

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROLİTİK KAPLAMADA ORGANOMETALİK  
MALZEMELERİN KAPLAMA VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Metalurji ve Malzeme Müh. Mihriban DEMİRCAN**

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim ÜNAL**

**KOCAELİ, 2008**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROLİTİK KAPLAMADA ORGANOMETALİK MALZEMELERİN KAPLAMA  
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Metalurji ve Malzeme Müh. Mihriban DEMİRCAN**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunulduğu Tarih : 08/04/2008

Tez Danışmanı

Üye

Üye

Yard. Doç. Dr. H. İbrahim ÜNAL Prof. Dr. Şadi KARAGÖZ Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN

(.....) (.....) (.....)

NİSAN 2008

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Metallerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, dirençlerinin artırılması ve yeni malzemelerin de oluşması sürecine elektrokimyasal kaplamanın katkısı tartışılmazdır. Bu nedenle bir elektrokaplama sisteminin oluşumu, etken faktörlerin ve bu faktörlerin kaplama yapısını nasıl değiştirdiğinin bilinmesi bir sonraki adımların atılmasında oldukça faydalı olacaktır. Bu çalışmanın da bundan sonra yapılacak benzer veya dolaylı çalışmalara yardımcı olmasını dilerim.

Bana tez çalışmam sürecinde destek veren danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim ÜNAL'a ve KOÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Şadi KARAGÖZ'e; çalışmamın laboratuvar kısmındaki katkılarından dolayı KOÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği araştırma görevlisi arkadaşlarım, Sayın Onur BİRBAŞAR, Hakan ATAPEK, Fulya GÜNDOĞAN, Erdem KARAKULAK, Rıdvan YAMANOĞLU ve Sayın Uzm. Serap GÜMÜŞ'e; numunelerin hazırlanması aşamasındaki yardımlarından dolayı Sayın Mustafa GÖKTEPE ve Galtek-Kimya çalışanlarına; verdikleri teknik destekten dolayı Elektrolize Metal Sanayi ve TMK A.Ş' ye; çalışmam esnasındaki desteklerinden dolayı İZGAZ A.Ş ve çalışma arkadaşlarıma ve her anımda desteğini esirgemeyen başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme;  
Teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vii
SİMGELEr DİZİNİ ve KISALTMALAR .....	viii
Simgeler .....	viii
Kısaltmalar .....	viii
GİRİŞ .....	1
2.ELEKTROLİZ .....	2
2.1 Elektrolizin Tanımı ve Temel Kavramlar .....	2
2.2 Suyun Elektrolizi.....	5
2.3 Elektrolizde Meydana Gelen Olaylar .....	7
2.4 Metallerin Yükseltgenme Yatkınlıkları .....	9
2.5 Reaksiyon Hızına Etki Eden Faktörler.....	9
2.6 Faraday Yasaları .....	11
2.7 Elektrolizin Kullanım Alanları .....	13
3 ELEKTROMETAL KAPLAMA .....	15
3.1 Elektrometal Kaplamanın Temel Prensipleri .....	15
3.1.1 Elektroliz kaplamada enerji.....	16
3.1.1.1 Elektrik akımının kimyasal etkisi .....	18
3.1.1.2 Kaplama çözeltisinde direnç ve iletkenlik .....	18
3.1.1.3 Kaplama banyosunda polarizasyon.....	21
3.1.1.4 Kaplama banyosunda eşik gerilimi .....	22
3.1.2 Elektro kaplamada banyo.....	24
3.1.2.1 Banyoların oluşturulması .....	24
3.1.2.2 Banyo kimyasalları.....	26
3.1.2.3 Banyo kontrolü.....	27
3.1.2.4 KCN etkisi.....	31
3.1.3 Elektro kaplamada tank.....	32
3.2 Kaplamacılıkta Uygulanan İşlemler.....	34
3.2.1 Kaplamaya ön hazırlık .....	35
3.2.1.1 Parça yüzeyinin düzeltilmesi ve temizlenmesi .....	37
3.2.1.2 Yağ alma.....	39
3.2.1.3 Oksit tabakasının kaldırılması ve dağlama .....	40
3.3 Elektrometal Kaplamanın İşleminin Gerçekleşmesi.....	41
3.3.1 Difüzyon oluşumu.....	42
3.3.2 Çekirdeklenme oluşumu .....	43
3.3.3 Akım değişimi .....	47
3.3.4 Kaplama filminin kalınlığı .....	49
3.4 Kaplama İşleminde Etken Faktörler.....	50
3.4.1 Akım yoğunluğu.....	50
3.4.2 Kaplamada akım verimi .....	52
3.4.3 Limit akım yoğunluğu.....	56
3.4.4 Konsantrasyon ve karıştırma.....	56
3.4.5 Sıcaklık.....	59
3.4.6 Metal ve elektrolit özelliği .....	60

3.4.7 pH.....	61
3.4.8 Dağılıma gücü ve metalin dağılması.....	62
3.5 Elektro Kaplamanın Kullanım Alanları .....	64
3.5.1 Elektroliz ile çinko kaplama.....	64
3.5.2 Elektroliz ile altın kaplama .....	65
3.5.3 Elektroliz ile bakır kaplama .....	66
3.5.4 Elektroliz ile nikel kaplama .....	67
3.5.5 Elektroliz ile gümüş kaplama.....	68
4 DENEYSEL ÇALIŞMA .....	69
4.1 Deneyin Yapılışı .....	70
4.1.1 Deney düzeneği ve numunelerin hazırlanması .....	70
4.1.1.1 Numunelerin kaplamaya hazırlanması .....	71
4.1.1.2 Kaplama çözeltisinin hazırlanması .....	73
4.1.1.3 Kaplama sistemin hazırlanması.....	74
4.1.1.4 Numunelerin metalografik olarak hazırlanması.....	77
4.2 Kaplama Deneyinin Yapılışı .....	78
4.2.1 Konsantrasyon değişimi .....	79
4.2.1.1 Parlaticı konsantrasyonu değişimi .....	79
4.2.1.2 Gümüş konsantrasyonu değişimi .....	98
4.2.1.3 Siyanür konsantrasyonu değişimi .....	102
4.2.2 Akım yoğunluğu değişimi .....	106
4.2.3 Sıcaklık değişimi .....	113
4.3 Hesaplamalar .....	118
5 SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	121
KAYNAKLAR.....	125
ÖZGEÇMİŞ .....	127

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Suyun elektrolizi [7] .....	6
Şekil 2.2 Yükseltgenme Sayısındaki ve İndirgenme Sayısındaki Değişme [5] .....	7
Şekil 3.1 DC Akım ve AC Akım[13].....	18
Şekil 3.2 Kaplama banyosunun iletkenliği[10].....	19
Şekil 3.3 Eşik gerilimi [10].....	21
Şekil 3.4 Basit bir banyo düzeneği [13].....	25
Şekil 3.5 Parlaticı kontrolü [18].....	29
Şekil 3.6 C- N bağ oluşumu [23] .....	31
Şekil 3.7 Tipik bir kaplama tankı [10] .....	33
Şekil 3.9 Yüzey pürüzlülüğü [16] .....	36
Şekil 3.10 Kirli metal yüzeyi [17].....	36
Şekil 3.11 Elektrolitik temizleme (yağ alma) [15].....	40
Şekil 3.12 Elektriksel göç ve difüzyon [18].....	43
Şekil 3.13 Kristal çekirdeğinin oluşması ve büyümesi [10] .....	44
Şekil 3.14 Elektro kaplama işleminde akım yoğunluğu-gerilim [10] .....	47
Şekil 3.15 Katot filmi kalınlığı [18].....	50
Şekil 3.16 Katmanlaşmanın etkileri [18] .....	58
Şekil 3.17 Asitli banyoda katot filmi [18].....	62
Şekil 3.18 Kaplamanın dağılımı [18] .....	63
Şekil 3.19 Kaplamanın dağılıma gücü [18] .....	63
Şekil 3.20 Elektroliz ile kaplanmış çinko malzemeler [19] .....	64
Şekil 3.21 Elektroliz ile kaplanmış altın malzemeler [19].....	65
Şekil 3.22 Elektroliz ile kaplanmış bakır malzemeler [19].....	66
Şekil 3.23 Elektroliz ile kaplanmış nikel malzemeler [19] .....	67
Şekil 3.24 Elektroliz ile kaplanmış gümüş malzemeler [19] .....	68
Şekil 4.1 Numunenin kaplama öncesi yüzey (A) ve optik mikroskop (B) görüntüleri.....	71
Şekil 4.2 Numunenin kaplama öncesi yağ alma işlemi.....	71
Şekil 4.3 Yağ alma işlemi ünitesi.....	72
Şekil 4.4 Yıkama işlemi ünitesi .....	72
Şekil 4.5 Numune tutucusu .....	73
Şekil 4.6 Etüv fırını.....	73
Şekil 4.7 Bileşenlerin çözelti olarak hazırlanması (A) $KAg(CN)_2$ (B) KCN (C)çözelti hali. 74	
Şekil 4.8 DSA Platin elek anot.....	75
Şekil 4.9 Numune tutma aparatı.....	75
Şekil 4.10 Doğru akım kaynağı.....	76
Şekil 4.11 Kaplama sistemi.....	76
Şekil 4.12 Numunelerin ön hazırlığı .....	77
Şekil 4.13 Numunelerin metalografi öncesi kalıplanmış numuneler .....	77
Şekil 4.14 Kaplama yapılmamış yüzey .....	80
Şekil 4.15 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü .....	81
Şekil 4.16 Numune 1 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	81
Şekil 4.17 Numune 1 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri .....	82
Şekil 4.18 Numune 1 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	82
Şekil 4.19 Numune 1 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	83
Şekil 4.20 Numune 2 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	83
Şekil 4.21 Numune 3 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	83
Şekil 4.22 Numune 4 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	84
Şekil 4.23 Numune 5 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	84
Şekil 4.24 Numune 5 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X .....	84
Şekil 4.25 Numune 5 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	85

Şekil 4.27 Numune 5 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	86
Şekil 4.28 Numune 5 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	86
Şekil 4.29 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü .....	87
Şekil 4.30 Numune 6 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	87
Şekil 4.31 Numune 6 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	87
Şekil 4.32 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	88
Şekil 4.33 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	88
Şekil 4.34 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	89
Şekil 4.35 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	89
Şekil 4.36 Numune 7 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	90
Şekil 4.37 Numune 8 optik mikroskop yüzey görüntüleri 20X .....	90
Şekil 4.38 Numune 9 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	90
Şekil 4.39 Numune 9 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	91
Şekil 4.40 Numune 9 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	91
Şekil 4.41 Numune 9 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	92
Şekil 4.42 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü .....	93
Şekil 4.43 Numune 10 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	93
Şekil 4.44 Numune 10 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	93
Şekil 4.45 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	94
Şekil 4.46 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	94
Şekil 4.47 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	95
Şekil 4.48 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	95
Şekil 4.49 Numune 11 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	96
Şekil 4.50 Numune 11 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	96
Şekil 4.51 Numune 11 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	97
Şekil 4.52 Parlatıcı oranının kütle değişimine etkisi.....	97
Şekil 4.53 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü .....	98
Şekil 4.54 Numune 16 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 5X (B) 20X.....	99
Şekil 4.55 Numune 16 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	99
Şekil 4.56 Numune 16 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	100
Şekil 4.57 Numune 16 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	100
Şekil 4.58 Numune 17 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	101
Şekil 4.59 Numune 18 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	101
Şekil 4.60 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü .....	102
Şekil 4.61 Numune 19 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	103
Şekil 4.62 Numune 19 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	103
Şekil 4.63 Numune 19 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	104
Şekil 4.64 Numune 19 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	104
Şekil 4.65 Numune 20 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	105
Şekil 4.66 Numune 21 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	105
Şekil 4.67 CN oranına bağlı kütleli değişim.....	106
Şekil 4.68 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü .....	107
Şekil 4.69 Numune 12 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	107
Şekil 4.70 Numune 12 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	107
Şekil 4.71 Numune 12 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	108
Şekil 4.72 Numune 12 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	108
Şekil 4.73 Numune 13 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	109
Şekil 4.74 Numune 14 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	109
Şekil 4.75 Numune 15 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	109
Şekil 4.76 numune 16E optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	110
Şekil 4.77 Numune 16E parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	110
Şekil 4.78 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	111
Şekil 4.79 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	111

Şekil 4.80 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri.....	112
Şekil 4.81 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri.....	112
Şekil 4.82 Akım yoğunluğuna göre kütleel değişim .....	113
Şekil 4.83 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü .....	114
Şekil 4.84 Numune 24 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	114
Şekil 4.85 Numune 24 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	114
Şekil 4.86 Numune 24 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	115
Şekil 4.87 Numune 24 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	115
Şekil 4.88 Numune 25 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	116
Şekil 4.89 Numune 26 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	116
Şekil 4.90 Numune 27 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X.....	116
Şekil 4.91 Numune 27 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	117
Şekil 4.92 Numune 27 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	117
Şekil 4.93 Sıcaklığa bağlı kütleel değişim .....	118
Şekil 4.94 Numunenin şematik gösterimi .....	119
Şekil 4.95 Numune 9 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X.....	124
Şekil 4.96 Numune 9 parlatma sonrası SEM görüntüleri .....	124



## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Basitleştirilmiş faraday tablosu. [10].....	17
Tablo 3.2. Basitleştirilmiş faraday tablosu. [10].....	20
Tablo 4.1 Optimum banyo ve kaplama koşulları.....	69
Tablo 4.2 Parlatici ve özellikleri.....	70
Tablo 4.3 Deneysel çalışmanın aşamaları.....	70
Tablo 4.4 Deneysel değişkenlerinin akış tablosu.....	78
Tablo 4.5 P1 konsantrasyon değişim tablosu.....	79
Tablo 4.6 P2 konsantrasyon değişimi.....	80
Tablo 4.7 Maksimum P1 ve P2 konsantrasyonları.....	92
Tablo 4.8 Gümüş konsantrasyon değişimi.....	98
Tablo 4.9 Siyanür konsantrasyon değişimi.....	102
Tablo 4.10 Akım yoğunluğu değişimi.....	106
Tablo 4.11 Sıcaklık değişimi.....	113
Tablo 4.12 Dokuz nolu numune değerleri.....	123

## SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

### Simgeler

$\Delta E^0$ :	Serbest Enerji
J:	Akım Yoğunluğu
I:	Akım Şiddeti
W :	Eşdeğer Kütle
Q :	Elektrik Kütle
t:	Zaman
C <sub>0</sub> :	İletkenlik
R:	Direnç
C:	Coulomb
F:	Faraday
Mho:	Özgül Direnç

### Kısaltmalar

OM:	Optik Mikroskop
SEM:	Scanning Electron Microscope
MS58:	Mesing 58
P1:	Arguna 621-1 Parlaticı
P2:	Arguna 621-2 Parlaticı
DSA:	Dimensionally stable anode

# ELEKTROLİTİK KAPLAMADA ORGANOMETALİK MALZEMELERİN KAPLAMA VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Mihriban DEMİRCAN

**Anahtar kelimeler::** Elektrolitik kaplama, organometalik etki, elektrokaplama verimlilik

**Özet:**Bu çalışmanın amacı, metallerin yüzeylerin ve bazı mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi metotlarından biri olan elektrokimyasal kaplama işlemine başlıca etken faktörlerle beraber organometalik karakterdeki kimyasalların yapıyı nasıl değiştirdiğinin görülmesidir. bu değişim sonuçlarının alınabilmesi için konsantrasyon, sıcaklık ve akım yoğunluğu seviyeleri ile organometalik katkı olan KCN miktarı minimum ve maksimum değerler alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrasında kaplama yapısını belirlemek için parlatılmış konumda optik ve elektron mikroskobu görüntüleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan her farklı parametrede hem yüzey hem de kesit yapısında belirgin değişiklikler görülmüştür. Bunun yanında bu parametre değişikliklerinin kaplanan madde miktarında önemli değişiklikler meydana getirmediği de elde edilen veriler arasındadır.

# **THE EFFECTING OF ORGANOMETALLIC MATERIALS ON COATING EFFICINCY IN ELECTROLYTIC COATING**

**Mihriban DEMİRCAN**

**Key Words;** Coating, Organometallic materials

**ABSTRACT:** The aim of this work is to determine how the main factors affecting the implementations of electrochemical coating with together organometallic characterized chemicals, which is a process commonly used for improving of metals surfaces and some mechanical properties, changes the structures of the metals.

In order to obtain the results of the changes, the experimental studies were made by using minimum and maximum values of concentration, temperature, current density levels and amount of KCN as organometallic additive.

After the experiments, both the optical and electron microscope examinations of the polished surfaces were performed so as to identify the structure of the coating.

According to the results obtained, it is observed that both the surface properties and the microstructures have been changed evidently due to the changes of the different parameters applied.

Furthermore, the obtained data also shows that the changes of these parameters does not change amount of coating material mainly.

## **GİRİŞ**

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirerek; yeni mühendislik özellikleri kazandırmak veya dekoratif açıdan daha uygun hale getirmek eski çağlardan beri araştırma konusu olmuştur. [11]

Metalik veya metalik olmayan bir malzeme yüzeyine, elektrokimyasal metotlarla metalik film oluşturulması esasına dayanan elektrolitik kaplama, günümüzde birçok endüstri kolu için gerekli bir prosestir. Çünkü elektrolitik kaplama ile elde edilen yüzey özelliklerini başka yöntemlerle elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır.

Genel olarak korozyona ve aşınmaya karşı direnç özellikleri nedeni ile daha çok tercih edilmektedir. Çelik ürünler, günlük yaşantımızda yaygın olarak kullanılan birçok eşyanın imalatında vazgeçilmez bir konumundadır. Kalay, ambalaj sektöründe kullanılan teneke ürünlerin kaplanmasında kullanılırken; krom, kaplamacılıkta her türlü malzemenin, özellikle çelik malzemelerin, kaplanmasında ve kalaya alternatif olarak ambalaj sektöründe kullanılmaktadır.

Bu yöntemle üretilen tabakalarla, malzemeler kullanım amacına uygun özellikler kazanır.

## 2.ELEKTROLİZ

### 2.1 Elektrolizin Tanımı ve Temel Kavramlar

Bir elektrik akımı tarafından aşılın bir elektrolitin uğradığı ayrışmaya elektroliz denir. Endotermik (enerji alan) ve elektron alış verişinin yapıldığı tepkimelerdir. Kendiliğinden oluşamayan redoks reaksiyonları bir dış kaynaktan sağlanan elektrik enerjisi ile gerçekleştirilir.[1]

Elektroliz sırasında gerçekleşen reaksiyonun  $\Delta E^0$  değerinin negatif olması gerekir. Çünkü bu olay kendiliğinden oluşmaz.

Elektroliz, akımın elektrolit içinde iletilmesiyle birlikte gelişir. Elektrolit, çoğunlukla erimiş durumda bir tuz veya bir tuz eriyiğinin sulu çözeltisi halindedir. Akım geçişi esnasında kimyasal olaylar meydana gelir. Elektroliz olayında; elektrolit, elektrot, elektroliz kabı ve doğru akım kaynağı gereklidir. [2]

Volta pilinin bulunmasıyla (1800) ve suyun elektrolizine uygulanmasıyla ilgili ilk deneyler, XIX yüzyılın başlarında gerçekleştirilmiştir. Elektroliz sözcüğünün, olayı özel olarak inceleyen Michael Faraday tarafından ortaya atıldığı sanılmaktadır.[2]

Elektroliz işleminin anlaşılması için bazı terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar;

**Elektrolit:** İçinde serbest iyon bulunduran ortamlardır. Elektrik akımını ileten, elektrolize uğrayan sıvıdır ve iyonlardan oluşur.

**Elektrot:** Elektrolit içine batırılan metallerdir. Elektrolit ile tepkime vermemesi gerekir. Genellikle soy metaller (Cu, Ag, Pt, Au) kullanılır.

**Anot:** Bir elektroliz kabında üreticinin pozitif kutbuna bağlı olduğu elektrotudur. Anyonların yani (-) yüklü iyonların gittiği yerdir.

Katot: Elektroliz kabında üreticinin negatif kutbuna bağlı elektrodur. Katyonların yani (+) yüklü iyonların gittiği ve indirgenmenin olduğu yerdir. [1-3]

Elektroliz kabı içindeki elektrotlar bir bataryanın uçlarına iletken tellerle bağlanırsa, çözeltideki (+) iyonlar pilin (-) kutbuna bağlı elektroda doğru, (-) yüklü iyonlar ise pilin (+) kutbuna bağlı elektroda doğru hareket ederler. Böylece anot pozitif, katot ise negatif yüklenmiş olur. [7]

Elektrotlar arasında oluşan elektrik alanının etkisiyle elektrolitteki iyonlar harekete geçerler. Katoda varan pozitif iyonlar buradan kendilerini nötrleyecek kadar elektron alır. Anoda ulaşan negatif iyonlar ise, elektronlarını anoda vererek nötr hale geçerler. Belli bir zaman sonunda katottan alınan elektron sayısı ile, anoda verilenlerin sayısının aynı olduğu görülür. Elektroliz olayında akım, elektrolit içinde iyon hareketiyle, elektrolit dışında ise iletkenlerdeki serbest elektronların hareketiyle gerçekleşir. [3]

Saf su elektriği çok az iletir. Bu nedenle, suyun elektrolizi çok yüksek gerilim uygulanması halinde gerçekleşir. [4]



Diğer yandan sodyum klorürün sulu çözeltisinin içinde ise, hem suya ilişkin  $H^+$  ve  $HO^-$  iyonları hem de klorür ( $Cl^-$ ) ve sodyum ( $Na^+$ ) iyonları olmak üzere dört tür iyon bulunur. Bunlardan  $Na^+$  ve  $H^+$  katoda yönelirler. Ancak  $H^+$  ya kıyasla  $Na^+$ 'nın yükseltgenme eğilimi (iyonik hali tercih etme yatkınlığı) çok daha yüksek olduğundan, katotta  $H^+$  indirgenir ve  $H_2$  gazı ayrılır.

Buna göre elektrokimyasal dizide altta olan elementin tercihen katotta toplandığı söylenebilir. Diğer yandan anoda yönelen  $HO^-$  ve  $Cl^-$  anyonlarının yükseltgenme eğilimleri yakın olduğundan, anottan  $O_2$  veya  $Cl_2$ 'nin ayrılması, tuzlu suyun derişimine bağlıdır. [4]





Sodyum klorür çözeltisinin seyreltik olması halinde, anottan O<sub>2</sub> gazı çıkarır. Derişik olması halinde ise keskin kokulu klor gazı (Cl<sub>2</sub>) açığa çıkar.

Seyrelti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinin elektrolizinde ise, üç farklı iyon söz konusudur. Bunlardan H<sup>+</sup> katotta H<sub>2</sub> olarak açığa çıkar. Ancak anoda yönelen diğer iki anyondan (SO<sub>4</sub> ve HO), hidroksil anyonu tercihen yükseltgenir ve anottan O<sub>2</sub> gazı açığa çıkar. [4]

Klorür (Cl<sup>-</sup>), bromür (Br<sup>-</sup>) ve iyodürün (I<sup>-</sup>) yüksek derişimler de olmaları dışındaki tüm diğer sulu çözeltilerin elektrolizinde, anottan HO<sup>-</sup> yükseltgenir ve O<sub>2</sub> gazı açığa çıkar.

Elektrolizde akım yoğunluğu, enerji verimi ve akım verimi diğer önemli üç kavramdır.

