Yıldırım Elektrik Cihazları San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul, e-kitap, 4-15.
- [53] **Pletcher D** (1990) *Industrial Electrochemistry*. 2.baskı, ISBN: 10: 0412304104, Springer Yayınevi, London, İngiltere, 393-400.
- [54] **Pasivasyonlarda Üç Değerlikli ve Altı Değerlikli Krom Kullanımı** (t.y) *Tekno Kaplama*. Adres:  
[http://www.teknokaplama.com/teknikbilgi/pasivasyonlardaucdegerlikli\(trivalent\)vealti degerlikli\(hexavalent\)krom.pdf](http://www.teknokaplama.com/teknikbilgi/pasivasyonlardaucdegerlikli(trivalent)vealti degerlikli(hexavalent)krom.pdf)



## EK AÇIKLAMALAR

### EK A: Faraday Kanunu İle Bir Saatte Kaplanacak Krom Miktarı

Kromun mol kütlesi: 52,01 g/mol

Birleşme değeri: 3 veya 6 ( $\text{Cr}^{+6}$  ile kaplama yapıldığı için bu değer 6 alınır.)

Valans – gram (eşdeğer gram) =  $52,01 / 6 = 8,66$  g

Bir saatte kaplanan krom miktarı ise;  $8,66 \text{ g} / 26,8 \text{ Ah} = 0,32 \text{ g} / \text{Ah}$

Buradaki 26,8 Ah'in nereden geldiği hatırlanacak olursa:

1 valans - gram element için, (96500) amper saniyeye ihtiyaç vardır.

$96500 \text{ C} = 96500 \text{ As} = 1 \text{ Faraday}$

Galvanoteknikte *amper - saat* üzerinden çalışılır. Yani,

$96500 / 3600 = \text{amper saniye} / \text{saniye} / \text{saat} = 26,8 \text{ Ah}$

Fakat pratikte verim % 100 olmadığından akımın hepsi elektrolizde kullanılmaz. Pratikte verimin ortalama % 20 civarında olduğu düşünüldüğünde 0,064 g/Ah olarak hesaplanır. O halde teorik olarak bir saatte kaplanan krom miktarı 0,32 g/Ah olmasına rağmen, aslında pratikte yaklaşık 0,064 gram kaplanmıştır [20].

### EK B: Kaplanacak Krom Miktarının Hesaplanması

Örneğin, kaplanacak yüzey  $12 \text{ dm}^2$ , akım yoğunluğu  $2 \text{ amp/dm}^2$ , % 20 verimle 45 dakika (0,75 saat) krom kaplanması istenmiş olsun. Kaplanacak krom miktarı şu formülle bulunabilir.

$$G = Ae \cdot F \cdot J \cdot t \cdot \eta_k \quad (2.20)$$

## EK AÇIKLAMALAR (devam ediyor)

$G$  = kaplanan krom miktarı, g

$A_e$  = teorik olarak katotta toplanan 1 Ah'lik krom, g

$F$  = kaplanan alan,  $dm^2$

$J$  = akım yoğunluğu,  $A/dm^2$

$t$  = kaplama zamanı (h)

$\eta_k$  = katot akım verimi

Veriler 2.20'de yerlerine konulduğunda:

$$G = 0,32 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 0,20$$

Buradan kaplanan krom miktarı teorik olarak 1,152 g olarak bulunur [20].

### EK C: Kaplama Kalınlığının Hesaplanması

Bir önceki örnekteki veriler ile kaplama kalınlığı hesaplanacak olursa,

$$D = (A_e \cdot J \cdot t \cdot \eta_k) / (d \cdot 10) \quad (2.21)$$

$D$  = kaplama kalınlığı, mm

$d$  = özkütle,  $gr/cm^3$  (kromun özkütlesi:  $7,19 \text{ gr/cm}^3$ )

Veriler 2.21'de yerlerine konulduğunda:

$$D = (0,32 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 0,20) / (7,19 \cdot 10)$$

Buradan kaplanan krom kalınlığı  $0,0013 \text{ mm}$  olarak bulunur fakat kalınlık okuma bakımından mm pek hassas değildir. Bu değer  $\mu m$  cinsinden ifade edilirse,  $1 \text{ mm} = 1000 \mu m$ 'dir. O halde bulunan değer  $1,3 \mu m$ 'dir [20].

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Kdz. Ereğli’de doğdu. İlköğrenimini Kdz. Ereğli Cumhuriyet İlköğretim Okulu’nda, Liseyi Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2005 yılında girdiği Ankara Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Lisans Programı’na devam ederken Açık Öğretim Eskişehir Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü’ne de başladı. 2009 yılında Gazi Üniversitesi Kimya Bölümü’nden ve 2011 yılında da Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü’nden mezun oldu. Nisan 2010 tarihinde Kdz. Ereğli Özel Echomar Hastanesi’nde Laborant ünvanı ile iş hayatına başladı. 2011 yılında Erdemir Sağlık Merkezi’ne Laborant olarak geçiş yaptı. 2013 yılında ise Erdemir Genel Kimya ve Soğuk Haddehane Laboratuvarı’na yine Laborant ünvanı ile transfer oldu ve halen aynı görevde çalışmaktadır. Aynı zamanda 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Sürekli Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi’nin yaptığı “İş ve Meslek Danışmanı” sınavından başarıyla geçerek sertifika almaya hak kazandı. Yine aynı yıl içinde Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başladı.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres: Bağlık Lojmanları 88 Evler Blok: 1A Daire: 301 Kdz. Ereğli / ZONGULDAK

Tel : 0538 832 3754

E-posta: bahar-lty@hotmail.com