Akım yoğunluğu; elektrotların birim alanına isabet eden akım şiddetidir. Çoğu kez birim alan olarak cm<sup>2</sup> ya da dm<sup>2</sup> alınır. [9]

$$J = I(\text{Amper}) / A(\text{dm}^2) \quad (2.4)$$

Enerji verimi; elde edilen ürünün birim miktarına karşılık gelen teorik enerjinin harcanan enerjiye oranıdır. Bu enerji şöyle hesaplanır;

$$(\text{Ayrılma Gerilimi} / \text{Uygulanan Gerilim}) \times \text{Akım Verimi} \quad (2.5)$$

Enerji verimi kw h / kg olarak ifade edilir.

Akım verimi; bir elektrolitik işlemden maddenin belli bir miktarını serbest hale geçirmek için teorik olarak gerekli olan yükü ile gerçekten harcanan elektrik yükü arasındaki orandır.

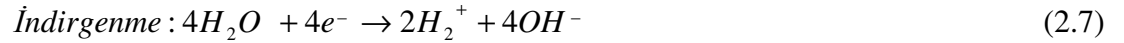


Örneğin, bir gümüş çözeltilisinden 0,01 Faraday elektrik yük geçtiğinde katotta 1.0540g gümüş toplanır. Teorik olarak  $107,88 / 100 = 1,0788$ g toplanması gereklidir. O halde bu şartlarda gümüş ayrılmasında akım verimi yüzde olarak;  $105,4 / 1,0788 = \% 97,7$ dir ve  $\% 2,3$  kadar elektrik akımı yan reaksiyonlara harcanmıştır. Akım verimi hesaplanırken: Faraday kanununa göre primer elektrolitik ürünler ile sekonder reaksiyonların göz önüne alınması gerekir.

## 2.2 Suyun Elektrolizi

Elektroliz olayının meydana gelişini anlamakta sudaki elektroliz işleminin bilinmesi önemlidir. Şekil 2.1 de suyun elektrolizi görülmektedir. [5]

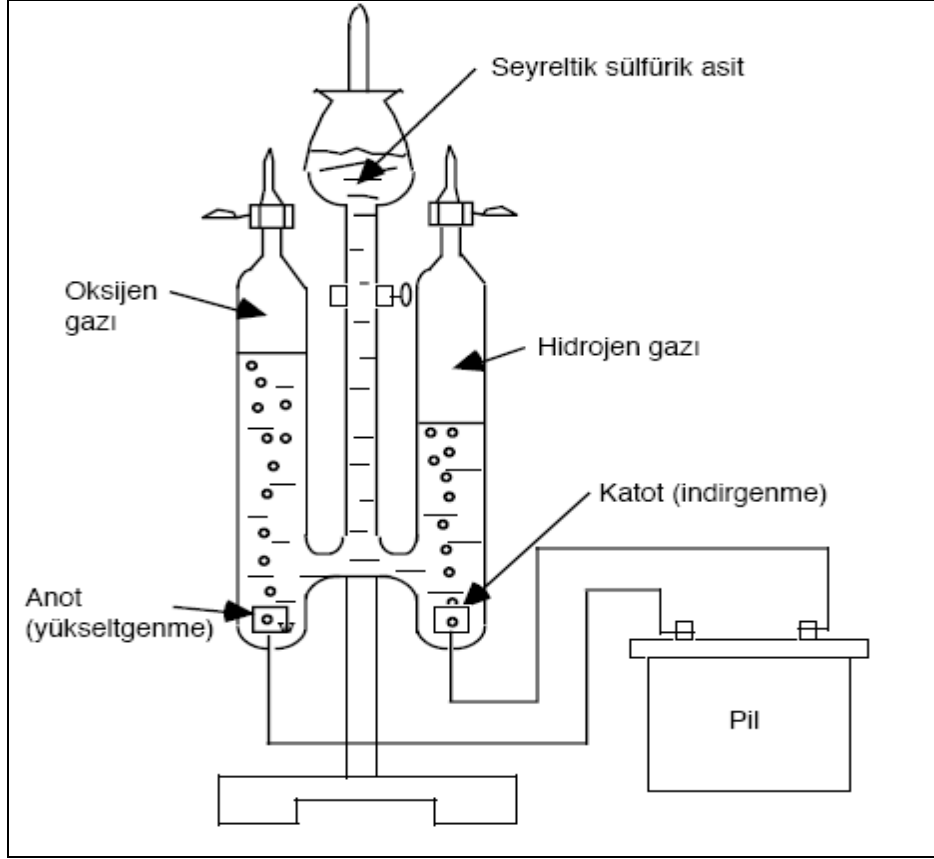
Şekil 2.1 de iki platin elektrot suyun içine batırılmıştır. Elektriği iletmesini sağlamak amacıyla suya çok az miktarda elektrolit ( $H_2SO_4$ ) eklenmiştir. Çünkü su iyi bir iletken değildir. İçinde akımı iletecek iyon sayısı azdır. Elektrotlar bir güç kaynağına bağlanır ve aşağıdaki yarı reaksiyonlar meydana gelir. [7]



Elektronlar elektrik kaynağından, elektrotlardan birine doğru hareket ederler ve bu elektrotu negatif yüklerler. Bu elektrot katot elektrotu olup indirgenme yarı reaksiyonu için elektron sağlar. Su molekülleri, katotta indirgenerek hidrojen gazı oluştururlar.

Güç kaynağı diğer elektrot aracılığı ile elektronları çeker ve elektrot pozitif yüklenerek anodu oluşturur. Anotta su molekülleri oksijene yükseltgenir. Elektroliz işlemi ile genellikle bileşikler elementlerine ayrıştırılır. Önemli pek çok madde elektroliz ile oluşturulur. [7]

Elektroliz olaylarından faydalanılarak su kendini meydana getiren hidrojen ve oksijen gazlarına ayrılabilir.[7]



Şekil 2.1 Suyun elektrolizi [7]

Elektrotların birer uçları tüplerin içine, diğer uçları ise üretece bağlanıp devreden akım geçtiğinde, tüplerdeki suyun içinden gaz kabarcıkları çıkarak tüplerin üst kısmında gaz toplandığı, tüplerin içindeki suyun seviyesinin düştüğü gözlenir. [7]

Hidrojen (+), oksijen (-) işaretli olduğundan, üretcin (+) kutbuna bağlı elektrodun bulunduğu tüpte ise hidrojen gazı toplanır. [7]

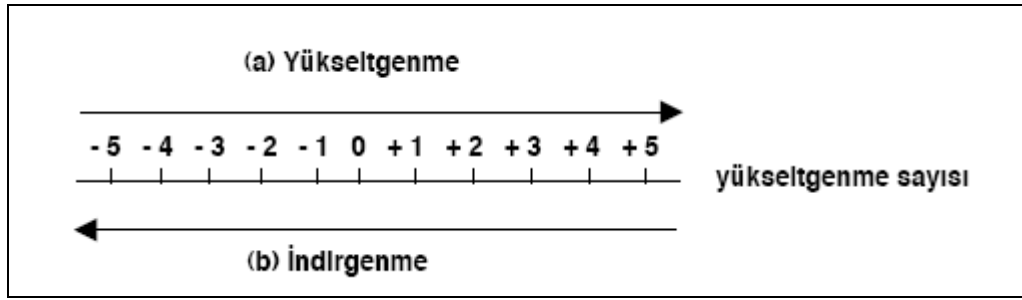
Devreden ne kadar uzun süreli akım geçerse tüplerde toplanan gaz miktarı da o kadar fazla olur. Deney sırasında herhangi bir sürede toplanan hidrojen gazının hacmi, oksijen gazının hacminin iki katı olur. Çünkü  $H_2O$  da iki hidrojene karşılık bir oksijen vardır.

Yapılan deneyler, devreden bir Coulomb' luk yükün geçmesi halinde yaklaşık olarak  $0.12 \text{ cm}^3$ ' lük hidrojen ve  $0,06 \text{ cm}^3$ ' lük oksijen gazının açığa çıktığını göstermiştir. Bundan dolayı tüplerde toplanan gaz miktarları, devreden geçen akım şiddetinin bir ölçüsü olarak alınır.

### 2.3 Elektrolizde Meydana Gelen Olaylar

Elektroliz esnasında meydana gelen reaksiyonların çoğu indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarıdır. Bir atomdan diğerine elektron transferinin sağlandığı reaksiyonlar indirgenme – yükseltgenme reaksiyonları veya kısaca redoks reaksiyonları olarak adlandırılır. [5]

Bir atom yükseltlendiğinde; elektronlarını kaybeder ve yükseltgenme sayısı artar. Bir atom indirgendiğinde ise; elektron kazanır ve yükseltgenme sayısı azalır. Şekil 2.2 de yükseltgenme sayısındaki değişim ile yükseltgenme ve indirgenmenin ilgisi görülmektedir.



Şekil 2.2 Yükseltgenme Sayısındaki ve İndirgenme Sayısındaki Değişim [5]

Bir reaksiyonda, yükseltgenme sayılarına bakarak, reaksiyonda indirgenme ve yükseltgenmenin olduğu görülebilir. Özellikle iyonik bileşiklerin oluşumları göz önüne alındığında bu reaksiyonları anlamak daha kolaydır. Örneğin sodyum klorür (NaCl);



Sodyum ve klor elementleri arasında gerçekleşen indirgenme - yükseltgenme reaksiyonunun (elektron kaybederek) sodyum katyonuna ve klor indirgenerek klorür anyonuna dönüşmüştür. [5]

Diğer yandan, kovalent bileşiklerin oluşumunda ise, indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları daha karmaşıktır. Örneğin hidrojenle oksijen elementleri arasında gerçekleşen indirgenme – yükseltgenme reaksiyonu sonunda su (H<sub>2</sub>O) oluşur.[4]



İlk bakışta bu reaksiyon bir indirgenme – yükseltgenme reaksiyonu gibi gözükmese de su moleküllerinde yer alan polar O – H bağlarında, oksijen ve hidrojen atomları arasındaki elektron yoğunluğu dağılımı eşit değildir. Elektron yoğunluğu büyük ölçüde oksijen üzerine kayarak, oksijen atomunun eksi ve hidrojen atomunun artı yük kazanmasına neden olmuştur.

Bu durum göz önüne alındığında, kesin elektron alış verişlerinin söz konusu olduğu reaksiyonların yanı sıra, yük yoğunluğu eşitsizliğinin söz konusu olduğu reaksiyonlarında indirgenme – yükseltgenme kapsamında değerlendirildikleri belirtilebilir.

Reaksiyonunda Na atomu yükseltgenmiş, klor atomu ise indirgenmiştir. Yükseltgenme sayısı; sodyum metalinde 0' dan + 1' e yükselmiş, klor molekülündeki her bir klor atomu 0' dan – 1' e inmiştir.

Bir veya daha fazla elektronunu vererek diğer atomu indirgeyen ve kendisi yükseltgenen maddeler, indirgeyici maddelerdir. Metaller, elektronlarını verme eğilimlerinin fazla olmasına bağlı olarak kolayca yükseltgenirler ve tipik indirgeyicidir.

İndirgeyiciden gelen elektronları kabul eden madde, yükseltgenmeye sebep olarak yükseltgenme maddesi adını alır. Elektronegatif atomlar, elektronları çekme eğilimlerinin fazla olmasına bağlı olarak tipik yükseltgeyici maddelerdir. Halojenler, oksijen ve oksijen içeren çok atomlu iyonlar bu tür yükseltgeyici maddelere örnek verilebilirler.

Yükseltgeyici madde, elektronları alarak kendisi indirgenir ve yükseltgenme sayısı daha negatif veya daha az pozitif olur. Bu değişme atomlarından birinin yükseltgenme sayısındaki azalma ile gösterilir.

#### 2.4 Metallerin Yükseltgenme Yatkınlıkları

Metallerin reaktiviteleri farklıdır. Elektron kaybetme (yükseltgenme) yatkınlıklarının veya bileşik oluşturma yatkınlıklarının farklılık gösterdiği söylenebilir. Bu duruma ilişkin temel noktalar şu şekilde özetlenebilir;

Metallerin hava, su, çeşitli asitler ve metal oksitlerle verdikleri reaksiyonların hızı ve şiddeti, yükseltgenme (iyonik hale geçme) yatkınlıklarının kaba bir ölçüsüdür.[4]

Metallerin sulu çözeltilerindeki reaktivite sıralamaları elektrokimyasal dizi olarak bilinir. Dizide daha üstte olan metalin reaktivitesi daha yüksektir. Buna göre metaller, dizide kendilerinden alt sırada bulunan metallere ilişkin tuzlarla reaksiyona girerler ve tuzlar da alt sıradaki metalin yerini alırlar.

Örneğin; bakır sülfat çözeltisine bir çinko şeridi batırıldığında birkaç dakika sonra şerit yüzeyinin bakır metali ile kaplandığı görülür. Bu reaksiyonda bakıra kıyasla daha reaktif olan çinkonun bakırın yerine geçmesi söz konusudur. Yani metalik çinko yükseltgenirken, bakır katyonunun indirgenmesi gerçekleşmektedir. [4]



#### 2.5 Reaksiyon Hızına Etki Eden Faktörler

Kimyasal reaksiyonlar çok yavaş, yavaş, oldukça hızlı veya hızlı gerçekleşebilirler. Reaksiyonların hızlarını etkileyen en temel neden, reaksiyona giren maddelerin özellikleridir (yapısal etken).

Ancak reaksiyon hızlarının yapısal etken dışındaki etkenlere de bağımlılık göstermeleri söz konusudur. Zira çeşitli dış etkenleri ayarlayarak, reaksiyona giren

maddelerin çarpışma sayılarını veya reaksiyona ilişkin aktivasyon enerjilerini (etkinleşme enerjilerini) değiştirmek mümkündür. Buna göre reaksiyon hızlarını etkileyen başlıca faktörleri şöyle özetlenebilir;

- Yapısal etkenler
- Sıcaklık
- Derişim (veya Basınç)
- Reaktant tanecikleri arasındaki temas yüzeyi (yüzey alanı ve karıştırma hızı )
- Katalizörler

Atomlar, moleküller ve iyonlar sürekli hareket halindedir. Kinetik teoriye göre sıcaklık arttıkça, atom, molekül ve iyonların hareketliliği de artar. Yani kinetik enerjisi artar. Bu durum, reaksiyonun oluşması için gerekli aktivasyon ( etkinleşme ) enerjisine sahip reaktantların ( atom, molekül veya iyon ) sayısında bir artış sağlar. Enerjisi aktivasyon enerjisine denk ( veya daha yüksek ) reaktantların sayısındaki artış ise, reaksiyon hızının artmasına neden olur. [4]

Reaktantların derişimi arttıkça, reaktantların ( atom, molekül, iyon ) çarpışma sayısı da artar. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da, reaktantların derişim artışları, reaksiyon hızının artmasına neden olur. Gazların reaksiyonlarında ise; derişim yerine gaz basıncının artışı, reaksiyon hızının artmasına neden olur.

Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörlerden biri de reaktant tanecikleri arasındaki temasın artırılmasıdır. Bu durum ise;

- Karıştırma hızının artması
- Temas yüzeyinin artması

ile sağlanır. Reaktantların karıştırılma hızlarındaki artış, tanecikler arasındaki paralel bir artışa neden olacaktır. Diğer yandan temas yüzeyindeki artış ise, bütünüyle tanecik boyutu ile ilgilidir.

Reaktant taneciklerine ilişkin boyutlar ne kadar küçük ise, toplam yüzey alanı o kadar büyük olur. Reaktantların karıştırılma hızları ve kontak yüzeyleri ( toplam yüzey alanı ) ne kadar fazla ise, reaksiyon hızı o kadar yüksek olur.

Reaksiyon esnasında harcanmalarına karşın reaksiyon hızını artıran maddelere katalizör denir. Katalizör yardımı ile hızlandırılan reaksiyonlara da katalizör reaksiyonlar denir. Katalizörler, reaksiyonların gerçekleşebilmesi için reaktantların aşmaları gereken enerji bariyerini ( aktivasyon enerjisi ) düşürürler. Bunun doğal bir sonucu olarak da reaksiyon hızlarının artmasına neden olurlar. [4]

## 2.6 Faraday Yasaları

Elektrokimyasal reaksiyonlarda, hücreden geçen elektrik miktarıyla kimyasal değişme arasında sayısal bir ilişkinin olduğu 1833 de M. Faraday tarafından bulunmuştur. Çeşitli elektroliz tepkimeleri incelenerek iki genelleştirme ortaya çıkarmıştır. Bunlar Faraday' ın elektroliz yasaları olarak bilinir. [6]

Bu ilişkiye göre elektrotlarda açığa çıkan maddelerin kütleleri, devreden geçen yük miktarı ile doğru orantılıdır ( $W \propto Q = I.t$ ) ve devreden geçen aynı miktarda elektrik yüküne karşı farklı maddelerin aynı eşdeğer kütlesi açığa çıkar. [6]

Bu nedenle bir elektrokimyasal hücrede elektrik yükünü taşıyan elektronları bir reaksiyondaki reaktant veya ürün gibi düşünüp hesaplamalar yapılabilir. Örneğin, bakır (II) iyonunun indirgenmesi sırasında devreden 1 mol elektron geçerse;



reaksiyonuna göre,

$$1mole^{-} \times \frac{1molCu}{2mole^{-}} = \frac{1}{2}molCu \quad (2.13)$$

Yani bir eşdeğer gram bakır açığa çıkar. [6]

İkinci genelleştirmeye göre; aynı elektrik yükü miktarının etkisiyle ara yüzeylerde indirgenen veya yükseltgenen madde miktarları, o maddelerin eşdeğer kütleleri ile ( $We$ ) orantılı olur:  $W \propto We$ . Bu iki ifade birleştirilerek tek bir matematiksel bağlantı şeklinde yazılabilir:  $W \propto ItWe$ . Orantının eşitlik biçiminde yazılabilmesi için bir orantı sabiti kullanılırsa;

$$W = ITWe / F \Rightarrow Q_{we} / F \quad (2.14)$$

Bu bağıntıdaki orantı sabitinin anlamı ara yüzeylerde elektroliz sırasında indirgenen veya yükseltgenen madde miktarının bir eşdeğer gram olduğunda;

$$W = ITWe / F \Rightarrow F = It = Q \quad (2.15)$$

Eşitliği elde edilebilir. [8]

Elektrik akımının miktarı ( $q = Q$ ), devreden geçen akımın şiddeti ( $I$ ) ile bu akımın devreden geçme süresinin ( $t$ ) çarpımına eşittir.

$$q = It \quad (2.16)$$

q: Elektrik yükü (C)

I: Amper (A)

t: Zaman (s)

Elektrik yükü miktarının birimi Coulomb (C) olup, 1C, 1 amperlik (A) bir akımın 1 saniyede taşıdığı elektrik yükü olarak tanımlanır. Elektrik katılarda elektronlar tarafından iletildiğinden 1 mol elektronun taşıdığı 96485 C' dur ve bu miktar elektrik yükü 1 Faraday (F) olarak bilinir. Hesaplamalarda 1 F'lık elektrik yükü için 96500 C alınabilir. Faraday'ın ayrıca avagadro sayısı kadar elektronun toplam yükü demektir. [8]

Faraday yasaları elektrolitik iletkenlere çok iyi uyar. Ancak, uygulama sırasında toplanan madde miktarı ile bağıntısından hesaplanan madde miktarı birbirine



uymayabilir. Bu sapmaların nedenlerinden birisi, ara yüzeyde olduğu varsayılan elektrokimyasal tepkimenin yanında, göz önüne alınmayan başka tepkime veya tepkimelerin oluşmasıdır.

Örneğin; NaCl çözeltisinin elektrolizi ile oluşan NaOH ve Cl<sub>2</sub> miktarları teorik olarak beklenenden azdır. Bunun nedeni; elektroliz sırasında ClO<sup>-</sup> ve ClO<sup>-3</sup> gibi iyonların oluşmasıdır. Devreden geçen elektrik yüklerinin bir kısmı bu iyonların oluşumuna harcadığı için OH<sup>-</sup> ve Cl<sub>2</sub> miktarı beklenenden az olur. [8]

Elektroliz endüstrisinde; gerçekten elde edilen madde miktarının teorik olarak elde edilmesi beklenen madde miktarına oranı, akım verimi olarak adlandırılır ve bu verimin olabildiğince bire yakın olması istenir.

Laboratuarlarda oluşturulan basit elektrolizlerde akım verimi, deney belirsizlikleri içinde daima bir olmaktadır. Bu da, Faraday yasalarının doğruluğunun kanıtlarıdır. Öyle olduğu için, elektrotların birinde toplanan madde miktarını inceliklerle ölçerek; içinde tepkimenin gerçekleştiği elektroliz kabından geçen elektrik yükü miktarı belirlenebilir. Bu amaçla kullanılan elektroliz düzeneklerine kulometre denir.

## **2.7 Elektrolizin Kullanım Alanları**

Elektroliz, öncelikle metalürjide, metallerin hazırlanmasında ( çözünmeyen anot ) veya artırılmasında ( çözünen anot ) kullanılır. Elektroliz ayrıca galvanoplastide, bir elektrolitik metal birikimiyle döküm kalıbına biçim vermede, aşınmaya karşı korumada ve bir metal çökeltisiyle metallerin kaplanmasında başvurulan bir yöntemdir. [2]

Saf hidrojen, özellikle suyun elektroliziyle elde edilir. Diğer uygulamaları arasında gaz üretimi ( klor ), metal üstünde koruyucu oksitli anot tabakalarının elde edilmesi, elektrolizle parlatma, metallerin katot veya anot olarak yağlardan arındırılması sayılabilir.

Elektroliz, akım şiddetlerinin, özellikle de voltametrelerdeki akım miktarının ölçülmesine de olanak verir. Sürekli akım yardımıyla, organik dokuların ayrıştırılmasına dayanan tedavi elektrolizi, cerrahide sinir uçlarının ( nöronların ), sertleşen urların, burun deliklerindeki poliplerin yok edilmesinde, yemek borusu daralmalarının tedavisinde kullanılır.

### 3 ELEKTROMETAL KAPLAMA

Elektrolitik yollarla metal kaplamacılığı 1843 yılında başlar. R.Boettper ilk Nikel kaplamayı yapar. Banyo içeriği nikel sülfat ve amonyum sülfattır. 1849'da ilk olarak ticari anlamda nikel kaplamacılığı başlar. Gittikçe yeni içerikler geliştirilir. Karbonlu anotlar kullanılmaya başlanır. 1912'de İngiltere'de ilk parlatici kullanılır. 1915'den sonra gelişmeler hızla artar. Watt's ve De Verter özellikle kaplamanın kalite kontrolü üzerinde çalışırlar. [12]

1935'ten sonra Thompson pH kontrolünün önemini belirtir. Modern parlak nikel banyolarının ticari anlamda değer kazanması ve kullanılmasını Schlötter başlatır. İlk krom kaplamayı 1843'te Antonie Clesar Becquerel uygular. Kromik asit çözeltisinden ilk krom kaplama 1856'da Geuther tarafından yapılır. 1919–1924 yıllarında Sargeut kromik asit çözeltisinin pratik uygunluğunu belirtir.

#### 3.1 Elektrometal Kaplamanın Temel Prensipleri

Bir metalin elektrolitik olarak kaplanmasında, yüzeyi kaplanacak olan cisim uygun bir elektrolite batırılır ve katot olarak kullanılır. Anot ise çöken metalden ve yüksek saflıkta (%99.98 ) olmalıdır. Elektrolitik yolla kaplamada kullanılan akım doğru akım olup düşük voltajlıdır. Elektrolitik olarak metalik bir eşyanın başka bir metal tabakası ile kaplanması şu amaçlarla yapılır;

- Korozyona karşı koruma dayanıklılığının artırılması,
- Dekoratif amaçlarla daha iyi bir görünüm,
- Aşınma ve yıpranmaya karşı dayanıklılığın artırılması [12]

Elektrolitik olarak elde edilen bir metal tabakasını biçim ve yapısı yalnız metal cinsine değil, elektroliz koşullarına da bağlıdır. Bununla beraber işleme etki eden çeşitli yapıda tabakalar elde edilir.

Gerek metalografik gerekse X ışınları difraksiyon yöntemleriyle metallerin kristal yapıda oldukları saptanmıştır. Buna göre katotta bir metalin çökmesi bir kristalleşme olarak düşünülebilir. Çöken metalin özellikleri kristalin yapısına ve büyüklüğüne bağlıdır. Bu kristallerin oluşum biçimi kristallerin oluşum ve gelişme hızına bağlıdır.

Eğer kristallerin büyüme hızı oluşum hızından çok daha büyük ise oluşan tabaka büyük kristaller halinde, aksi halde küçük kristaller halinde olur. Oluşumun kolay olduğu koşullarda küçük kristaller meydana gelir. Küçük kristalli yapı gayet düzgün ince ve yapışık bir tabaka sağlar.

### **3.1.1 Elektroliz kaplamada enerji**

Elektrometal kaplamada elektrik enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek kullanılır. Elektrometal kaplama işlemi kaplama çözeltisinde çözülmüş olarak bulunan metal iyonlarını elektrik enerjisi kullanarak kaplanacak malzemenin yüzeyine kaplamaktır. Elektrokaplama işlemine elektrik enerjisi yön verir. [10]

Sabit koşullarda, belirli miktarda elektrik enerjisi kullanarak belirli miktarda/ağırlıkta metal elde etmek veya kaplamak mümkündür. Burada enerji bir formadan başka bir forma dönüşürken direnç sürtünme gibi nedenlerden dolayı teoride beklenenden daha az enerji elde edilir.

Faraday'ın ilk kanununa geri dönersek; metal içeren bir çözeltiden belirli miktarda elektrik enerjisi geçirildiğinde, belirli miktarda metal kaplanacak veya çökecektir. Örneğin Tablo 3.1 de görüldüğü gibi devreden 100 birim elektrik enerjisi geçirildiğinde (amper – saat) belirli miktarlarda metal kaplanmaktadır.

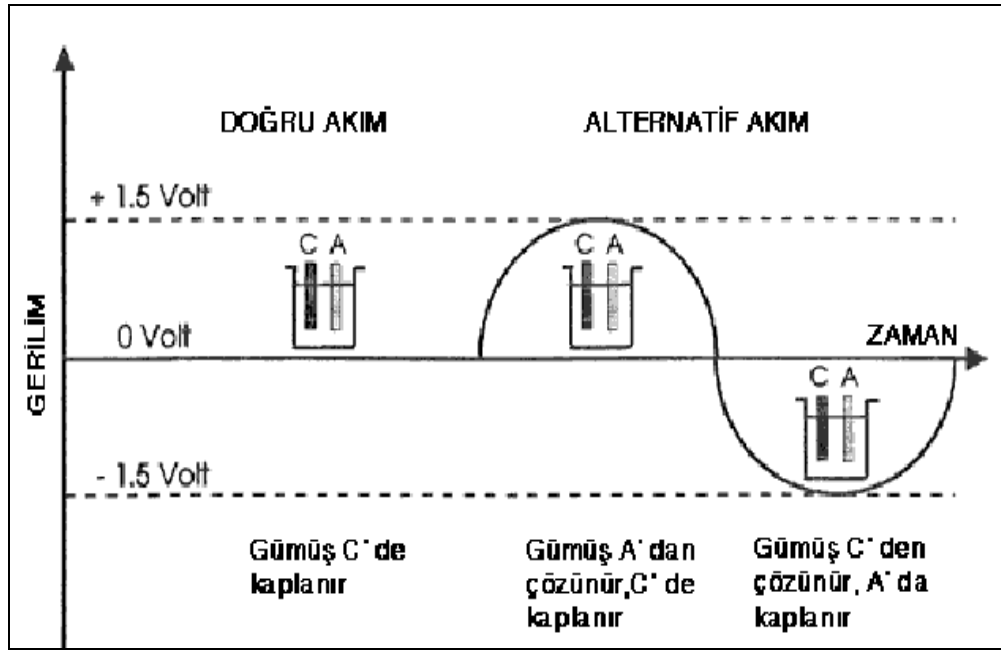
Tablo 3.1. Basitleştirilmiş faraday tablosu. [10]

100 BİRİM ELEKTRİK ENERJİSİ İLE ( AMPER - SAAT )			
KAPLANABİLECEK METAL MİKTARI ( GRAM )			
Cd	209,79	Au (siyanürlü )	737,1
Pb	385,56	Au ( asitli )	245,51
Cr	31,185	Ni	110,565
Fe	104,895	Ag	402,57
Cu (siyanürlü)	238,14	Sn (siyanürlü)	110,565
Cu (Asitli )	119,07	Sn (asitli)	121,905

Tablodan da görüldüğü üzere kaplanan metal miktarı, metalin kimyasal yapısına ve çözünmüş haldeki yapısına etki eden, kaplama işlemi esnasında kullanılan elektrik enerjisinin büyüklüğüne bağlıdır.

Bazı metaller farklı kimyasal enerjilere sahip olan bir kaç değişik formda bulunabilir. Öyleyse, çözünmüş metalin miktarına bağlı olarak, aynı miktarda elektrik enerjisi kullanarak kaplanacak metal miktarı farklılık gösterecektir. Tablodan da görüleceği gibi altın ve bakır gibi metaller bu türdendir.

Elektrometal kaplamada doğru akım kullanılır. Elektrik enerjisini uzun mesafelerde iletmek için maliyetten tasarruf etmek amacıyla alternatif akım kullanılır. Şekil 3.3 de görüldüğü gibi alternatif akımda sırayla önce kablonun bir ucu sonra diğer ucu pozitif olur. Bu tip akım kaplamada kullanılırken önce doğru akıma çevrilir. Alternatif akımla kaplama yapılmaya çalışılırsa metal önce kaplanacak, sonra akım yer değiştirdiğinde ise tekrar sökülecektir.[13]



Şekil 3.1 DC Akım ve AC Akım[13]

### 3.1.1.1 Elektrik akımının kimyasal etkisi

Asit, baz ve tuz eriyiklerinden bir elektrik akımı geçirildiğinde, bu sıvılar hem ısınır hem de iyonlarına ayrılarak parçalanırlar ve elektroliz olayını meydana getirirler. [14]

### 3.1.1.2 Kaplama çözeltisinde direnç ve iletkenlik

Bir kaplama çözeltisi 1cm yüksekliğinde ve 1cm genişliğinde bir kaba konursa, birbirinden 1cm uzaklıkta yerleştirilmiş iki elektrot arasındaki çözeltinin elektriksel direnci ölçülerek elektrolitin özgül direnci bulunmuş olur.[10]

Bütün kaplama banyoları oldukça düşük dirençlere sahip olduklarından, bazen banyoların iletkenliğinden bahsetmek daha doğru olur. İletkenlik direncin tam tersidir. C iletkenliği göstermek üzere;

$$C = 1/R \quad (3.1)$$

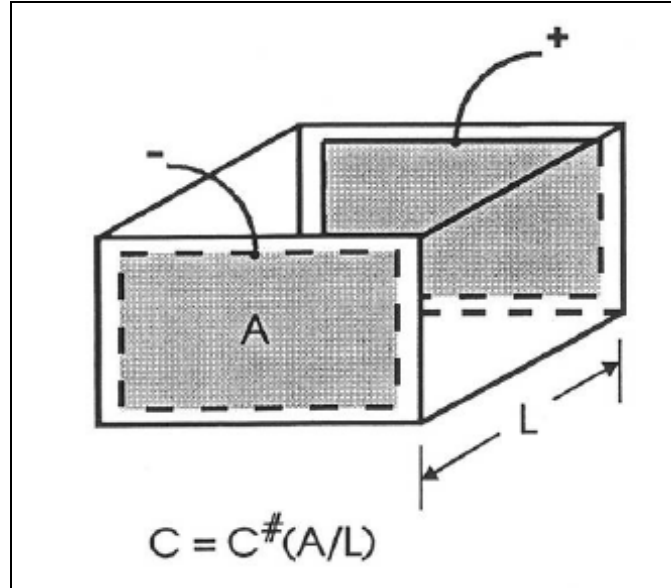
Bir tanktaki çözeltinin direnci 1 / 4 Ohm olarak verilmişse bu çözeltinin iletkenliği 4 Mho dur denir. İletkenlik birimi Ohm ‘ un tersi olan Mho olarak adlandırılır. Özgül iletkenlik özgül direncin tersidir.

$$C = \frac{(C^{\#}) \times A}{L} \quad (3.2)$$

$$C^{\#} = 1 / K$$

A = Kesit Alanı

L = Elektriğin Geçtiği Yolun Uzunluğu



Şekil 3.2 Kaplama banyosunun iletkenliği[10]

Maliyet açısından da ele alırsak; elektrokaplama da banyonun direncinin düşük olması önemlidir. Çünkü banyonun direnci yükseldikçe harcanan güç ve dolayısıyla maliyet de artacaktır.[10]

Sistemde oluşan iyon sayısı arttıkça, elektrik iletkenliği de artmaktadır. Eğer çözeltide daha fazla madde çözülmüş hale geçerse çözeltinin konsantrasyonu ve genellikle de iyon sayısı artar. Buna bağlı olarak çözelti direncinin düştüğü (iletkenliğinin yükseldiği) görülür.

Elektrolitin sıcaklığı yükseldikçe ortam enerjisi artar ve iyonizasyon için daha fazla enerji oluşabileceğinden daha çok iyon oluşur. Yüksek sıcaklıklarda iyonlar daha hızlı hareket etme eğilimindedir. Bu durumda sıcaklık yükseldiğinde kaplama çözeltisinin direnci düşmektedir.

Bazı bileşikler veya maddeler diğerlerinden daha kolay iyonize olurlar ve suda çözüldükleri zaman iletkenlikleri daha yüksektir. Çoğu kaplanabilir metallerin tuzları kısmen iyonize olur. Bunun sonucunda iletkenlikleri düşük, dirençleri yüksektir.

Asitlerin hidrojenleri ile metal atomları, yer değiştirme özelliğine sahip hidrojen bileşikleridir, yüksek oranda iyonlaşırlar ve suda çözüldüklerinde yüksek iletkenliğe sahiptirler. Benzer şekilde sodyum ve potasyum gibi aktif metallerin bileşikleri de yüksek bir iyonlaşma özelliğine ve iletkenliğe sahiptir.

Çoğu metal tuzu düşük bir iletkenliğe sahip olduğundan gerçek bir kaplama işleminde metal tuzunun yanında banyoya başka maddeler veya bileşiklerin eklenmesi, kaplama sonucunda kötü bir etkiye neden olmadan çözeltinin iletkenliğinin yükselmesine yardımcı olur. Bu eklenen tuzlar veya bileşikler iletken tuz veya taşıyıcı olarak adlandırılır. Örneğin bakır kaplamada bakır sülfat çözeltisine eklenen taşıyıcı daima sülfirik asittir. Bu asitten litreye 45 - 60 gr. gibi az miktarda ilave edilirse bakır sülfat çözeltisinin özgül direnci 30 Ohm dan 5,6 Ohm a düşecektir. Bu da toplam direnci % 80 azaltır.

Tablo 3.2. Basitleştirilmiş faraday tablosu. [10]

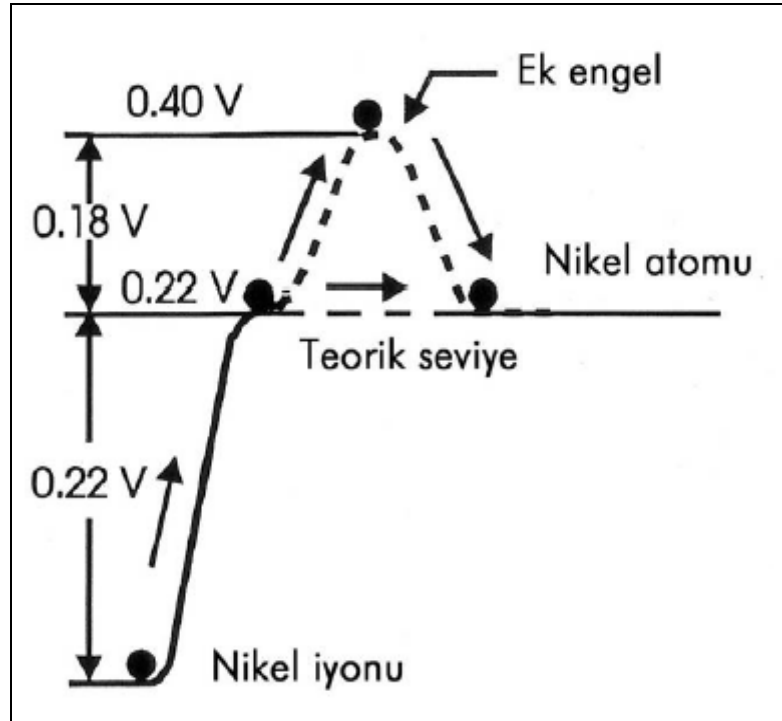
BANYO	ÖZGÜL DİRENCİ ( K, ohm-cm )
Krom	2
Bakır ( sülfat )	5,6
Siyanürlü Çinko	6,8
Kadmiyum	7,8
Siyanürlü Pirinç	12,4
Bakır ( roşel )	14,3



### 3.1.1.3 Kaplama banyosunda polarizasyon

Polarizasyon, bir kaplama banyosundan elektrik akışı esnasında meydana gelen, çalışma şartları altında teorik olarak olması beklenenden daha fazla veya ilave dirençtir. Bu dirence hem anot hem de katodun yakınındaki çözeltide rastlanabilir. Anot veya katot polarizasyonu olarak bahsedilebilir. Katot polarizasyonu kaplamanın yapısını etkilediğinden anot polarizasyonundan daha önemlidir. [10]

Örneğin sıradan bir nikel banyosu için 0,22 voltluk bir gerilimin yeterli olduğunu varsayalım. Ayrıca anodun mükemmel anot olduğunu, çözeltiye göre daima sıfır potansiyelde ve sıfır dirençte bulunduğunu farz edelim. Bu durumda, 0,22 voltluk bir gerilim uyguladığımızda biraz nikel kaplanacaktır. Fakat gerçekte bu olmaz. Gerilim 0,4 volta yükseldiğinde bir akım ölçülmeye nikel kaplanmaya başlar. Fazladan uygulanan bu gerilim teorik olarak kaplama için kullanılır ve Eşik Gerilimi olarak adlandırılır. Örnekteki bu gerilimin büyüklüğü  $0,4 - 0,22 = 0,18$  volt veya 180 mili voltur.



Şekil 3.3 Eşik gerilimi [10]

Şekil 3.3' e baktığımızda kaplama yapmak için daha fazla enerji kullanılması gerektiği görülmektedir. Çünkü gerilim eşiğini aşmak için elektriğin coulombunu yükseltilmesi gerekir.

Kaplama yaparken çok sık aşırı polarizasyonla karşılaşılır. Bir banyo polarize olduğunda meydana gelen ve dikkat edilmesi gerekenler şunlardır;

- Banyoya belirli bir gerilim uygulanmaktayken; akım normal değerinin altına düşer. Şöyle ki, 2 volt uygulandığında 20 amper akım elde ettiğiniz bir banyoda akım 2 amper kadar düşer.
- Normal çalışma akımını elde etmek için normalden daha yüksek bir gerilim uygulanması gerekir. Örneğin; önceden 2 volt ile 20 amper akım akmasını sağlanıyorsa, aynı amperin akması için 10 volt gibi oldukça yüksek gerilim uygulanması gereklidir.
- Anotta ve / veya katotta gaz çıkışı ve / veya genellikle gözle görülebilen bir film oluşumu başlar.

#### **3.1.1.4 Kaplama banyosunda eşik gerilimi**

Kaplama banyolarında birden fazla türde eşik gerilimleri karşımıza çıkar. Banyoların üzerinde en çok etkisi bulunanlar;

- Konsantrasyon eşik gerilimi
- Aktifleşme eşik gerilimi
- Omik eşik gerilimi

Konsantrasyon eşik geriliminde; örneğin bir bakır kaplama banyosunda; bakır iyonlarının kaplanarak ortamdan uzaklaştığı katotta, bakır iyonu konsantrasyonu minimum seviyededir. Buradan biraz uzaktaki kaplama çözeltisinin incelmış veya tükenmiş tabakasının sona erdiği yerde; bakır iyonları konsantrasyonu çözeltinin geri kalanıyla aynıdır. Difüzyonun doğası gereği bakır iyonları dengeye gelmek için daha seyrek oldukları tabakaya göçerler.

Sabit ve maksimum değerin altındaki elektrik akımında kaplanan miktardakine eşit miktarda iyon difüzyonla ve göç etme ile katot civarına gelir ve denge haline ulaşılır. Eğer elektrik akımı yükseltirse Faraday Kanunu'na göre; katottaki bakır iyonu ihtiyacı artacaktır. Doğal difüzyon işlemi bu ihtiyacı daha önce denge durumundayken olduğunun tersine, tam olarak karşılayamaz ve katot tabakası bakır iyonları açısından daha fakir hale gelir.

Bu fakir tabaka çözelti tarafından tam olarak doldurulamaz, katottaki bakır tabakası yeniden çözülme eğilimi gösterir. Çünkü çözelti basıncı iyon basıncı ile karşılaştırıldığında normal değerinden daha yüksek hale gelmiştir. Yani bir potansiyel alan oluşmuştur ve yönü banyoya uygulanan gerilime zıttır. Burada enerji kaybı olduğu açıktır. Bu özel olaya konsantrasyon eşik gerilimi veya konsantrasyon polarizasyonu denir. Konsantrasyon kelimesini kullanılmasının nedeni konsantrasyon farkından dolayı oluşmasıdır.

Aktifleşme eşik gerilimi; katodun yapıldığı metalin ve yüzey yapısının doğası gereği kaplama yapmak için bu ilave gerilim uygulanmalıdır. Örneğin, çelik yüzeye krom kaplama pirinç üzerine kaplamadan daha yüksek elektrik potansiyeli gerektirdiği için metalin yapısının etkisinden söz edilebilir. Ayrıca yüzey yapısı ile bir başka şey daha biliyoruz ki, mesela pürüzlü platin yüzeye düşük gerilimde hidrojen gazı kaplanır ve pürüzsüz bir hal alır.

Genellikle bu şekli 0,2 ile 0,3 volt arasındadır. En çok nikel, demir ve kobalt kaplamada bulunabilir. Bakır ve diğer bir kaç metalin aktifleşme eşik gerilimleri sıfıra çok yakın veya ihmal edilebilecek kadar düşüktür.

Çalışan bir kaplama banyosundaki katot tabakası belli bir elektriksel dirence sahiptir. Eğer bu tabakadaki metal iyonları veya iletken olarak davranan diğer tip iyonlar tüketilirse elektriksel direnç yükselecektir. Buradaki durum konsantrasyondaki değişime bağlı olan konsantrasyon eşik geriliminden farklıdır. Bir dirençten akım akarken gerilim düşmesine neden olur ve bu enerji kaybına Omik Eşik Gerilimi veya Omik Polarizasyon denir. Genellikle katottaki Omik eşik

geriliminin birincil sebebi katot yüzeyinin bitişişindeki tabakada iletken iyonların tüketilmesidir.

### **3.1.2 Elektro kaplamada banyo**

#### **3.1.2.1 Banyoların oluşturulması**

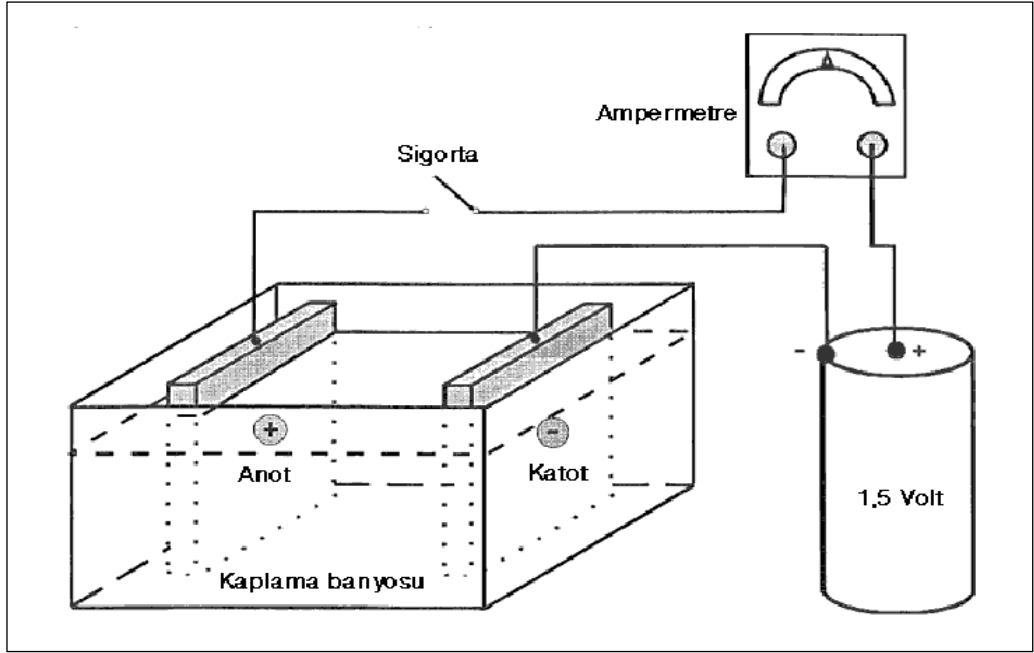
Elektrokaplama, elektrik enerjisi kullanılarak çözeltildeki metali bir yüzeye kaplama işi olduğuna göre basit bir kaplama banyosu, içinde elektriği ileten çözünmüş metal tuzu veya bileşiği bulduran bir tanktır. Bu bir kaplama banyosunun temel ve asli olan özelliğidir. Fakat bu gerekliliklerin sağlanması iyi bir metal kaplama sonucu elde etmek için yeterli değildir. [13]

Kaplama banyosunun içeriği aşağıdaki gibidir.

- Metal tuzu veya bileşiği banyoya metal iyonu sağlar ( kaplanan metal ).
- Asit veya alkali bileşiği (banyonun pH ının düşük mü yüksek mi olduğuna bağlı olarak) çözeltilin iletkenliğini artırır (direnci düşürür, yani iletkenlik sağlayan bir kimyasaldır).
- Kimyasallar eklenir. [10]

Buna göre bir kaplama banyosu elektriği ileten çözünmüş metal tuzu veya bileşiği ve elektrik enerjisini çözeltilye iletmek için iki elektrot içerir. Basit bir banyo düzeneği Şekil 3.4 de görölmektedir. [13]

Akünün artı kutbuna bağlanan elektrot anot, eksi kutbuna bağlanan ise katot olarak adlandırılır. Devreye akım verilip akım akmaya başlayınca; anotta çözülenme, katotta ise kaplanma başlar. Bütün banyolarda değişmeyen özellik, metalin katotta kaplanıp anotta ise çözülenmesidir.



Şekil 3.4 Basit bir banyo düzeneği [13]

Elektrokaplama da bir önemli hususta elektrik enerjisi ile çözeltideki metalin kontrollü ve yönlendirilmiş şekilde kaplanmasıdır.

Kaplama çözeltilerinde geçerli temel ilkeler vardır. Bunlar;

Kaplanacak metalin tuzları su moleküllerinin etkisiyle zayıflayan iyonik bağlar sayesinde iyonlaşırlar. Bu iyonlar (+/-) taşınırlar. Çünkü her biri su molekülleriyle sarılmışlardır. Su moleküllerinin birbiri ile etkileşimleri çok azdır.

Metal iyonları bir veya daha fazla elektron uzaklaştırmasıyla pozitif yüklenir ve katoda doğru ilerler. Kaybedilen elektronların yeniden düzenlenmesiyle katot yüzeyinde metal birikir ve hidrojen gazı açığa çıkar. Buna İndirgenme Mekanizması denir.

Metal tuzun dengesini sağlayan ve bir ya da daha fazla negatif elektronu taşıyan iyon ya da radikal (-) yüklüdür. Anoda doğru ilerler. Eğer anot çözünebilir cinsten ise, orijinal halindeki metali tuzuyla birlikte geri kazanır. Buna Yükseltgenme Mekanizması denir.

Anot ve katotta, enerji ve genel yönüyle yukarıdaki oluşumlar meydana gelir. Katotta hidrojen gazı ve / veya metalik kirlilik asıl olan metal kadar kaplanabilirler. Anotta yükseltgenir veya diğer çözünmez bileşik formları oluşabilir ve oksijen veya diğer gazlar çıkabilir.

Genellikle ince taneli, yapışık ve kaplanacak cismin her yerinde aynı kalınlıkta olan kaplamalar elde edilmek istendiği için akım yoğunluğu, konsantrasyon, sıcaklık, katkı maddeleri bunu gerçekleyecek şekilde ayarlanır. [15]

### **3.1.2.2 Banyo kimyasalları**

Tampon; Banyonun pH seviyesini değiştirmeden kalmasına yardım eden kimyasal bileşikleridir. Kimyasal asit ve alkali deposu gibi davranırlar. pH değişme eğilimi gösterirse çözeltiliye ilave asit veya alkali iyonları vererek dengede tutar.

Polarizör (kutuplaştırıcı) ve depolarizör; polarizörler genellikle katottaki polarizasyonu artıran maddelerdir. Depolarizörler, polarizasyonu azaltmak veya minimize etmek amacıyla (genellikle anotta) kullanılan kimyasal bileşiklerdir. Polarizörler ise ters yönde iş görürler. Katot polarizasyonunu artırır.

Eşitleme kimyasalı; mikro dağılma gücünü geliştiren bileşiklerdir. Pürüzsüz yüzey elde etmek için kullanılırlar ve genellikle parlaticı ile birlikte kullanılır.

Parlaticı; banyoda kaplanan malzemelerde parlaklığı sağlamak için kullanılan bu bileşiklerin iki çeşidi vardır. Asıl parlaticı kristal habitini çok kuvvetli şekilde değiştirir ve daha fazla etki elde etmek için genellikle yardımcı parlaticı ile birlikte kullanılırlar. Bu ikisinin kullanımını birbirini etkiler.

Islaticı veya Anti – Pit Kimyasalı; ıslaticılar bir kaplama banyosunda az miktarda kullanıldıklarında kaplama çözeltisinin yüzey gerilimini azaltan veya düşüren kimyasal bileşiklerdir. Gerçekte görevleri çözeltinin ıslatılmasına yardımcı olmaktır.

Çözeltinin yüzey enerjisini düşürmek suretiyle katotla kaplama banyosu arasındaki temas daha iyi hale gelir ve böylece katot yüzeyine yapışmış olan küçük parçacıklar (bunlar gaz kabarcıkları için tıpkı birer çekirdek gibi davranırlar ve bu da karıncalanmanın nedenidir) giderilebilir.

Katalizör; bu kimyasal bileşikler veya elementler bir işlem olurken kısa süre boyunca veya çok az miktarda kullanılarak, normalde içinde olmaması gereken işlemi hızlandırır. Bu kimyasallar, elementleri veya bileşikleri değiştirmeden birleşmelerini sağlar.

### **3.1.2.3 Banyo kontrolü**

Banyo bileşiminin kontrol edilmesi diğer tüm koşullar sabit iken, kaplama banyosunun bileşiminin sabit tutulması anlamına gelir ki; böylece katot filminin yapısı da sabit kalır. Böylece katotta yapılacak kaplamanın kalınlığı her yerde doğru şekilde kalınlaşacaktır. [18]

Kaplama banyosunun bileşimini ikiye ayırabiliriz;

- Banyoda olması istenen şeyler
- Banyoda olması istenmeyen şeyler

Burada ilk şıkta banyo reçetesine göre kaplama banyosunu hazırlamak için kullanılan kimyasallar ve bileşikler bulunur. İkinci şık da ise banyoya bir şekilde giren kirleticiler girer. Burada önemli olan banyonun işletilmesi esnasındaki kirlenmenin önlenmesi, olmuyorsa azaltılması için erken teşhis edilmesi gereklidir.

Banyoyu oluşturan en önemli parametreler farklı yöntemlerle kontrol edilir. Bu kontrol parametrelerinin en önemlileri; pH, parlatici, kimyasallar, kirleticilerin kontrolleridir.

pH kontrolü için genellikle pH' a duyarlı boyalar kullanılır. Genellikle şerit şeklindeki kâğıda emdirilmiş veya suda çözülmüştür. Kâğıt şerit yöntemini kullanmak oldukça basittir. Üzerindeki değişik boyalar emdirilmiş çok sayıda bant

vardır. Şerit kaplama banyosuna daldırılır. 5 – 10 saniye tutulup çıkarılır. Üzerindeki kalan banyo sıvısı silkelenir. Şeridin üzerindeki bantlarda renklenme olur. Testte elde edilen renk, renk skalasındakilerle karşılaştırılır ve eşleşen renk seçilir. Bu yolla pH 0,2 – 0,3 hata payı ile tespit edilir.

Daha hassas ölçüm için pH metre kullanılmalıdır. Bu ölçü aletinin özel elektrodu kaplama banyosundan alınan örneğe daldırılıp oluşan potansiyel ölçülür ve cihazın içindeki bir başka elektrodun potansiyeli ile karşılaştırılır. Hidrojen iyonu ne kadar fazla ise oluşan gerilim de o kadar büyük olacaktır. Daha sonra bu gerilim kalibre edilmiş bir elektrikli göstergede pH değerini gösterir. Kaplama banyolarının kontrolünde bu metot oldukça iyidir.

Tutarlı ve iyi sonuçlar elde edebilmek için katot filminin pH' ı özel bir değerde sabit tutulmalıdır. Kaplama banyosunun pH ' ı sürekli kontrol edilmelidir.

Kaplama banyosundaki parlaticılar, ara yüzeylerde ve atomik düzenlemenin bu moleküllerin bağlanmasına uygun olduğu yerlerde emilir. Genellikle karmaşık yapıda organik moleküller oldukları için kimyasal olarak test edilmeleri zordur.

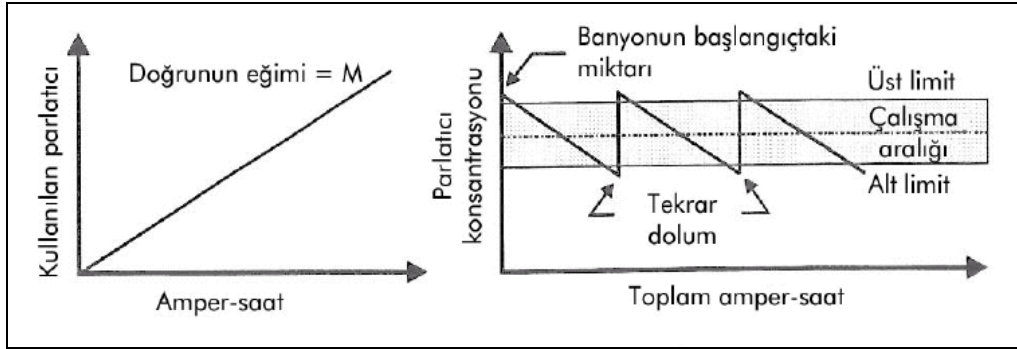
Kaplama banyosunda bu tip malzemelerin aşırı miktarda kullanılması olumsuz olarak etki etmektedir. Bu nedenle bu kimyasalların kontrolü işinde banyodan eksildikçe tamamlanması önemli bir yer tutar. Bir kaplama banyosundaki parlaticının aşağıdaki üç durumda eksilmektedir;

- Parlaticılar emilim yoluyla tüketilirler.
- Parlaticılar banyodan çıkarılan kaplanmış malzemenin üzerinde kalırlar.
- Parlaticılar ayrışarak tüketilirler.

İlki banyonun çalışması nedeniyle meydana gelen masraftır. İkinci ve üçüncü ise para kaybına ve arızaya neden olabilir. Bununla birlikte kaplama banyosuna aynı tipte parlaticı veya diğer kimyasallardan ilave edilerek yeniden doldurulması sağlanır.



Fazla parlaticı katılan banyo muhakkak bu fazlalıktan giderilmelidir. Bunu yapmanın en iyi yollarından biri banyoyu düşük akım yoğunluğunda, emniyetli şekilde ulaşılabilecek en yüksek sıcaklıkta ve elde edilebilecek en yüksek karıştırma da çalıştırmaktır. Bu şekilde metal israfına neden olmadan fazlalık giderilebilir. Parlaticının kaplanan malzeme üzerinde kalarak eksilmesi kaplanan malzemenin üzerinde kalan banyo sıvısı miktarını azaltılarak en aza indirilebilir.



Şekil 3.5 Parlaticı kontrolü [18]

Parlaticı miktarının kontrolü için muhtemelen en iyi fikir, banyodan eksilen parlaticının yerine konacak miktar ile banyodan geçen Coulomb veya amper-saat miktarı arasında bir bağlantı kurmaktır. Kullanılan Coulomb ile kaplanan yüzey alanı, akım yoğunluğu ve çalışma süresi birbiri ile doğrudan ilgilidir. Kaplama banyosunun sıcaklığının ve karıştırmanın uygun şekilde sabit tutulduğu varsayılırsa, Şekil 3.5' de gösterildiği gibi aradaki amper-saat ile eksilen parlaticı miktarı arasındaki doğrusal bir ilişki vardır.[18]

Banyoya parlaticı ilavesinin sürekli ve otomatik olarak yapılması en uygun olanıdır. Eğer parlaticı ilavesinde şekilde görüldüğü gibi keskin dalgalanmalar varsa daha sık aralıklarla ilave yapılarak daha düz ve yumuşak şekle getirilebilir.

Banyoda bulunmasını istemediğimiz şeylerin kontrol edilmesi o kadar da kolay değildir. Kaplama banyosuna müdahale edilmezse kirleticiler birikmeye başlar. Bazı kirleticilerin çok az zararı vardır. Bazılar sadece belirli banyolarda zararlıyken bazıları her türlü kaplama banyosuna zarar verirler.

Kaplama banyolarında kirlenme genelde iki sebepten meydana gelir;

1. Uygulama esnasında meydana gelen hatalar
2. Doğal işlemler sonucu meydana gelen hatalar

Eğer kirlenmenin önüne geçmek veya azaltılmak isteniyorsa burada kullanılacak bazı teknikler şunlardır;

1. Kaplama banyosuna akım verilir.
2. Bir önceki banyoda tam olarak kaplanmamış malzemeyi çok kısa süre daldırılıp çıkarılır.
3. Kaplanan malzeme tankta bırakılmamalı.
4. Kirlenmeyi önlemek mümkün değilse giderilmeye çalışılmalı en kararlı parlaticı kullanılmalı.
5. Parçalandığında zarar verici etkisi yüksek konsantrasyonlara ulaşılmamasına dikkat edilmelidir.
6. Bozulmayla tortu halinde çökelen ürünleri hataya sebebiyet vermeden önce düzenli olarak banyodan uzaklaştırılmalıdır.

Kaplama banyosunun kontrolünde öne çıkan önemli noktalar;

1. Kaplama banyosundaki işlemin sürekli olarak devam etmesini sağlamak için, banyo kontrol altında tutulmalıdır.
2. Bu kontrolün esası katot filmindeki koşulların mümkün olduğunca sabit tutulmasını sağlamaktır.
3. Sözü edilen koşullar, kaplama tabakasının kalınlığı, sıcaklığı, bileşimi, pH'ı ve içinden geçen akımı içerir.
4. Bu sayılanlar arasında karmaşık bir etkileşim vardır. Fakat bunların çoğu pek fazla bir zorlukla karşılaşılmadan kontrol altına alınabilirler.
5. Katot filmindeki kimyasal bileşimin kontrolü kimyasal analiz yardımıyla kolayca yapılabilir. Bunun dışında içeriğin kontrolü ise o kadar basit değildir.
6. Kirlenmenin engellenmesi üzerinde önemle durulmalıdır.
7. Kirlenmeyi engellemenin veya azaltmanın bir yolu bulunmalıdır.

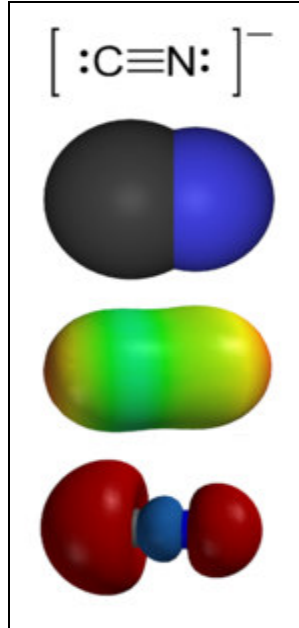
### 3.1.2.4 KCN etkisi

Kaplama işleminde birçok faktör etken konumdadır. Gerek banyonun içinde olan tepkimeler gerekse akım gibi dış kaynaklı oluşumlar hem süreci hem de yapıyı etkiler. Siyanürlü banyolarda genellikle karşımıza çıkan kompleks bileşiklerin temeli genelde organik yapıya dayanmaktadır.

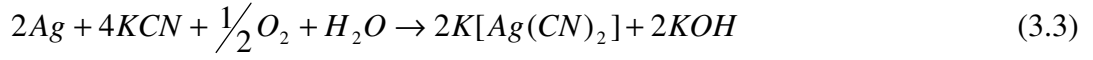
Organometalik kimya, en az bir metal-karbon bağı içeren bileşiklerin kimyasını ifade eder. Bileşiği oluşturan organik kısım, küçük moleküllerden karmaşık moleküllere kadar bir aralıkta değişmektedir. [1]

Yapılan deneysel çalışmada organometalik özelliğe sahip olan CN (siyanür) bileşiği ile metallerin meydana getirdiği bileşiklerin kaplama işlemine nasıl bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada kullanılan bu bileşikler KCN (potasyum siyanür) ve KAg(CN)<sub>2</sub> (potasyum gümüş siyanür) dür.

Siyanür, bir nitrojen atomu ve bir karbon atomu arasındaki üçlü bağı içeren (C ≡ N) bir kimyasal bileşiktir. Siyanür anyon (negatif) konumdadır. Katı, sıvı ve gaz formunda bulunabilirler. İyon halindeki CN<sup>-</sup> yüksek miktarda zehirleyici özelliğe sahiptir.



Şekil 3.6 C- N bağı oluşumu [23]



Gümüş ve altın siyanür, çözülebilirlik özelliği olan formlar arasındadır. Bu nedenle, elektrokaplama, Metalurji, mücevher ve fotoğrafçılık alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Değerli metal katyonlar, siyanür anyonlarla birlikte kompleks oluşturarak çözülebilir türevler haline gelir (  $[Au(CN)_2]^-$  ,  $[Ag(CN)_2]^-$  ).

Bu bileşiklerin çözeltilerde önemli rolleri bulunmaktadır. Siyanür ve gümüş iyonları arasında şekillenen kompleks bileşiklerden çok az gümüş iyonlaşır. Bunun sonucu olarak da kaplanan gümüş beyaz, katı ve yapışık olur.

Gümüş akım tarafından çözeltilinin dışına çıkmaya zorlanırken, daha fazla gümüş iyonu oluşur ve gümüş-siyanür kompleksi, gümüş iyonları için bir depo görevi görerek onların yoğun, sıkı bir yapışıklığı olan bir kaplama oluşturmasına yetecek derecede iyonlaşmalarına izin verir. [23]

Bu oluşumlardan yola çıkarak siyanürün kaplamanın oluşum şekline ve oluşacak yapıya doğrudan etki ettiğini söylemek mümkündür. Deneysel çalışmada, farklı değerler de alınan siyanürlü bileşik miktarları aynı anda kaplamayı hem yüzeysel hem de yapısal olarak değiştirmiştir. İstenen ince taneli ve sıkı bir kaplama yapısı oluşan kompleks siyanür bileşikleri ile sağlanmaktadır.

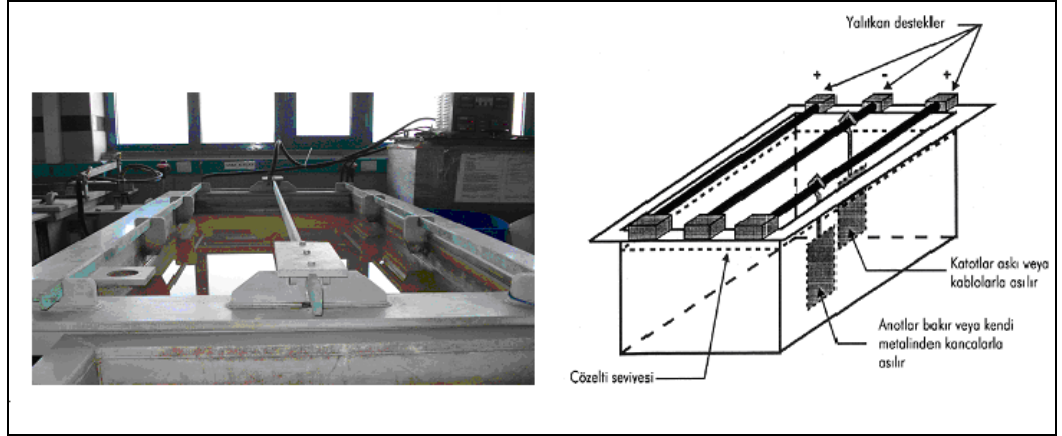
### 3.1.3 Elektro kaplamada tank

Elektro kaplama da farklı çeşitte tanklar mevcuttur. Bu çeşitlilik, genellikle kaplanacak malzemenin sahip olduğu şekilden ve boyutlarından oluşmuştur. En çok kullanılan kaplama tankları

- Askı kaplama tankı
- Dolap kaplama tankı

Bazı kaplamalar askıda yapılır. Genellikle dikdörtgen şeklindedir. Fakat dairesel veya özel bir şekilde olabilir. Tipik bir kaplama tankı Şekil 3.7' de gösterilmiştir. Bu

kaplama tankının içinde kaplama çözeltisi bulunur ve seramik, cam, demir, elik, tahta, kauçuk, fiberglas, plastik gibi değişik yapı malzemelerinden oluşur. Bu yapı malzemeleri kaplama banyosunun yapısına ve çalışma koşullarına göre değişiklik gösterir. [10]



Şekil 3.7 Tipik bir kaplama tankı [10]

Anot baraları birbirlerine genellikle kalın bakır kablo veya bara ile; en son da redresörün artı ( pozitif ) ucuna bağlanırlar. Katot ve anot baraları birbirlerinden ve kaplama tankından, tankın iki ucundaki yalıtkan desteklerle yalıtılmıştır. Bu yalıtkan destekler genellikle porselen, plastik veya tahta parçasıdır.[10]

Kaplanacak malzeme bakır çengellerle katot barasına asılır. Be çengellere askı denir. Askı kapanacak malzemeyi asmak için kullanılan metal çerçevedir. Genelde bakırdan yapılmıştır ve katoda temas etmesi istenmeyen yerleri plastisol denen kauçuk cins bir bileşikle kaplanmıştır.

Kaplama yaparken doğru şekilde düzenlenmiş malzeme, tanka askı veya kablo ile asılır ve enerji verilir. Bazı kaplamalarda, kaplanacak malzemeyi yerleştirirken devrede akımın olması en iyi sonucu verir. Askı kaplama, değişik ebat ve boyutlardaki sıradan kaplama işlerinin çoğu için uygun bir yöntemdir.

Çok küçük ebatta ve fazla sayıda malzemenin kaplanması gerekiyorsa askı kaplama pratik bir yöntem değildir. Bu durumlarda dolap kaplama yapılmalıdır.

Dolap kaplamada kaplanacak malzeme genellikle küçük hacimlidir ve silindirik veya hegzagonal şekilli dolaba boşaltılır ( Şekil 3.8 ). Dolap uzun eksenini etrafında yatay veya açılı şekilde döner.

Kaplanan malzemeye elektrik akımı, dolaba daldırılmış esnek metal başlıklı bir parçayla (kablo veya zincir) ya da kontak butonlarıyla verilir.

Bu tip kaplamada kaplanan malzemenin (katot) yüzey alanı çoğu durumda tam doğru olarak hesaplanamaz ve ağırlık üzerinden ayarlama yapılır. Bütün yüzeyler aynı anda akım çekiyor gibi düşünülemez. Dolap döndükçe (saniyede 5 – 20 kez döner) bütün yüzeylerden akım geçer ve metal kaplanır. Eğer dolap doğru şekilde yapılmış ve düzenlenmişse, çok küçük ve aynı şekilli malzeme üzerinde mükemmel üniform kaplama elde edilir.

### **3.2 Kaplamacılıkta Uygulanan İşlemler**

Genellikle bütün kaplama işleri aşağıdaki üç adıma göre yapılır:

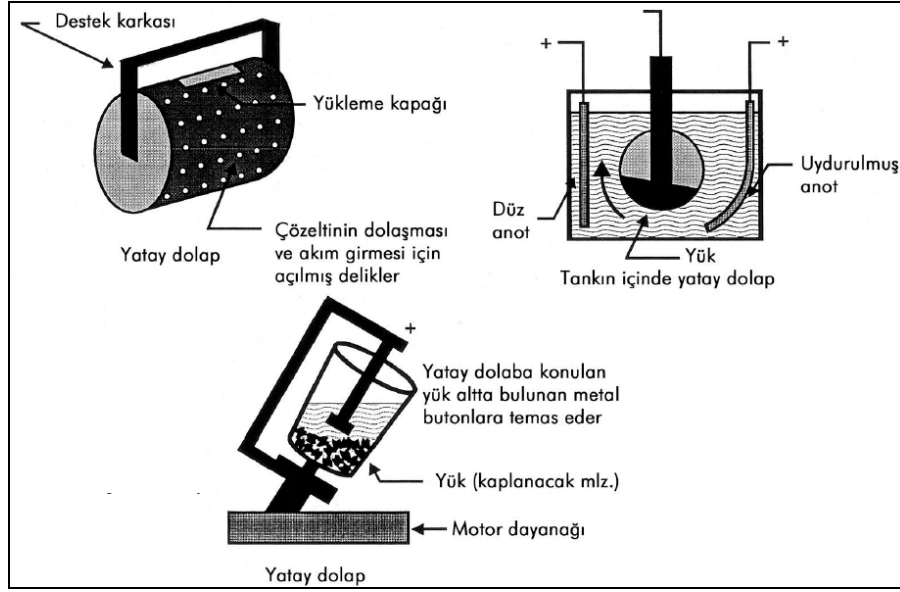
Kaplanacak malzemenin (işin) kaplamaya ön hazırlığı

Asıl kaplama işlemi

Yüzey işlem sonlandırma veya laklama

Malzeme kaplanmadan önce hazırlanması gerekir. Kaplanacak malzeme pürüzlü, oksitlenmiş veya kirli olabilir. Yüzeydeki pürüzler cilalama ve parlatma işlemleriyle giderilmelidir. Oksitler ve çapaklar asit veya alkaliye daldırma ile giderilmeli, yağ alma ve / veya elektrikli malzeme işlemleriyle kirlilik temizlenmelidir. [10]

Kaplamadan sonra malzeme genellikle laklanır veya renklendirilir veya bir başka yüzey işlem uygulandıktan sonra laklanır.

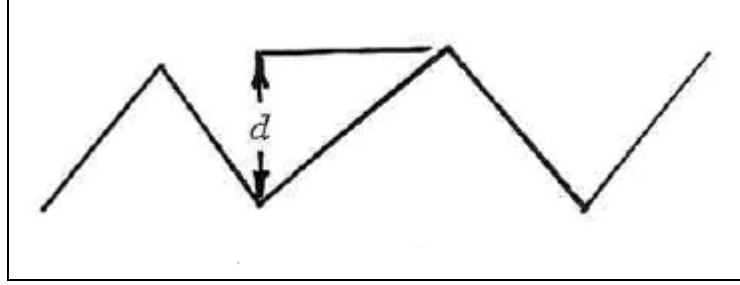


Şekil 3.8 Dolap kaplama [10]

### 3.2.1 Kaplamaya ön hazırlık

İyi bir kaplama elde edebilmek için kaplanacak maddenin temizlenmesi gerekir. Bu işlem kaplama işlemi kadar önemlidir. [15]

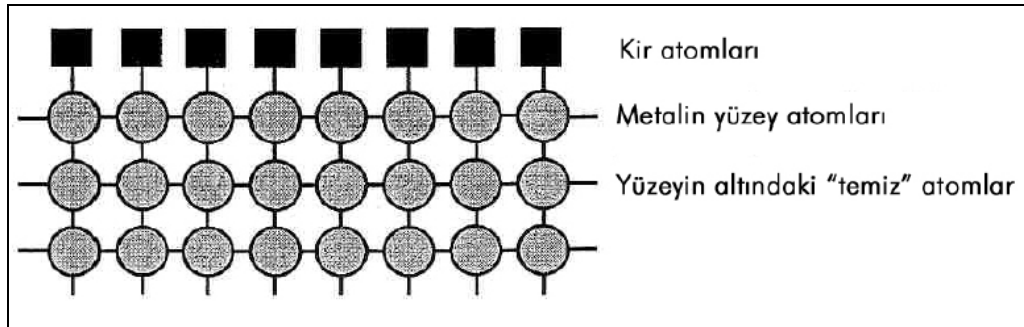
Pürüzsüzlük kaplamanın kalitesi için oldukça önemlidir. Şekil 3.9 pürüzlü yüzeyin büyütülmüş görüntüsünü ifade etmektedir. Kaplanacak metalin yüzeyinin pürüzlülüğünün görünümüdür. [16]



Şekil 3.9 Yüzey pürüzlülüğü [16]

Metal yüzey ile ilgili olarak çatlaklar, yüzey dalgalanması, yüzey düzensizliğinin yönü, bu düzensizliklerin biçimleri ve yayılışları gibi kaplama kalitesine etkisi olan durumlar göz önünde tutulmalıdır.

Bir metal yüzeyi başka bir metalle kaplamak için ilk önce kaplanacak yüzeyin temiz olması gerekir. Çünkü kirli yüzeye yapılan kaplama her yerde eşit olmayabilir ve yüzeye tam olarak yapışmayabilir. Kirli bir metal yüzeyinin şematik gösterimi Şekil 3.10 gösterilmektedir.[17]



Şekil 3.10 Kirli metal yüzeyi [17]

Kaplamaya veya sonlandırmaya hazırlanmış metal yüzeyinin genelde üç farklı görünüşü olabilir.

Birincisi; metal yüzeyi üzerinde ilgisi olmayan yabancı maddeler bulunur. Metalin imalatı ve taşınması esnasında yüzeye gres, mum, yağ, reçine, boya bileşikleri,



sabun, parlatma ve cilalama bileşikleri ve değişik biçimlerdeki toz ve kirler bulaşmış olabilir. Bu kirlilik sebeplerinden bazılarının metal yüzey işleme işi fiziksel olarak değiştirilmesi veya kimyasal dönüşüme tabi tutulması mümkündür.

İkincisi; metal yüzey üzerinde metalden kaynaklanan maddeler bulunur. Bazı metallerin yüzeyinde asitle dağlamaya bağlı olarak düşük veya yüksek sıcaklıklarda hava ile temas etmekten kaynaklanan oksit filmi, kükürt filmi, karbonat filmi, korozyon filmi, klor, sülfat, nitrat ve karpit ve kurum bulunabilir.

Üçüncüsü; yüzey yapısı metale yanlış uygulanan döküm, haddeleme, biçimlendirme, boyama, çekme, ısıl işlem, dövme ve cilalama gibi işlemler nedeniyle değişir. Böylece yüzeyde kaplama kabul etmeyen veya hatalı kaplamaya neden olan, yüksek miktarda kirlilik içeren, sıkışmış ve düzensiz yapıya bölgeler oluşmasına yol açan, aşırı gözenekli ve yüksek gerilimli, mikro çatlaklı bir yapı meydana gelebilir.

Bu üç durumdan ilki en çok karşılaşılan durumdur.

Temizleme işlemi şu sırayı izler;

- Parça yüzünün düzeltilmesi ve temizlenmesi
- Yağ alma
- Oksit tabakası

Bu işlemlerden sonra banyoda kaplama ve cilalama yapılır.[15]

### **3.2.1.1 Parça yüzeyinin düzeltilmesi ve temizlenmesi**

İmalattan çıkmış metallerin yüzeylerinde çapaklar, kalıp artıkları, olabilir. Kaplamadan önce, parçalar bunlardan temizlenmelidir. Aksi takdirde kaplama kalitesindeki yan etkileri büyük olur. [16]

Mekanik yolla düzeltme; kaplanacak parça çelik telden yapılmış fırçalar, zımpara taşları ve törpülerle düzeltilir. Yüzeylerin çok kaba olması halinde, düzeltme kum

püskürterek veya diğer mekanik aşındırıcılarla yapılır ve sonra özel fırçalarla parlatılır. [15]

Yüzey polisajla temizlenmelidir. Polisaj işlemi manüel, otomatik veya mekanik olarak yapılabilir. Polisaj ile kaplama işlemi arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Polisaj esnasında çıkabilecek sorunlar maliyeti büyük oranda etkilemektedir. [16]

Elektrolitik cilalama; bu yöntemde elektrolitik olarak sülfat, fosfat, kromat veya sitrik asit nadiren de florür asidini içeren bir elektrolitik pile anot olarak yerleştirilir. Yüksek akım yoğunluğu uygulanır.

Metal yüzeyindeki pürüzlerden yüksek noktalar öncelikle çözünür. Daha alt noktalar yüksek olanlara nazaran pasiflik kazanır ve çözünme yüksek noktaların düzeyinin alttakilere eşit olmasına kadar devam eder. Bu durumda mekanik cilalama işlemine benzer bir etki ortaya çıkar ve parlak bir yüzey elde edilir. Elektrolitik cilalama, paslanmaz çeliklere, demir, nikel, bakır ve alüminyum alaşımlarına ve elektrolitik olarak kaplanmış gümüşe uygulanır. [15]

Parlatma işlemi, kaplama işlemi için sonraki sonuçlara göre oldukça önemlidir. Cilalama ve parlatmanın asıl amacı, kaplanacak malzemenin yüzeyini yeterli derecede pürüzsüzleştirmektedir. [16]

Polisaj ve parlatmada bilinmesi gereken üç önemli özellik vardır. Bunlar;

1. Aşındırıcıların sertliği
2. Aşındırıcı parçanın büyüklüğü
3. Parçacıkların fiziksel şekli ve parça imalatıdır.

Bu üç faktör yüzeyin temizleme işlemlerinin belirlenmesi ve sonrasında elde edilen yüzeylerin kalitesi için önemlidir.

Düz yüzeylerin polisaj ve parlatılması esnasında varsa özellikle köşe ve kenarlar yuvarlaklaştırılmalıdır. Bu yüzden en zor polisaj yapılan yüzeylerdir. Taban yüzeyinin polisajında aşağıdaki noktalar göz önünde tutulmalıdır;

Kenarlar yuvarlatılmalıdır.

Kaplama cm' nin birinde birim mertebesinde düzgün olmalıdır.

Yüzeyde dalgalılar veya düşük noktalar olmamalıdır.

### **3.2.1.2 Yağ alma**

Olması gereken, kaplanacak malzemenin üniform ve yapışkan bir kaplama kabul edecek şekilde temizlenmesidir. Metal yüzeylerini temizlemenin, değişik yöntemleri vardır ve bunlar tek başına veya bir kaç birlikte kullanılabilir. Sözü edilen yöntemler;

1. Çözücü (solvent) yağ alma
2. Alkali yağ alma
3. Emülsiyon (iki fazlı yağ alma)
4. Elektrikli yağ alma
5. Dağlama (asit veya alkaliye daldırma)
6. Buhar fazında yağ alma

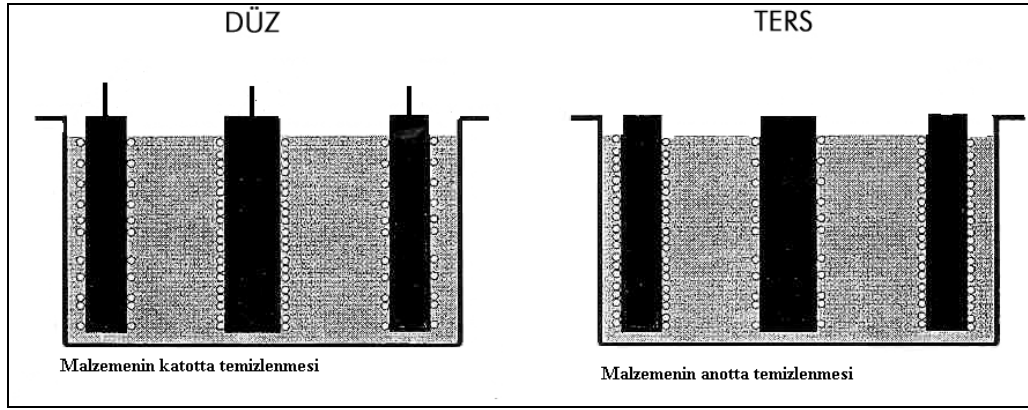
1 ve 5 numaralı yöntemler bulaşmış olan kirliliğin fiziksel ve kimyasal olarak çözülmesini, 2,3 ve 4 numaralı yöntemler kirleri yıkayarak ve deterjanla ortamdan uzaklaştırmayı, 6 ve 7 numaralı yöntemler ise aşındırma veya sürtme ile temizlemeyi esas alır. [17]

Yağlar organik ise bir bazla sabunlaştırılır ve sabun çözülür. Mineral yağlar sabunlaşmadığı için bunlar; organik çözücülerde, alkalilerde sabunlaştırma veya elektrolitik olarak temizlenir. [15]

Organik çözücülerle yağ çıkarmada parça, benzin veya karbontetraklorüre batırılır. Buharla yağ çıkarmada ise çözücü olarak genellikle trikloroetilen kullanılır. Parça

kaynayan çözücünün buharı içine asılır. Buhar parça üzerinde yoğunlaşır ve yağların çözülerek akmasını sağlar.

Alkalilerle yağların temizlenmesi işleminde yağlar sıcak alkalilerle sabunlaştırılır ve yıkanır. Bu işlemle kir ve laklar da uzaklaştırılmış olur. Sabunlaştırma için NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> çözeltileri kullanılır. Bunlar çoğu zaman tek başına kullanılmayıp Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, NaCN, boraks gibi maddelerin birini ya da bir kaçını da içerirler.



Şekil 3.11 Elektrolitik temizleme (yağ alma) [15]

Elektrolitik olarak yağların temizlenmesinde; madde, temizleme çözeltisi içine katot olarak yerleştirilir veya alternatif akım uygulamak suretiyle parça hem katot hem de anot durumunda bulunabilir. Elektrolit olarak kullanılan çözelti Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH ve NaCN içerir.

Katot yüzeyinde hidrojen çıkışı yağ filmlerinin yüzeyden ayrılmasını sağlar. Katottan ayrılan yağ, kir, boya gibi maddeler ve diğer yabancı maddeler çözelti içinde emülsiyon yaparlar. Hidrojen çıkışı çözeltiyi karıştırma görevi de görür ve çözeltinin katot yüzeyine taşınmasına yardımcı olur. [15]

### 3.2.1.3 Oksit tabakasının kaldırılması ve dağlama

Eğer demir içeren bir metal ile çalışılıyorsa bazı durumlarda metal yüzeyinde kötü şekilde oksitlenme meydana gelmiş olabilir. Temizlenecek metalin yüzeyi, gres veya yağ ile kirlenmiş ve aynı zamanda lekeler, pastan kaynaklanan renk

bozuklukları mevcut olabilir. Asitle dağlamanın amacı, alkali temizleme banyosunda giderilemeyecek olan bu pas ve lekeleri ortadan kaldırmaktadır. [17]

Prensipte asitle dağlama banyosunda mevcut bulunan asit, pas veya oksit tabakasını metale zarar vermeden çözer. Uygulamada ise iyice temizlenmiş olan metalde, asit az da olsa bir tahribata yola açabilir. Asitle dağlama çözeltisinde bulunan ve inhibitör olarak bilinen maddeler yardımı ile temizlenmiş metale yüzey asidin etkisi minimum düzeyde tutulmalıdır.

Yağdan temizlenmiş olan metalik parçaların üzerinde ince bir oksit filmi oluşur. Bu oksit filminin kaldırılması işlemine dekapaj denir. Demir ve çelik dekapajı için 2N HCl veya H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, döküm parçaları için %1 -1.5'luk HF, Cu alaşımları için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve az miktarda HCl kullanılır. [15]

Aside daldırmanın veya asitle dağlamanın ikinci bir kullanımı da zaten temizlenmiş olan yüzeye metal kaplamanın daha iyi yapışması için asitle oymak amacıyla yapılmasıdır. Bu durumda sadece oksitler ve pullar giderilir.

Asitle dağlama genellikle pulların, oksitlenmenin ve pasın giderilmesini içerir. Aside daldırma ise genellikle hafif oksitlenmiş ve kararmış film tabakasının giderilmesi, alkali film tabakasının nötrale edilmesi, asitle oyulması ve kaplama öncesi metalin aktifleştirilmesi için kullanılır. Dayanıklı ve hassas işlerde, dağlamaya başvurulur. Genellikle asitle dağlama yakından yapılır. Fakat gerçek işlem esnasında aside daldırma kullanılır. [17]

İyi bir temizleme işlemi için;

- Doğru çözücü ve / veya deterjan bileşimi kullanılması
- Solvent ve / veya deterjanın etkisini hızlandırmak için ısıtma
- Kir parçalarını çıkarmak için karıştırma yardımcı olacaktır.

### **3.3 Elektrometal Kaplamanın İşleminin Gerçekleşmesi**

Bir kaplama banyosuna enerji verilir verilmez, metal kaplanmaya başlar. Yani katodun yakınındaki metal iyonları çabucak kullanılır. Faraday kanununa göre; çok

miktarda atom kaplanmış ve birkaç Coulomb elektrik geçmiş olur. Bu nedenle zaman ilerledikçe katottaki işlemin devam edebilmesi için katotta her an belli bir miktar iyon ihtiyacı duyulur. Metal ile çözeltinin ara yüzeyindeki metal iyonları konsantrasyonu çözeltinin normal kısımlarına oranla azalır. Diğer bir deyişle konsantrasyon farkı akım geçişinden kaynaklanır. [18]

Bir kaplama banyosuna akım verildikten bir veya iki dakika sonra katotta ince bir çözelti tabakası oluşur. Bu çözelti tabakasının bileşimi banyonun içeriğinden oldukça farklıdır ve katot filmi bazen de katot difüzyon filmi olarak adlandırılır.

Bu film tabakasının kalınlığı kaplama şartlarına bağlı olarak 0,05 cm ile 0,0001cm arasında değişir. Oluşan film tabakası kaplama banyosunda oldukça önemlidir. Çünkü malzemenin üzerine kaplanacak her metal atomu bu film tabakasını geçmek zorundadır. Bu film doğru şekilde beslenirse mükemmel kaplama elde edilir.

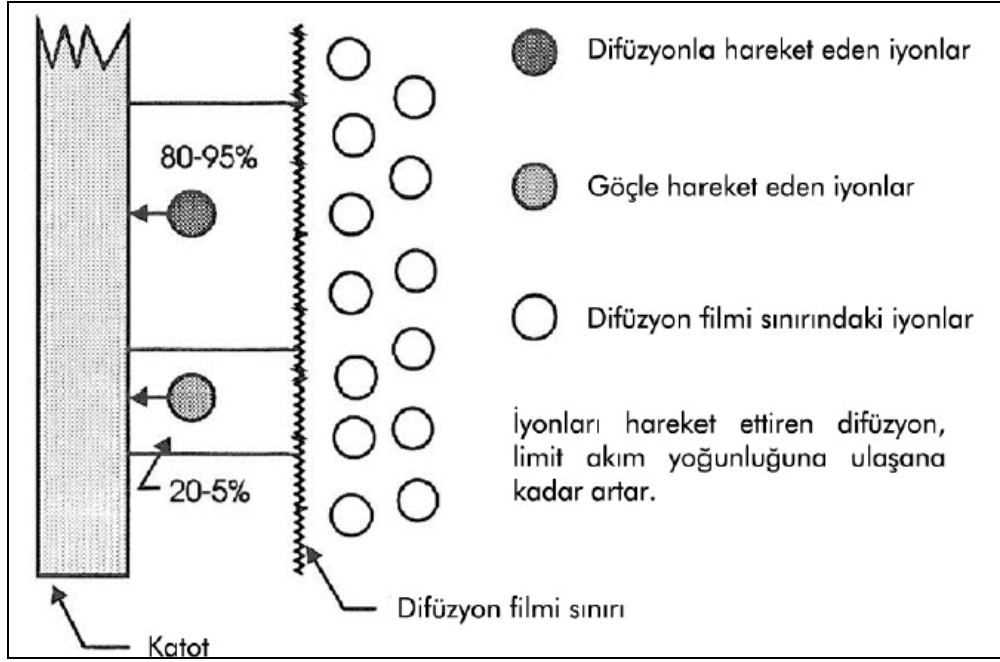
Banyoda kaplanan malzemenin yapısı ve görünüşü esasen bu film tabakasının fiziksel, kimyasal ve elektriksel koşullarına bağlıdır. Eğer bir akışkana daldırılmış, temiz bir metal yüzeyi üzerindeki akışkan, hareket ederse; metalin yüzeyinde hareket etmeyen, yüzeye yapışan ince bir akışkan tabaka daima oluşacaktır. Oluşan filmin kalınlığı sıvının akışkanlık derecesine de oldukça bağlıdır. Akışkan ne kadar kalın ise metal yüzeyinde oluşan film tabakası da o kadar kalın olur.

### **3.3.1 Difüzyon oluşumu**

Elektrikle kaplama işlemi aslında bir kütle nakletme işlemidir. Elektriksel göç ve konveksiyon metal iyonlarını katoda doğru hareket ettirir. Faraday Kanununun gereği elektriksel göç ve difüzyonla metal iyonları tükenmiş film tabakasından veya katmanından geçen iyonlar katoda ulaşır. Yükün çoğu difüzyonla taşınır.

Kaplama işlemi esasen difüzyonla tamamlanır. Katoda temas eden sıvı tabakası, durgundur. Bu nedenle, konveksiyonun bir işlevi yoktur ve elektriksel göç de yeteri derecede hızlı değildir.

Şekil 3.12 da sıradan bir asit banyosunda iyonların elektriksel göç ve difüzyonla katot filminden geçişi görülmektedir. Metal iyonlarının büyük çoğunluğunun katotta kaplanması esnasında elektriksel göç işleminin değil de elektriksel olmayan konveksiyon ve difüzyon işlemleri rol oynamaktadır.



Şekil 3.12 Elektriksel göç ve difüzyon [18]

Kaplanılan metalin tanecik boyutu çok önemlidir. Çünkü kaplamanın birçok özelliğini etkilemektedir. Metali oluşturan kristal tanecikleri büyük olursa genellikle metal daha yumuşak ve kolay çekilir. Ayrıca donuk ve pürüzlü görünüşlüdür. Eğer tanecikler daha ince olursa metal daha sert, genellikle daha kırılgen, pürüzsüz ve parlak olacaktır. Bunların yanında gözeneklilik de önemli bir parametredir. Daha ince kristal yapıları kaplamalar, kaba yapıllara göre daha az gözenekli olacaktır. [18]

### 3.3.2 Çekirdeklenme oluşumu

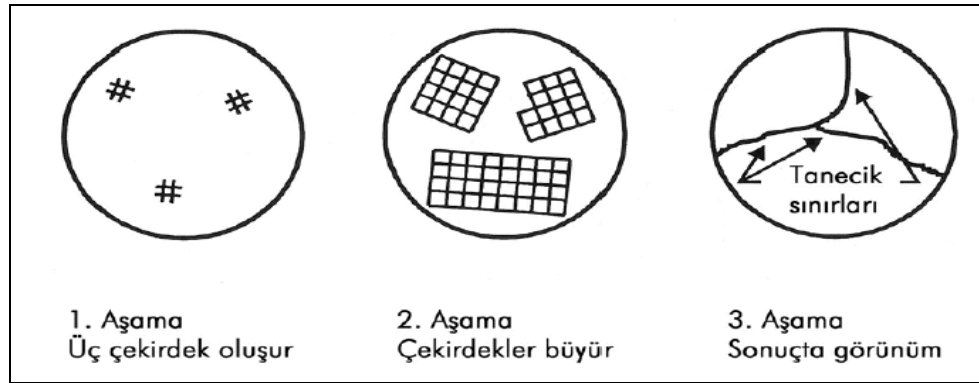
Elektro kaplama işlemi esnasında, kristal oluşumu iki adımda meydana gelir:

- Temel metalin üzerinde kristal çekirdekleri oluşur.
- Bu çekirdekler gelişir ve büyür. [10]

Bu adımlar işlem sürecinde kontrol edilebilir. Kristal çekirdeğin oluşumu sırasında, bunların büyümesinin ve birbirleriyle çakışmasının istenmediği, yani üstün bir kristal yüzeyi elde etmekle sınırlanmış olduğunuz şartlarda çalışılması gerekebilir. Bundan başka, eğer çekirdeklerin gelişmesinin istendiği (2.adım) şartlarda çalışılıyorsa kristal çekirdeği yapısı daha büyük olacaktır. Çünkü bu durumda az sayıda çekirdekten başlayacak; bunlar yüzeyleri birbirleriyle temas edene kadar iyice genişleyecektir.

Elektrikle kaplamada kristallerin nasıl büyüdüğünün bilinmesi önemli bir yer tutmaktadır. Belli bir çevrede kristallerin gelişme şekline habit denir. Belli şartlarda oluşan kristalin habitü çalışma şartları değiştiğinde aynı olmaz.

Şekil 3.13 da bazı kristal büyüme habitleri gösterilmiştir. Kristalin böyle değişik yönlere doğru büyümesinin nedeni, farklı çevresel şartlarda farklı yönlere doğru büyümeye zorlanmasıdır.



Şekil 3.13 Kristal çekirdeğinin oluşması ve büyümesi [10]

Elektrokaplama da genelde büyüme habitü sütun şeklindedir. Yani yanlara doğru büyüme hızı, dikey büyüme hızından düşüktür. Bu tip kristal oluşumuna alan yönlendirmeli büyüme (elektrik alanının yönünde büyüme) olarak adlandırılır. Bazen levha tipi kristal gelişimi gözlenir. Bu oluşum genelde banyoya kimyasal etmenler eklenerek elde edilir. Buna taban yöneltmeli büyüme denir. Bazen de iğne yapılı kristaller görülür. Fakat genellikle yanık, kusurlu ve dallanmış kaplamalardır. İğne şekilli büyüme ağaç gibi dallanır. Doğal olarak daha değişik şekiller olabilir.



Kaplamada kristal çekirdek büyüklüğünün kontrol yöntemleri;

- İyice parlatılmış temel metalin üzerine kaplama yapılması
- Akım yoğununun artırılması
- Kaplama banyosunun direnci düşürülmesi
- Basit değil karmaşık ( kompleks ) metal iyonları kullanılması
- Banyo sıcaklığı düşürülmesi
- İlave kimyasallar kullanılması

Kristal boyutunu büyütme için;

- Kaba taneli temel metalin üzerine kaplanır
- Akım yoğunluğu düşürülür
- Kaplama banyosunun direnci artırılır
- Basit metal iyonları kullanılır
- Karıştırma uygulanır

Kristalde çekirdekleşme; doğru sayıda atom, kısa bir zaman dilimi içinde aynı yere ulaştığında başlar. Çekirdek yapısı oluşurken, dışardan enerji alır. Çünkü, artık burada yeni bir yüzey oluşmaktadır. Yeni bir yüzey oluşurken enerji harcanmasının nedeni; atomların katot yüzeyine dışardan enerji almalarından dolayıdır. Böylece oluşum kolaylaşır ve oluşum hızı artar.

Temel metalin yüzey yapısı çekirdek yapısına etki eder. Çünkü, çekirdek oluşumu işlemini etkiler. Temel metal ince çekirdekli ve / veya iyice parlatılmış ise atomların düzensiz olduğu çok sayıda bölge bulunur. Çekirdek sınırları genellikle düzensizdir. Bu düzensiz bölgeler, çekirdeklenmenin başlaması için çok elverişlidir. Çünkü kaplama çözeltisinden gelen atomlar buralara kolaylıkla tutunabilir.

Yüzeyde daha fazla sayıda düzenli atom bulunması diğerine göre çekirdek oluşumunu zorlaştıracaktır. Bu da çekirdek oluşum hızını biraz yavaşlatacak ve sonuçta ince çekirdekli kristal yapı oluşacaktır. Bununla beraber, bu durum kaplama oluşumuna tek başına yön vermez. Çünkü belirli bir kaplama kalınlığına

ulaşıldığında, çekirdek yapılarında büyüme eğilimi gösterir. Bazı çekirdekler diğerlerini baskı altına alır veya içersine alır.

Çözeltiliye bir şey katılarak kristal büyüklüğü ayarlanabilir. Belli bir büyüklüğün üzerinde olmasına izin verilmez. Önemli olan küçük kristaller elde etmektir.

Çekirdek boyutunu kontrol etmenin bir diğer yolu ise; kaplanan atomların sahip olduğu enerjiyi artırmaktır. Eğer daha fazla enerjiye sahip olurlarsa, yerleşecekleri yeni yüzeyden çok fazla bir enerji almalarına ihtiyaç kalmaz. Sonuçta temel metalin birim yüzeyinde oluşan çekirdekler daha küçük ve daha fazla sayıda olacaktır.

Değişik metallerin birbiri üzerine kaplanabilmesi için, bir minimum denge potansiyeli bulunmaktadır. Bu minimum değerde, akım yoğunluğu çok küçük, dolayısıyla katot yüzeyine ulaşan metal iyonları da oldukça düşüktür. Ayrıca, yüzeye ulaşan her bir atomun enerjisi de benzer şekilde düşük olacaktır. Bu atomların her biri enerji eşiğini atlayabilecek enerjiye sahiptir.

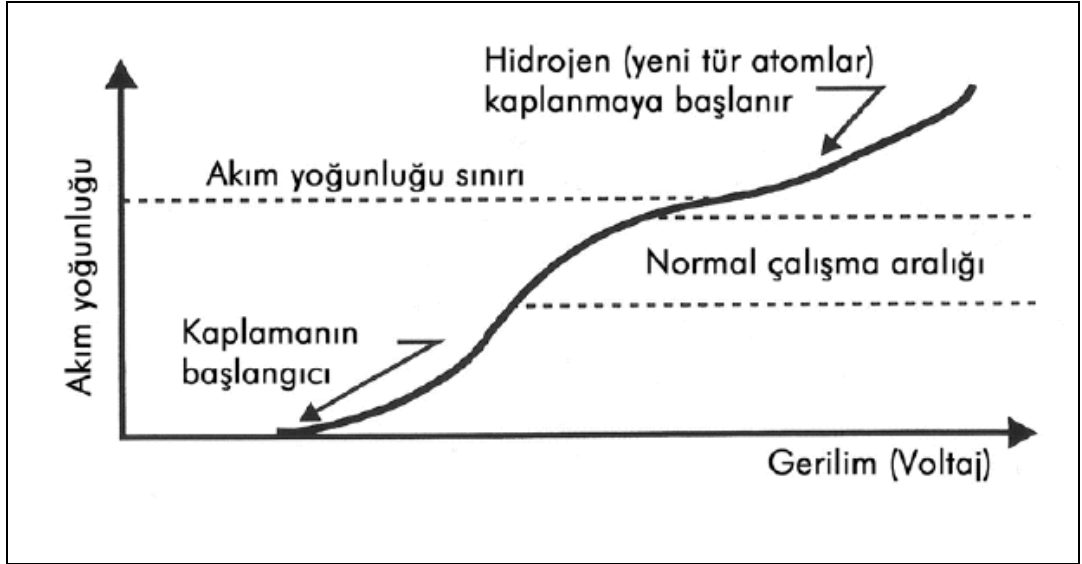
Kristal habiti değişik yönlerde gelişebilir. Çoğu durumda, kristal elektrik akımının yönünde hızla büyür (katot yüzüne dik açılı şekilde). Daha yoğunlaştırılmış bir çözeltide ve daha yüksek akım yoğunluklarında birim yüzeye giden metal iyon sayısı artar. Metal döküm, bu yöntemle çok benzer bir şekilde yapılır. Kristaller soğuk döküm duvarlarından sıcak bölgelere doğru gelişir.

Kaplama banyosuna ilave kimyasallar eklenerek, bazı kristal yüzeylerini absorbe ederler. İstenen de büyümenin o yüzlerde bitmesidir. Bu, parlaticıların temel ilkesidir. Kristalin çok fazla büyümesini engelleyerek; kristal boyutunun küçük olmasını ve böylece parlaklığı sağlamasıdır. Asıl önemlisi, kristal yüzeylerinden başlayarak değişik yönlere doğru üniform büyüme olmasını ve böylece daha pürüzsüz ve üniform yüzey sonuçları elde edilmesini sağlamasıdır.

### 3.3.3 Akım değişimi

Kaplama işlemi esnasında hangi olayların meydana geldiği akım yoğunluğu – gerilim grafiğinde de görmek mümkün olabilir (şekil 3.14).;

Gerilim sıfırdan yükseltilmeye başlandığında ilk başlarda olulebilir bir değer elde edilmez. Örneğin bakırın teorik olarak kaplanabileceği gerilime ulaşıldığında, bakır kaplanması için ortam koşullarına göre gereken denge gerilimlerinde çok kucuk bir akım olulebilir. Gerilim, değişik polarizasyon formlarının (aktifleşme, Omik) eşik gerilimlerini aşacak şekilde yükseltilmeye devam edilirse akım yoğunluğunda ani bir sıçrama görülür ve kaplama başlar. [10]



şekil 3.14 Elektro kaplama işleminde akım yoğunluğu-gerilim [10]

Bu noktadan öteye gerilim yükseltilmeye devam edilirse akım yoğunluğunda göreceli olarak daha büyük artışlar olur ve uygulamadaki kaplama burada yapılır. Gerilimdeki yükselme devam ettikçe artık akım yoğunluğu gittikçe daha az artmaya başlar ve kısa bir süre sonra maksimum noktaya ulaşır. Bu maksimum nokta, kaplanan metalin belli kaplama koşullarındaki akım yoğunluğu sınırıdır.[10]

Akım bu sınıra ulaştıktan sonra, gerilim hala artırılmaya devam edilirse hidrojen ve / veya başka iyon türleri (örneğin; kirlilik) kaplanmaya başlayacak ve akım yoğunluğunda tekrar keskin bir artış olacaktır. Bu durumda kararmış, pürüzlü ve

tozlu görünümlü bir kaplama elde edilecektir. Kaplama işlemi esnasında bu gibi durumlar kaplama kalitesini düşüreceğinden sakınılması gereken bir durumdur.

Akım yoğunluğu arttıkça anotta daha çok iyon çözünür ve iyon konsantrasyonu kaplama oluşumuna yetecek kadar yükselir. Başka bir ifadeyle, çözeltildeki metal tuzları arttıkça; bir kısmı çözeltide kalsa bile bir kısmı da kaplanır. Bu tıpkı yalıtkan filmin oluşmasına benzer bir durumdur ve anotta Omik gerilim oluşmasına neden olur.

Öte yandan gerilim yükseldikçe elektrik akımı da yükselir, yalıtkan gazlı – sıvı veya katı bir film oluşumuna neden olan yeni bir anodik reaksiyon meydana gelir. Bu olduğunda gerilim yükselecek fakat uygulamada akım akmayacak ve metal çözünmeyecektir. Bu duruma anot polarize olmuş denir. Aşırı yüklenmiştir ve duraklamıştır. [10]

Gerilimin dolayısıyla akım yoğunluğunun belirsiz miktarda artırılması ince kristal yapı oluşumuna yol açmaz. Bu işlemde bir sınırı vardır. Belli bir akım yoğunluğuna kadar diğer değişkenler eşit davranırlar, bu aşıldığında kaplama ince çekirdekli olmadığı gibi, banyodaki yabancı maddelerin kaplama yüzeyine metal atomlarıyla beraber taşınması nedeniyle yanık, koyu ve bozuk renkli olur. Bunun meydana gelmesinin nedeni belli şartlarda belli bir çözeltide belirli miktarda akım taşıyabilir.

Eğer potansiyel çok fazla artırılırsa metal iyonları da diğer iyonlar gibi bu durumu koruyamazlar. Büyük oranda hidrojen kaplanmaya başlar ve katot verimi düşer. Hidrojen iyonları tüketildiğinden katot yakınlığında pH artar (birim hacimde daha az hidrojen iyonu) ve kaplama bazik yapılar içermeye başlar.

Katottaki metal atomları ciddi şekilde tüketilmeden, atomlarının enerjisinin artmasına izin verilen bir durumda, kristal denge büyüklüğüne erişecek kadar küçük çekirdek oluşma imkânı vardır. Kaplama banyosunun direncinin düşürülmesi ve diğer değişkenlerin sabit tutulması küçük kristal boyutu elde edilmesinde yardımcı olur. Çünkü yüksek akım yoğunlukları banyonun uçtan uca geriliminin

artırılmasıyla mümkün olur, bir başka açıdan bu durumda katottaki potansiyel düşümü daha büyük olacaktır.

Bu işlem şöyle gerçekleşir; elektrik akımıyla katoda taşınacak bol miktarda metal iyonu olduğundan emin olunmalıdır. Yani çözeltideki metal iyonu konsantrasyonunun artırılması çözeltinin iletkenliğini de belli oranda artıracaktır. Bu da belli bir gerilimde yüksek akım yoğunluklarına ulaşılmasına, böylece birim zamanda katoda ulaşan atom sayısının artırılmasına imkân verir. [10]

Bundan başka katoda ulaşan metal atomlarının enerjisi ve sayısı artırılarak daha küçük çekirdek boyutu elde edilebilir. Dolayısıyla kristal denge boyutu daha küçük olacaktır. Bu uygulamaların her ikisi de gerilim ile kontrol edilmektedir. Enerjinin içeriği ile birim alana saniyede ulaşma miktarı arasında doğrusal ve doğrudan bir ilişki yoktur. Kısaca; katot yüzey tabakasında kaplanmaya hazır çok sayıda metal iyonu bulunmalıdır. Bu metal iyonları çok miktarda enerjiyi sahiptir.[10]

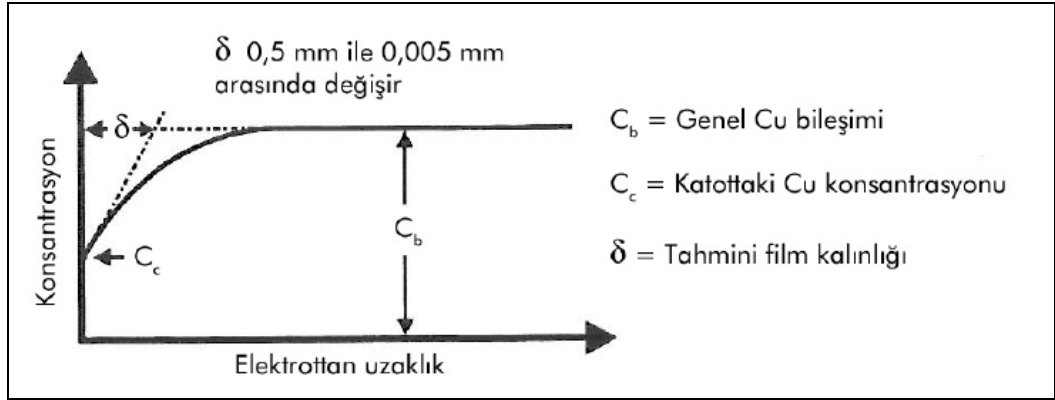
Burada kaplama banyosunun iletkenliğini artırmak yardımcı olabilir. Yani gerilim düşmelerinin çoğu katot ile kaplama çözeltisi arasındaki yüzeyde olur. Belli bir enerjiye sahip metal iyonları katot yüzeyine çarparlar. Başka bir deyişle belli bir ortalama gerilimde enerjinin çoğu ara yüzeyde olur.

### **3.3.4 Kaplama filminin kalınlığı**

Kontrolün sağlanması için film tabakasını kalınlaştıran ve inceltten sebeplerin bilinmesi önemlidir. Film, yapısı gereği hatasız tanımlanamaz ve değişik yapılarda birkaç tabakadan meydana gelmiştir. [18]

Bilindiği gibi sistemin bir tarafı metal-sıvı ara yüzeyi, diğer tarafı da çözeltiden oluşmaktadır (Şekil 3.15). Bu yolla tanımlanmış katot tabakası kalınlığı karıştırmaya (ajitasyon), sıcaklığa, akım yoğunluğuna ve bileşimine bağlıdır.

Film kalınlıklarındaki farklılığın sebebi direnç farkı ve süredir.



Şekil 3.15 Katot filmi kalınlığı [18]

Film kalınlığının kontrolü için genel kurallar aşağıdaki gibidir.

- Sıcaklığın artırılması filmi inceltir.
- Karıştırma hızının artırılması filmi inceltir.
- Akım yoğunluğunun artırılması filmi inceltir.
- Metal iyon konsantrasyonunun artırılması filmi inceltir.
- Diğer tuzlardan eklenmesi filmi kalınlaştırılabilir.

### 3.4 Kaplama İşleminde Etken Faktörler

#### 3.4.1 Akım yoğunluğu

Hücre koşullarında katot tepkimesi, en düşük negatif değere sahip yük bırakma potansiyelindeki tepkimedir. Benzer şekilde anot tepkimesi en küçük pozitif potansiyele sahip tepkimedir. Herhangi bir tepkimenin gerçekleşmesi için uygulanacak gerilimin bu iki değer farkından büyük olması gerekir. Elektrotların polarizasyonu akımla değiştiğinden, akım ve gerilim arasındaki ilişki doğrusal değildir. Fakat gerilimdeki artış akımda bir artışa neden olur. [15]

Kaplamada önemli olan desimetre kare başına çekilen amper büyüklüğüdür ( $A / dm^2$ ). Amperin yüzey alanına bölünmesi akım yoğunluğu olarak bilinir. Kaplanan yüzey göz önüne alınmış olması nedeni ile katottaki akım yoğunluğu önemli bir değişkendir. Belirli bir sürede akım yoğunluğundaki artış, biriken metal

miktarındaki artışa neden olur veya belirli kalınlıktaki birikim için daha hızlı kaplama prosesini sağlar. [10 -15]

$$C = I / A \quad (3.4)$$

Akımı yalnız bırakırsak;

$$I = C \times A \quad (3.5)$$

Kaplamacılıkta akım yoğunluğunun bilinmesi katotta gerçekleşen kaplamanın miktarını ve özelliğini etkilediğinden dolayı çok önemlidir. Akım yoğunluğuna bakılarak; değişik özellikte ve boyutlardaki cisimleri kaplarken aralarında bir karşılaştırma yapılabilir. İyi bir kaplama sonucu elde edebilmek için belli kaplama banyolarında belli akım yoğunlukları kullanılmaktadır. [10]

Önerilen akım yoğunluğunun üzerine çıkıldıkça kaplanan kaplama yanmış, tozlu ve gevrek bir hal almaya başlar. Örneğin; sıradan bir bakır sülfat banyosu için akım yoğunluğu aralığı  $A/dm^2$  dir. Bu aralık katottaki akım yoğunluğu değeri içindir.  $2.2 A/dm^2$ 'nin üzerine çıkılırsa koyu kahverengi ve tozlu hale gelir ki bu da “ yanık kaplama ” olarak adlandırılır.

Düşük akım yoğunluklarında çalışırken; belirli bir kalınlıkta bir kaplama elde etmek için numunenin kaplama tankında kalma süresi uzayacağından, belli bir sürede bitirilebilen kaplama işi de azalacaktır. Bu da üretim kalitesinin düşmesine neden olacaktır. Öyleyse kaplama tankındaki işi en kısa sürede bitirmek için, uygulanacak limitler dâhilindeki en yüksek akım yoğunluğunda çalışmak en faydalı olanıdır.

Anot yüzeyinde katotta olduğu gibi bir akım sınırı vardır. Bu değer üzerine çıkılırsa anottaki metal çözünmeyi reddedebilir. Anot duraklar ve çözünmez hale gelir. Bu duruma anot polarize olmuş denir. Örneğin; bir asitli bakır kaplama tankında anot akım yoğunluğu değerinin  $2 A / dm^2$  olması gerekiyorsa, tankın anodunun bu akımı taşıyabileceğinden emin olunması gerekir.

Akım yoğunluğunun artışının kaplamanın yapısı bakımından iki karşı etkisi vardır. Akım yoğunluğu artınca kristallerin oluşma hızı artmış olur ve kaplama daha 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 sonucunda kaplama homojen olmaz ve kalite bozulur. Siyah ve süngerimsi kaplamalara yol açar. Katotta fazla hidrojen çıkışı akım yoğunluğunun artmış olduğuna işarettir.[15]

Akım yoğunluğunu, artırmak genelde polarizasyonu artırır. Katot tabakası daha çabuk fakirleşir. Yüksek polarizasyonda yapılan kaplamanın yüzey yapısı ve görünüşü kötüdür. Polarizasyon ve optimum çalışma değerleri arasındaki dengenin iyi kurulmasını gerektiren sebeplerden birisi de budur.[10]

### **3.4.2 Kaplamada akım verimi**

Faraday'ın ilk kanunu kesin bir doğa kanunudur. Belli çözültiden bir miktarda akım geçirildiğinde belli miktarda madde çözülmüş halden katı hale geçer. Bunun tersi de doğrudur. Böylece kaplama çözültisine uygulanan belli miktardaki elektrik belli miktarda metal kaplanmasını sağlar.[10]

Kaplama çözültisine (elektrolit) akım uygulanabilmesi için enerji gereklidir. Elektrotlar arasında gerilim farkı olmaksızın Coulomb (amper – saat) oluşmayacaktır. Her metalin diğerlerinininkinden farklı olarak denge halinde olan çökeltme veya ayrışma gerilimi vardır. Bu nedenle örneğin bir asitli bakır çözültisinde bakır katot ile bakır kaplama çözültisi arasındaki gerilim farkı 0,34 Voltu geçtikten sonra bakır kaplanmaya başlanacaktır. Banyoya bu gerilim uygulanırsa sınır değeri aşılmadığından hiçbir şey olmaz. Çünkü bu düşük gerilimde sadece bir kaç Coulomb elektrolite sevk edebilecektir. Okunabilir bir değer için daha yüksek bir gerilim uygulamak gerekir. Daha yüksek gerilim farkı uygulandığında ampermetrede akım okunur ve kaplama başlar.



Kaplamacı için katodun / anodun Coulomb verimi hem daha yararlı hem de hesaplaması daha kolaydır.[10]

Kısaca katot verimi;

$$KatotVerimi = \frac{(GerçekteKaplananMetalMiktari) \times 100}{(TeorikOlarakKapanabilecekMetalMiktari)} \quad (3.6)$$

Veya

$$e_c = \frac{(GerçekteKaplananMetalMiktari) \times 100}{(Faraday'inİlkKanununaGöreMetalMiktari)} \quad (3.7)$$

Anot içinde anot verimi olarak;

$$KatotVerimi = \frac{(GerçekteÇözünenMetalMiktari) \times 100}{(TeorikOlarakÇözünebilmekMetalMiktari)} \quad (3.8)$$

Veya

$$e_c = \frac{(GerçekteKaplananMetalMiktari) \times 100}{(Faraday'inİlkKanununaGöreÇözünebilmekMetalMiktari)} \quad (3.9)$$

Bu oranlar hesaplama açısından daha önemlidir. Çünkü uygulanan Coulomb miktarı ne kadar kaplama yapılacağını veya ne kadar metal çözüleceğini verir. Katot veya anot verimi metal kaplamak için ne kadar elektrik (Coulomb) kullanılacağını ölçülmesi işlemidir.[10]

Kaplama işlemi esnasında uygulanan coulombun tamamı yararlı şekilde kullanılmaz. Bir kısmı başka bir reaksiyonda kullanılır. Eğer banyoda metalle birlikte biraz da hidrojen kaplanması gibi bir durum söz konusu ise, enerjinin bir kısmı faydası olmayan, hatta zaman zaman kaplamaya zararlı olan bu duruma harcanyor demektir. Yahut katotta veya anotta bilinmeyen başka bir kimyasal

reaksiyon oluşuyor olabilir. Esasında katot veriminin anlamı kullanılan toplam elektriğin (Coulomb) ne kadarının metali kaplamak için harcadığıdır. Gerisi boşa gitmiştir.

Katot ve anot verimi her çalışma şartında aynı değildir. Bir asitli bakır banyosunda katot verimi pratikte % 100'e ulaşabilir. Oysa standart bir krom banyosunda % 14 gibi düşük bir değer alır. Yani verim kaplanan veya çözünen metalin cinsine bağlıdır. Verimi etkileyen diğer büyüklükler,

- Banyonun kimyasal bileşiği
- Kullanılan akım yoğunluğu
- Sıcaklık
- Kaplama banyosunu karıştırma

Bu değerler kontrol edilerek en yüksek verim elde edilebilir. Daha verimli katot daha az elektrik enerjisi kaybı ve verilen işi belirli bir akımda daha çabuk bitirme anlamına gelir. Eğer banyonun katot verimi sadece % 50 ise bu belli bir sürede tam verimde kaplanabilecek metalin yarısının kaplandığı anlamına gelir. Maksimum akım yoğunluğunda çalışıldığı varsayılırsa, % 100 akım veriminde kaplanılan sürenin iki katı sürede kaplandığı anlamına gelir. [10]

Başka bir önemli nokta anot ve katot veriminin mümkün olduğunca birbirine yakın olması gerektiğidir. Bunun nedeni açıktır. Eğer katot verimi anot veriminden yüksek olursa kaplama çözeltisindeki metal iyonları tükenir ve çalışma koşullarını tekrar kazanabilmesi için bakıma gerek vardır. Bu da hem zamandan hem de işgücünden kayıp demektir.[10]

Anot verimi katot veriminden yüksek olduğu zaman kaplama çözeltisi metal iyonları bakımından gittikçe zengin hale gelir. Fazla metal iyonları er geç banyonun çamurunda çökecek veya çözeltide mevcut bulunan asit veya alkali kökleriyle birleşerek çözeltinin normal pH değerini yükseltecek veya düşürecektir. Bu durum da banyoyu normal çalışma değerlerine döndürmek için zamana ihtiyaç olacaktır.[10]

Aslında anot veriminin katot veriminden çok az bir miktar büyük olması, çözeltiyeye fazladan biraz metal karışmasına neden olması ve bunun da banyoda kaplanan malzemeyi çıkarırken üzerine giden metali dengelemesi nedeniyle istenen bir durumdur. Kaplama ve kirlenme kontrolünde malzeme çıkarılırken üzerinde giden bu az miktardaki çözeltinin büyük önemi vardır. [10]

Çoğu kaplama banyosunda anot ve katot verimleri çalışma açısından yeterli derecede bilinir. Eğer çalışan kaplama banyosunun anot veya katot verimini belirlememiz gerektiren bir durum varsa en basit yöntem anodun ve katodun tartılması, sonra da belli bir akımda ve sürede kaplama yapılmasıdır.[10]

Kaplama boyunca her beş dakikada bir akım değeri ölçülür ve sonunda bunların ortalaması alınır. Kaplama tamamlandığında anot veya katot durulanır, kurutulur ve tartılır. Tartımdan sonra; [10]

$$KatotVerimi = \frac{(KatodunİlatAğırılığ) - (KatodunSonAğırılığ)}{(OrtalamaAkım) \times (SaatOlarakSüre) \times (FaradaySabiti)} \quad (3.10)$$

$$KatotVerimi = \frac{(AnodunİnoAğırılığ) - (AnodunSonAğırılığ)}{(OrtalamaAkım) \times (SaatOlarakSüre) \times (FaradaySabiti)} \quad (3.11)$$

Özetle;

- Anottan, katottaki kaplanan metale akan elektriğin etkisi belirlediğinden katot ve anot verimleri kaplamda çok önemlidir.
- Enerji ve zamandan tasarruf etmek için ( zaman daha önemlidir ) katot verimi mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. ,
- Anot ve katot verimlerinin birbirine hemen hemen eşit ve banyonun uzun süreli dengeli çalışması için eğer mümkünse anot veriminin katot veriminden çok az yüksek olması arzu edilir.
- Eğer anot ve katot verimleri arasında büyük fark varsa kaplama banyosu hızla bozunacak, normal çalışma koşullarını tekrar sağlamak için zamana ve iş gücüne ihtiyaç olacaktır.

- Anot ve katot verimleri metallerinin özelliklerine, kaplama banyosunun kimyasal bileşimine, banyonun sıcaklığına, akım yoğunluğuna ve karıştırmaya bağlıdır. Her metal kendi özelliklerine göre kaplanır. [10]

### 3.4.3 Limit akım yoğunluğu

Bir kaplama banyosunun akım yoğunluğu kademe kademe artırılacak olursa, farklı uygulamalarda farklı büyüklükte olmasına rağmen bütün uygulamalar için katottaki metal iyonları konsantrasyonunun sıfır olacağı bir akım yoğunluğu değeri vardır. Sebebi ise, bu değer aşıldıktan sonra kaplanan (akan) her metal iyonunun katot yüzeyine olabildiğince çabuk ulaşmasıdır.

Bu noktada konsantrasyon farkı (sürücü kuvvet) en büyük değerine ulaştığından difüzyon işlemi de verilen koşullar için maksimum hızına ulaşır. Bu akım yoğunluğuna limit akım yoğunluğu denir. Böyle adlandırılmasının sebebi; artık akım yoğunluğu artırılırsa bile difüzyon işlemi Faraday Kanununun gerektirdiğinden daha fazla miktarda metal iyonunu ara yüzeye ulaştıramayacak, eskisi gibi devam edecektir. [10]

Uygulamada bu akım yoğunluğuna ulaşılmadan önce, birikim yeterli ve istenilen özellikte değildir. Elektrolitik kaplamada limit akım yoğunluğu terimi yeterli birikimin elde edilemediği değer üzerindeki değeri ifade eder. Bu değer üzerinde birikim, koyu ve pudramsı veya sün gerimsi görüntüde olabilir. [15]

Limit akım yoğunluğu değeri hücre koşullarına ve metal iyonlarının derişimine bağlıdır. Kaplama hızının büyük olması için yüksek derişimler gereklidir.

### 3.4.4 Konsantrasyon ve karıştırma

Kaplama yapısı üzerinde konsantrasyonun etkisi oldukça büyüktür. Konsantrasyon yüksek olduğunda, kristallerin oluşum hızı büyük olacağından ince yapılı ve temel metale iyice yapışık, sağlam bir kaplama elde edilir. Katottaki yerel fakirleşmeyi karşılama amacı ile banyoda kaplanacak malzemeyi hareket ettirmek yararlıdır. [15]

Metal iyonları konsantrasyonun artırılması filmin incilmesiyle eşdeğerdir. Çözeltide daha fazla madde çözülmüş olacağı ve dolayısıyla viskozite artacağından, metal iyonları konsantrasyonunun artırmak filmin fiziksel kalınlığını çok az artırabilir. Fakat viskozitedeki bu çok az artış metal iyonlarının artmasıyla telafi edilir. Difüzyon işlemi konsantrasyon farkı ile gerçekleşir. [18]

Diğer tuzların veya bileşiklerin konsantrasyonunun artırılması genellikle filmi kalınlaştırır veya tam tersi etki eder. Bunun sebebi olarak; bazı maddeler kaplama çözeltisine eklendiğinde viskoziteyi ve dolayısıyla katot / anot filmin kalınlığını çok fazla yükseltilebileceği söylenebilir. Örneğin; elektro polisaj işleminde, gliserin gibi bazı maddelerin elektro polisajın yapıldığı yer olan anottaki viskoziteyi artırmak amacı ile elektrolite eklenmektedir.

Diğer yandan bazı maddelerin kaplama çözeltisinin yakınlarındaki viskozitesini önemli derecede hızlandırılmış olarak yapılan kaplama işlerinde pürüzsüz, sağlıklı bir kaplamanın elde edilmesini sağlayacaktır.

Karıştırma, yani metal iyonlarını çözeltinin ortalarından alarak katot filminde kullanılanların yerine getirmede benzer bir etki yapacaktır. Difüzyon direncini azaltacaktır. Eğer gerilim aynı anda yükseltilmezse ( akım yoğunluğunda da eşdeğer bir yükselme meydana getirir ) kristal boyutu daha küçük olacağına büyük olur. Karıştırma uygulanıyorsa katoda ulaşan bakır iyonları düşük serbest enerjilidir. Diğer hallerde aynıdır. [10]

Normalde çoğu kaplama banyosunda karıştırma aşağıdaki yöntemlerden biriyle yapılır;

1. Katot hareketi, yatay (en çok kullanılan yatay hareket), düşey veya dönerek olabilir.
2. Çözeltinin içine gaz üfleme (en çok hava kullanılır).
3. Pervaneyle karıştırma.
4. Çözelti pompalama
5. Ses veya ultrasonik (ses üstü) titreşimler.

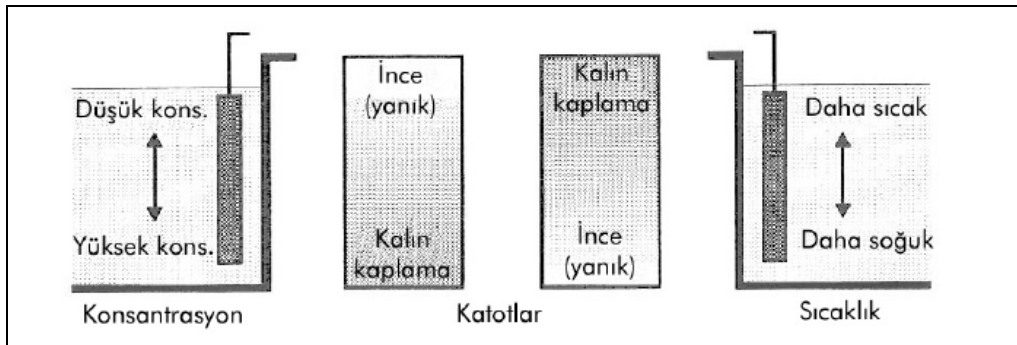
Kaplama banyosunda karıştırma kullanmanın üç amacı vardır:

1. Banyonun her yerindeki sıcaklığın aynı olmasını sağlamak.
2. Zorlamalı yayınma yolu ile metal iyonlarını kaplanacak malzemenin yüzeyine getirmek.
3. Katot difüzyon filminde biraz değişiklik yapmak

Karıştırma hızının artırılması fiziksel süpürme nedeniyle film tabakasını inceltir. Gittikçe artan hızlanmanın durgun tabakayı uzağa doğru hareketlendireceği açıktır. Uygulamada her şey kuvvetler arasındaki dengeye bağlıdır. Metal yüzeyindeki sıvı moleküllerini bir arada tutmaya çalışan bir çekim kuvveti vardır. Aynı zamanda molekülleri yüzeyden itmeye çalışan bir karşıt kuvvet de vardır. İtme kuvveti artırılırsa ne kadar büyük olursa olsun çok ince bir durgun tabaka mutlaka kalır [18]

Karıştırma uygulanmayan ve içinde sıvı hareket etmeyen bir kaplama banyosunda bir film tabakasının oluşmasının nedeni, bir kaplama banyosundaki sıvı karıştırma uygulanmasa dahi hareket halinde olmasıdır. Akışkan, katot yüzeyini süpürerek yukarı yükselir, anot yüzeyini süpürerek aşağıya doğru hareket eder.

Bir kaplama banyosunda karıştırma kullanılmadığında doğal konveksiyonun taze metal iyonlarının katoda getirilmesi sağlanmış olur. Bu işlem Şekil 3.16 de gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Katmanlaşmanın etkileri [18]

Ağır tabakalar aşağıya doğru çökerken hafif tabakalar yukarıda kalır. Tabakalaşma en çok ağır metal iyonlarını içeren viskoz çözeltiler de görülür. Bununla birlikte doğal sirkülasyona dayanan tüm kaplama çözeltilerinde bir süre sonra bu durum görülür. Bu durum meydana geldiğinde anlamı şudur; metal iyonlarının

konsantrasyonu ve çözeltideki diğer malzemeler aşağıdan yukarı doğru yer değiştirmiş ve o yüzden katot filminde de aynısı olmuştur. Bu nedenle kaplama da aynısını yapar.

Kaplama banyosundan alınan malzemenin alt kısımlarının daha kalın kaplanmış olduğu veya alt taraftaki kaplamanın oldukça iyi görünüşte, üst kenara yakın kısımdaki kaplamanın ise yanık olduğu durumlarla karşılaşılabilmektedir. Bunun sebebi, homojen olmayan katot filmidir.

Bu durum karıştırmaz veya zayıf karıştırmalı kaplama banyolarındaki benzer bir duruma dikkat edilmelidir. Bu termal katmanlaşmadır. Termal katmanlaşma sıcaklık katmanlarını ifade eder. Örneğin; alttaki katmanlar üsttekilere göre daha soğuk olabilir.

Bu durumda kaplamanın üst kısımlarının görünüşüm iyi olduğu halde alt kısımlar yanık olacaktır. Bu da yine katot filmindeki değişiklikten kaynaklanmaktadır.

Karıştırma işlemi ne kadar iyi olursa, katot filmi ile banyo ara yüzeyindeki metal iyonu dolumu daha iyi yapılır, katot filmi daha ince olur ve daha homojen bir kaplama elde edilir. Eğer katot tabakasında aynı sabit koşullar her zaman sağlanabilirse, banyoda her zaman aynı cins kaplama elde edilecektir.

### **3.4.5 Sıcaklık**

Sıcaklığı artırmak filmi inceltir. Çünkü kaplama çözeltilisini inceltir ve böylece çözeltilinin viskozitesini düşürür. Viskozitesi yüksek sıvıların daha düşük viskoziteli sıvılara göre daha kalın film tabakası oluşturmaktadır. [18]

Burada filmin incelmeye eşdeğer ikinci bir etki daha vardır. Çözeltilinin ısıtılması daha hızlı hareket etmesine neden olur. Böylece difüzyon filmine doğru hızları artar. Eğer önceki hızları değişmemiş gibi düşünersek bu durum filmin incelmeye eşdeğerdir.

Sıcaklığın artması, difüzyon işlemini hızlandırır ve polarizasyonu düşürür. Çünkü, ısı iyonların daha hızlı hareket etmesine neden olur. Bu nedenle sıcaklıktaki değişim katot filminin değişmesine neden olur.

Kaplama banyosunun sıcaklığı hemen hemen aynı kalması sağlanmalıdır. Çünkü küçük değişimler bile banyoda büyük etkiler yapabilir. İyi bir kaplama banyo reçetesinin yeterince geniş bir çalışma sıcaklığına izin vermesi gerekmektedir. Fakat çok fazla sıcaklık değişimlerinde değişim çok güçlü olur. Bundan dolayı;

- Bir kaplama banyosunda her iki yönde de sıcaklık değişiminin 1 °C den fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Çoğu banyo için tavsiye edilen çalışma sıcaklığı oda sıcaklığıdır.
- Üniform kaplama elde etmek için oda sıcaklığında kaplama banyosunda sıcaklık sabit tutulmalıdır. Banyo sıcaklığı belli bir değere ayarlanmalıdır ve çevre sıcaklığına bakılmaksızın bu değer korunmalıdır.
- Termostatla kontrol edilen bir kaplama banyosunda dahi, banyonun her yerindeki sıcaklık aynı olmayabilir. Bu durum genellikle karıştırmanın her yerde aynı olarak yapılamadığı büyük kaplama banyolarında ortaya çıkar. Böylece banyodaki bazı yerlerin sıcaklığı diğer yerlerden farklıdır. Sıcaklık farkı bulunuyorsa karıştırma artırılmalı veya değiştirilmeli ve / veya ısıtma tertibi değiştirilmeli veya yeniden ayarlanmalıdır. [10 -18]

Banyo sıcaklığını düşürmek ters etki yapar. Atomları yavaşlatarak katot filme doğru difüzyon direncini yükseltir. Bunun anlamı sınırı geçmeleri için daha fazla enerji verilmelidir. Banyo sıcaklığını düşürmek direnci artırır. Öyleyse daha öncekiyle aynı akım yoğunluğu isteniyorsa gerilimin artırılması gerekir. Bu artışın bir kısmı bakır atomlarının sınırı geçmeleri için ihtiyaç duydukları enerjidir.[10]

### **3.4.6 Metal ve elektrolit özelliği**

Elektrolitin ve kaplama banyosunun yapısı; banyoda yüksek konsantrasyonlarda metal iyonları bulunması polarizasyonu düşürür. Bazı bileşiklerde metaller diğerlerine nazaran daha hızlı çözünür. Örneğin bu nedenle nikel kaplam banyosu



saf nikel sülfattan hazırlanır ve nikel anot çözünmez. Eğer sodyum klorür eklenirse banyoya elektrik uygulandığında nikel anot çözünmeye başlar. [18]

Yüzeyin yapısı; bazı yüzeyler kaplamayı diğerlerinden daha aktif olarak kabul ederler. Bu durumda polarizasyona daha fazla eğim vardır.

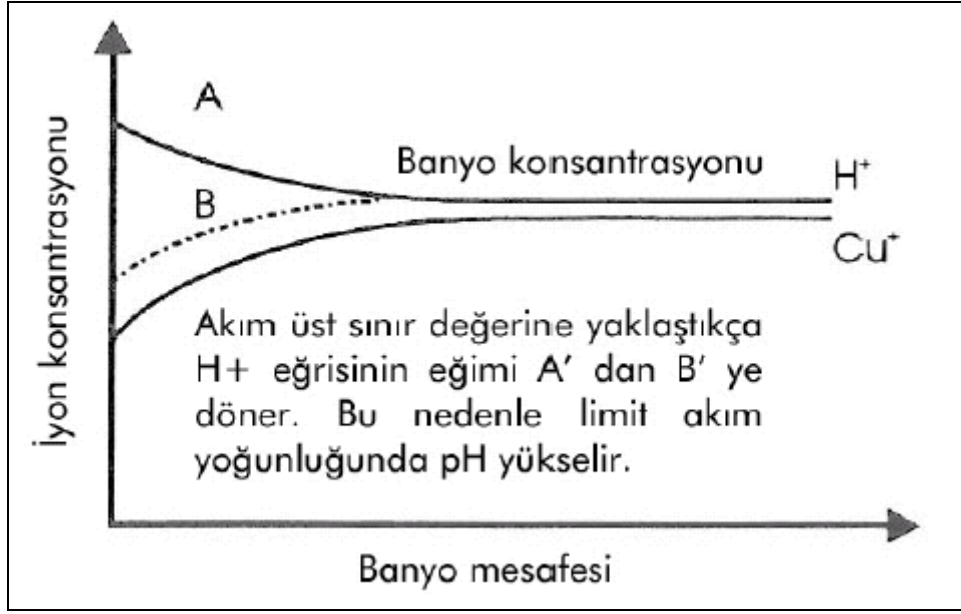
Bir metal yüzeyi başka bir metalle kaplamak için ilk önce kaplanacak yüzeyin temiz olması gerekir. Kirli yüzeye yapılan kaplama her yerde eşit olmayabilir. Ve yüzeye tam olarak yapışmayabilir. [17]

### 3.4.7 pH

Asitlik tüm elektrokaplama çözeltilerinde büyük önem taşımaktadır. Bileşiklerin suda çözünmesiyle elde edilen bütün çözeltiler hidrojen iyonu içerir. Asitlerin çoğu hidrojenin bileşik özelliğinden dolayı kolayca iyonize olur ve çok sayıda hidrojen iyonu suda çözünür.[10]

Bir kaplama banyosunun pH'ını tanımlamanın değişik yolları vardır. pH kâğıdı veya daha hassas olan pH test kâğıdı kullanmak çok basit, çok hızlı ve yeterli olduğundan tercih edilir. Kaplama banyosunun pH' ı banyoya asidik madde eklenerek düşürülür, alkali veya bazik maddeler eklenerek yükseltilir.

Filmin pH' ı banyo çözeltisinin pH' ından daha düşük olacaktır. Çünkü hidrojen iyonları katoda çekilir ve banyoya göre daha asidik hale gelmeye başlar. Akım yoğunluğu biraz yükseltildiğinde, katot daha fazla hidrojen iyonu çekeceğinden katot filminin asiditesi artar. Akım yoğunluğu daha fazla artırıldığında, çevrede yeteri kadar iyon kalmadığından hidrojen kaplanmaya başlar. Akım yoğunluğu artırılıp daha fazla hidrojen iyonu kaplandıkça, katot filminin asiditesi azalır dolayısıyla pH azalmaya başlar. Eğer akım daha fazla artırılırsa katotta bazik bileşikler kaplanacak ve kaplama kötü olacaktır. Bu kaplama genellikle pürüzlü ve koyu olup yanık kaplama olarak adlandırılır. Bu etkinin oluşumu Şekil 3.17'de görülmektedir. [18]



Şekil 3.17 Asitli banyoda katot filmi [18]

Anottaki pH difüzyon filminde olanlara bağlı olarak değişir. Eğer anot % 100 verimle çözülebilir ise oksijen gazı oluşmaz ve yerel iyonu dengesi bozulmaz. Diğer yandan anot verimi % 100'ün altına düşer ve oksijen açığa çıkar. Bu hidrojen iyonlarının artmasına neden olarak dengeyi bozar. Banyonun asiditesinin yükselmesine ( pH azalır ) yol açar ve bu durum bir süre katotta kendini hissettirir.

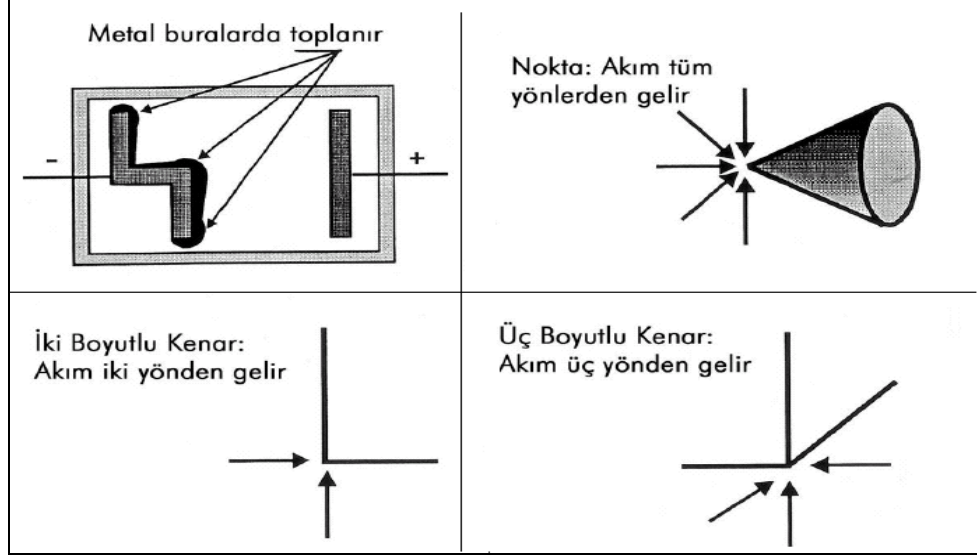
Örneğin; bakır kaplama banyosunda asitli bakır sülfat banyolarında pH kontrolü veya yükseltilmesinde kullanılır. Böyle bir durumda pH' ı düşürmek için belirli bir süre çözünmeyen kurşun anot kullanılabilir. [18]

Genellikle asitli kaplama banyolarında katot verimi anot verimini aşarsa banyo daha asidik hale gelmeye başlar ( pH düşer ). Terside doğrudur. Alkali banyolarda da durum aynıdır.

### 3.4.8 Dağılma gücü ve metalin dağılması

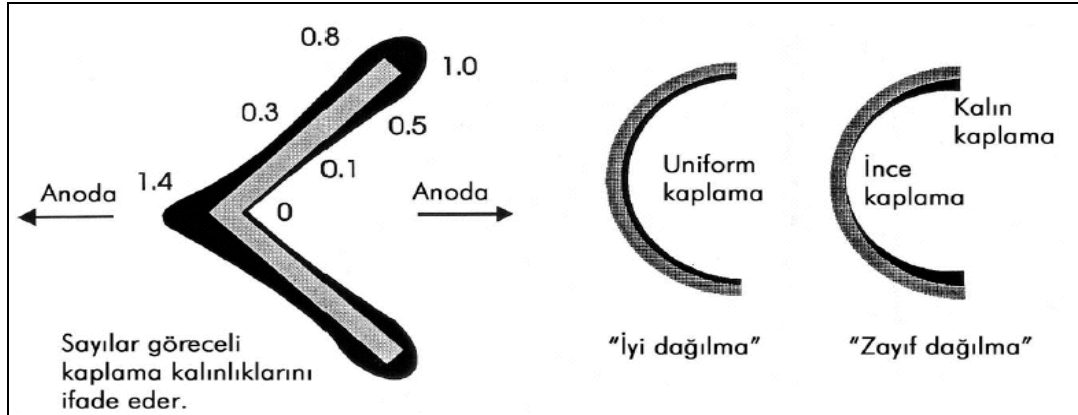
Kaplama banyosu kullanılırken dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi de en iyi dağılma gücünü elde edebilmektir. Çünkü üniform kaplama, daha az metal, zaman ve enerji kaybı yani daha az maliyet demektir.[18]

Bir parça metali kaplama tankına yerleştirdiğimizde metalin çıkık kısmı anoda daha yakın olduğu için elektrik akımı buraya doğru akarken daha kısa bir yol izler. Yani daha düşük bir dirence maruz kalır. Akımda köşelere, kenarlara, sivri noktalara yönelme eğilimi vardır (Şekil 3.18 ).



Şekil 3.18 Kaplamanın dağılımı [18]

Akımla metalin dağılması Şekil 3.19 gösterildiği gibi yapılıdır. Değişik noktalarda metal kaplama kalınlığı katottaki veya kaplanan malzemenin bir bölümündeki akım dağılım yönünün bir göstergesidir. Akımın bu şekilde dağılımı Birincil Akım Dağılımı olarak adlandırılır. Bu tip akım dağılımları asitli bakır banyosu gibi sıradan bakır banyolarında görülür. Çünkü gerilim en az dirençle karşılaşacağı yolu tercih eder.[18]



Şekil 3.19 Kaplamanın dağılıma gücü [18]

Metalin dağılmasına etki eden iki faktör vardır. Bunlar katot verimi ve polarizasyondur. Metalin kendi kendine dağılarak katotta kaplanması usulüne dağılma gücü denir.

Eğer metal Şekil 3.19 da gösterildiği gibi düzensiz bir yüzey üzerine kendi kendine dağılmak suretiyle hemen hemen aynı kalınlıkta olacak şekilde kaplanmışsa, metalin kaplandığı çözeltinin iyi dağılma gücü olduğunu söyleyebiliriz. Eğer uniform kaplanmamışsa kaplama çözeltisinin kötü bir dağılma gücü vardır demektir.

### 3.5 Elektro Kaplamanın Kullanım Alanları

#### 3.5.1 Elektroliz ile çinko kaplama



Şekil 3.20 Elektroliz ile kaplanmış çinko malzemeler [19]

Çinko kaplama genel olarak demir veya metallerin çinko ile kaplanmasıdır. Bu kaplama çinko oksit, sodyum siyanür, hidroksit kimyasalları eriği ile çinko metalin elektroliz yoluyla parçaların üzerine kaplanmasıdır. Bu kaplama, otomotiv,

telekomünikasyon, savunma sanayi, elektrik, inşaat sanayinde kullanılan parçaların korozyona karşı daha uzun ömürlü olmasını sağlar.

Harici bölümlerde kullanılan boyalı malzemelerin, korozyona karşı daha uzun ömürlü olması için boya altı olarak çinko kaplama yapılmaktadır.

### 3.5.2 Elektroliz ile altın kaplama



Şekil 3.21 Elektroliz ile kaplanmış altın malzemeler [19]

Altın, yumuşak ve biçimlendirilebilen bir metal türüdür. Atmosferik koşullar altında kararmaz veya korozyona uğramaz ve kimyasal aşınmaya maruz kalmaz. Altının özgül ağırlığı 19.3' tür ve normal olarak 1 veya 3 değerlidir. Elektriksel direnci düşüktür ve bu anlamda bakırdan hemen sonraki sırada yer alır.[20]

Altın elektronik sanayi ve uzay teknolojisinde, kararma ve donuklaşma direnci, kolaylıkla lehimlenebilirliği, yüksek elektriksel iletkenliği ve kızılötesi (sıcaklık) yansıtıcı karakteristikleri bağlamında, giderek daha da yaygınlaşan bir kullanım alanı bulmaktadır.

Örneğin, radarlarda elektronik aksamalar altınla kaplanır. Radarda kullanılan yüksek frekanslı dalgalar bir iletkenin yüzeyine yakın hareket ettiğinden dolayı, gümüş veya bakır üzerine altın kaplanmaktadır. Gümüş ve bakır daha iyi iletken olsalar da, atmosferin etkisinde kaldıklarında kararır. Bu nedenle yüzeylerine ince bir altın

tabakası kaplanarak hem kararması önlenir hem de iletkenliği sağlanır.

Çok yüksek fiyatı nedeniyle altın metalinin kaplama için çok sık kullanılmayacağı akla gelebilir. Bununla beraber yalnızca 0,025 $\mu$  (mikron) kalınlığında bir altın tabakası, her ne kadar çok ince olsa da üzerine uygulandığı yüzeye altın rengini vermek için yeterlidir.

### 3.5.3 Elektroliz ile bakır kaplama



Şekil 3.22 Elektroliz ile kaplanmış bakır malzemeler [19]

Bakır pembemsi renkte, özgül ağırlığı 8,92 olan bir metaldir (1cm<sup>3</sup> suyun ağırlığı 1 gram iken, 1 cm<sup>3</sup> bakırın ağırlığı 8,92 gramdır). Kolayca biçimlendirilebilir ve elektriksel iletkenlik bakımından gümüşten sonra en iyisi bakırdır. 1 veya 2 değerlikli olabilir.[20]

Bakır çok kullanılan bir metaldir Çünkü yumuşak olup kolay biçimlendirilebilir, kolayca polisaj yapılabilir ve farklı birkaç çözültiden kolaylıkla kaplanabilir. Atmosferin zararlı korozyon etkisi sadece demir için söz konusu değildir.

Bakır metalinin dış tabakaları havadaki oksijenle reaksiyona girerek oksitlendiği için bakırın dış yüzeyi kararır ve kırmızı ile siyah arasında bir renk alır. Asidik atmosferde yeşil renkli bir pas oluşur (bakır pası, bakır yeşili). Bu oksit tabakası koruyucu bir tabaka olarak davranır ve bakırın oksijenle daha fazla reaksiyona

girmesini engeller. Renkteki bu bozulma nedeniyle, eğer kaplamanın orijinal pembe rengini muhafaza etmesi isteniyorsa, bakırla kaplanmış bütün ürünler koruyucu bir lak tabakasıyla kaplanmalıdır. Elektro kaplanmış bakır özellikle hassas olduğundan dolayı havada renk değiştirir.

### 3.5.4 Elektroliz ile nikel kaplama



Şekil 3.23 Elektroliz ile kaplanmış nikel malzemeler [19]

Nikel, katı haldeyken 8.9; kaplanmış haliyle 8,85 yoğunluğunda gümüş renkli bir metaldir. Nikel korozyona karşı yüksek dirençli, oldukça sert ve fazlasıyla güçlü bir metaldir.

Nikel elektrikle kaplaması en sık yapılan metallere biridir. Bunun nedeni; nikel cilalı yüzeyi ile kaplanan maddenin sunulabilirliğine çok şey kattığından dekoratif kaplamada ve korozyona dayanıklı olması özelliği ile korozyona dayanıksız bir maddeyi korumak amacı ile kullanılır. [21]

### 3.5.5 Elektroliz ile gümüş kaplama



Şekil 3.24 Elektroliz ile kaplanmış gümüş malzemeler [19]

Gümüş kolayca şekillendirilebilen, beyaz bir metaldir. Gümüş dekoratif amaçlar için en yaygın kullanıma sahip metallere biri olmakla birlikte, paslanmaması ve yemeklere tadını vermemesinden dolayı çatal-bıçak ve yemek takımlarında kullanılan standart metaldir. Elektrikli kaplanan gümüş, uçak rulmanlarında, sayısız radarın ve elektronik parçaların kaplanmasında kullanılmaktadır. Gümüş kaplama ayrıca, yansıtma amaçlı olarak da yapılır. [22]



#### 4 DENEYSEL ÇALIŞMA

Elektrokimyasal kaplama işlemi kimyasal reaksiyonların sürekli olarak devam ettiği bir prosestir. Bu nedenle birçok faktörden direk veya dolaylı olarak etkilenmektedir. Bu deneysel çalışmada bir elektrokaplama işlemine etki eden başlıca parametrelerin oluşan kaplama yapısını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu parametreler;

- Konsantrasyon
- Akım yoğunluğu
- Sıcaklık

Bu değişkenlerin etkilerinin belirlenmesi için miktarlarında ve seviyelerinde değişiklikler yapılmıştır. Yapılan bu değişikliklerin minimum ve maksimum değerleri incelenerek kaplamaya yüzey görünüşüne ve kesit yapısına nasıl bir etki yaptığı belirlenmiştir.

Kaplanacak numunelerde altlık (matris) olarak; MS 58 pirinç malzeme seçilmiştir. Kaplama işlemi, İstanbul Galvanoteknik Sanayi Sitesi; GAL-TEK Kimya Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Numuneler kaplama kimyasallarından oluşan gümüş kaplama banyosunda elektroliz işlemi ile kaplanmıştır. Kullanılan optimize gümüş banyosu ve koşulları Tablo 4.1 de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Optimum banyo ve kaplama koşulları

Optimize Gümüş Kaplama Banyosu	
KCN g/l	150
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74
P1 Parlaticı g/l	30
P2 Parlaticı g/l	20

Tablo 4.1 (Devamı) Optimum banyo ve kaplama koşulları

Optimize Gümüş Kplama Koşulları	
Sıcaklık °C	25
Akım Yoğunluğu A/dm <sup>2</sup>	2
Zaman (saniye)	255

Kullanılan P1 ve P2 parlaticılar ve özelliği tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 Parlaticı ve özellikleri

Parlaticı	Özelliği
P1 Parlaticı g/l	Genel parlaklık
P2 Parlaticı g/l	Tane inceltme ve dağıtma

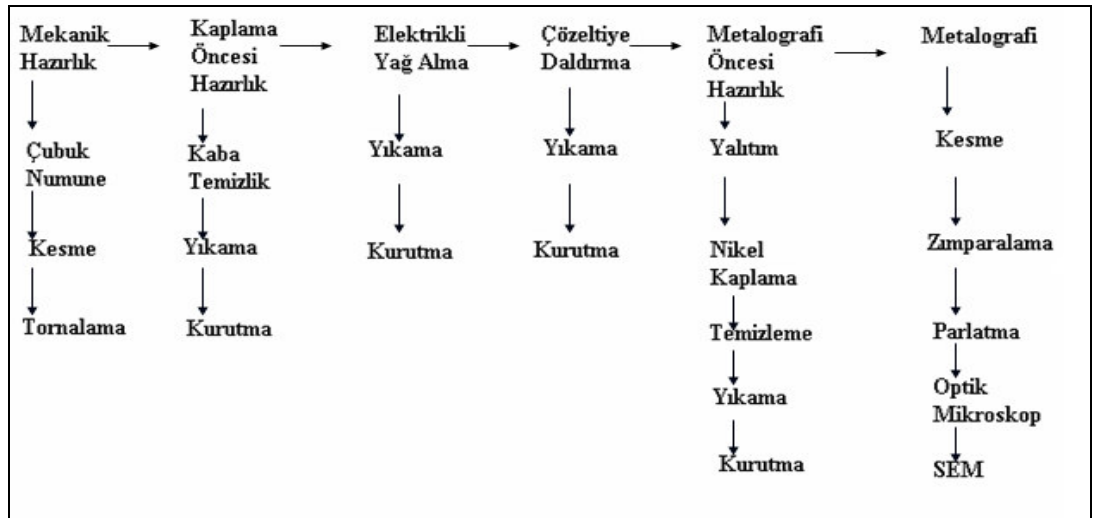
Numuneler görüntüleme için Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında metalografik olarak hazırlanmış ve incelemeler Zeiss AxioTech marka refleksiyon tipi ışık mikroskobu ve Jeol ( JSM 6060 )marka Tarama Elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

#### 4.1 Deneyin Yapılışı

##### 4.1.1 Deney düzeneği ve numunelerin hazırlanması

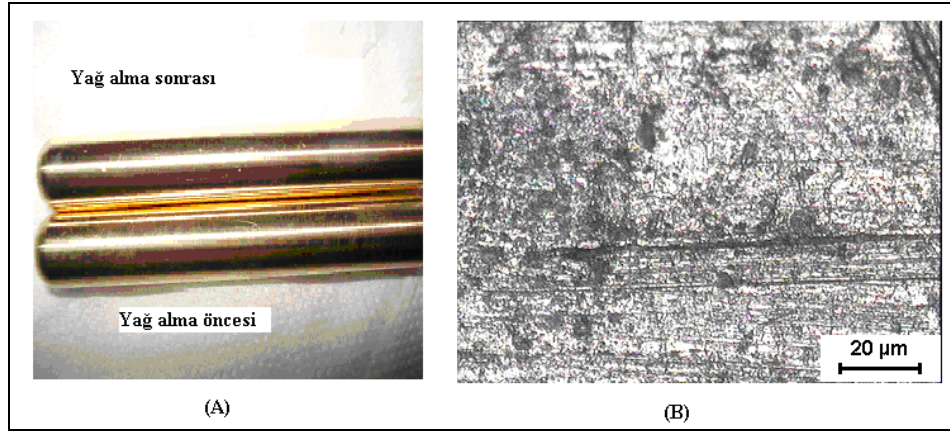
Deney sürecinde yapılan işlemler aşamalar halinde Tablo 4.3 de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Deneysel çalışmanın aşamaları



#### 4.1.1.1 Numunelerin kaplamaya hazırlanması

Birinci aşama da MS 58 pirinç malzeme çubuk halinde 60mm boyunda ve 10mm (tornalama işlemi öncesi) çapında silindirik numune olarak kesilmiştir. Yüzey düzgünlüğünün sağlanması için tornalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tornalama işlemi sonrası yüzey Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



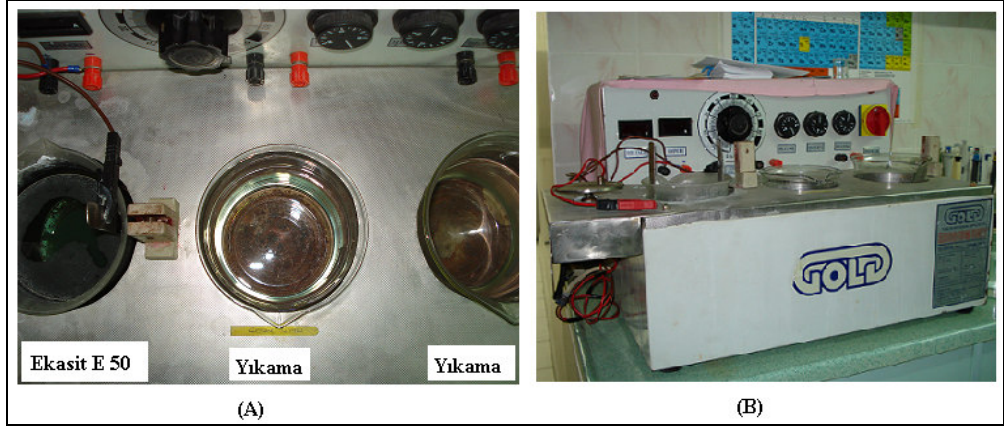
Şekil 4.1 Numunenin kaplama öncesi yüzey (A) ve optik mikroskop (B) görüntüleri

Yağ alma işlemi öncesinde numune üzerindeki kirliliklerin kabaca temizlenmesi için trikloroetilen solüsyonuna daldırılmıştır.

Numuneler kaplama işlemine geçilmeden önce elektrolitik yağ alma ünitesinden geçirilmiştir (Şekil 4.2) . Yağma alma ünitesi ( Şekil 4.3 A üstten görünüş B önden görünüş) iki litre sıcak suda 100 g çözülmüş Ekasit E 50 kimyasalından oluşmaktadır.

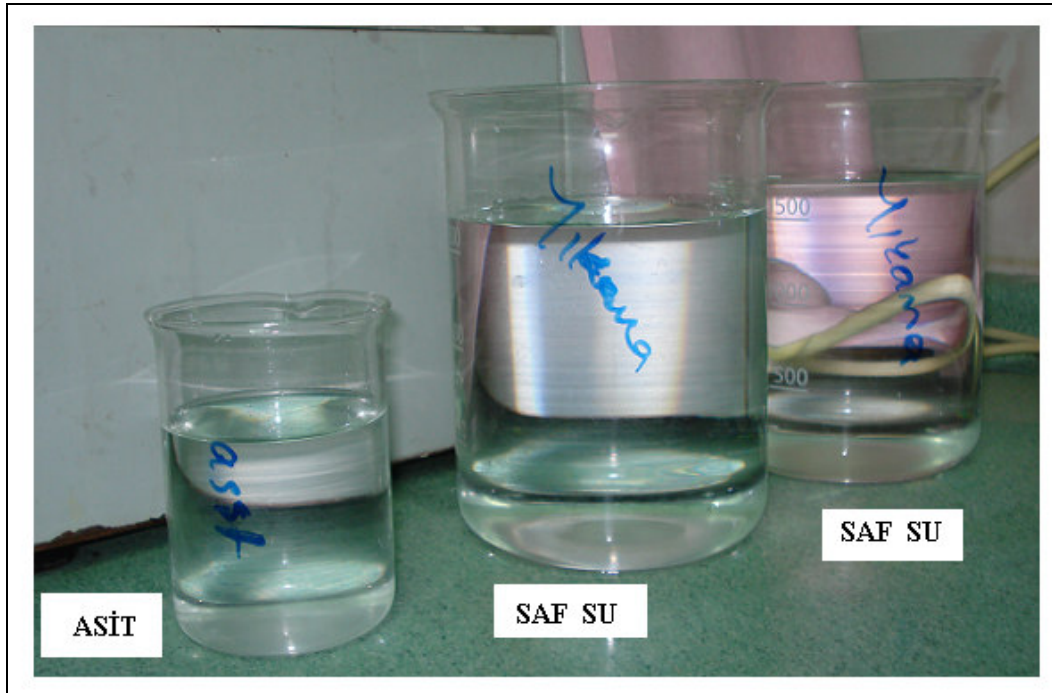


Şekil 4.2 Numunenin kaplama öncesi yağ alma işlemi



Şekil 4.3 Yağ alma işlemi ünitesi

Elektrolitik olarak temizlenen numuneler ve kaplamadan çıkan numuneler yıkama için asit banyosu ( %6' lık  $H_2SO_4$ ) ve saf su içeren havuzlara daldırılmıştır (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Yıkama işlemi ünitesi

Numune banyoya kolayca daldırılabilmesi için bir ucuna vida kaynak edilmiş çelik bir çubuk ucuna monta edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Numune tutucusu

Elektriksel yağ alma veya kaplama işleminden çıkan numuneler yıkandıktan sonra kurutulmak için önce basınçlı havaya tutulmuş ve ardından 120 derecede etüvde beş dakika beklenmiştir (Şekil4.6).



Şekil 4.6 Etüv fırını

#### 4.1.1.2 Kaplama çözeltisinin hazırlanması

Numuneleri kaplarken kullanılan çözelti konsantrasyonlarında sürekli değişiklik yapılmıştır. Ancak genel olarak çözelti hazırlanırken tartımı alınan bileşenler sıcak suda eritilerek birleştirilmiştir. Parlaticıların eklenmesinden sonra, çözelti saf su ile bir litreye tamamlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Bileşenlerin çözelti olarak hazırlanması (A)  $KAg(CN)_2$  (B)  $KCN$  (C) çözelti hali

#### 4.1.1.3 Kaplama sistemin hazırlanması

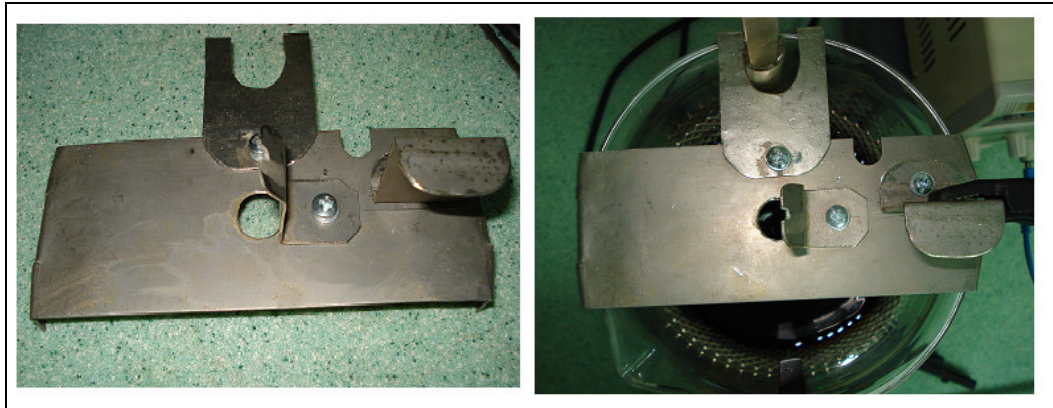
Kaplama işleminin gerçekleşmesi için numune ve çözeltinin yanında bir doğru akım kaynağına, iyonları taşıyacak bir anoda, çözeltinin karışmasının sağlayacak mekanik bir etkiye ve bütün bunları bir araya getiren bir düzeneğe ihtiyaç vardır.

Bir elektrokimyasal kaplamada anot ayrışan metal olarak bilinmektedir. Ancak bu deneyde hazırlanan gümüş kaplama çözeltisi anot görevini görürken kullandığımız  $1,5\mu$  platin kaplı DSA platin elek anot iyon taşıyıcısı olarak görev yapmıştır (Şekil 4.8).



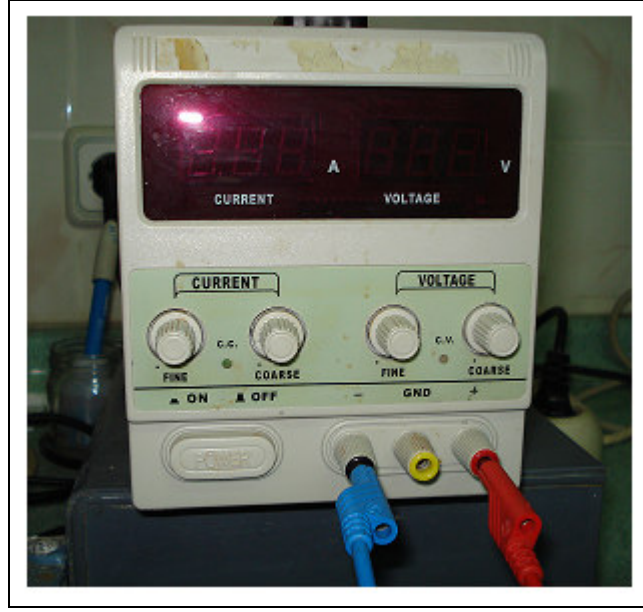
Şekil 4.8 DSA Platin elek anot

Numunenin kaplama esnasında sabit kalması için haznenin üst kısmına bir aparat yapılmıştır. Bu aparat sayesinde hem numune sabit kalmış hem de artı ve eksi uçların düzeneği sağlanmıştır (Şekil 4.9 ). Çözeltinin homojen olarak karışması için banyo içine manyetik balık atılmıştır.



Şekil 4.9 Numune tutma aparatı

Akım kaynağı olarak bir doğru akım kaynağı olan redresör kullanılmıştır(Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Doğru akım kaynağı

Bütün bunların hepsi bir kaplama sistemini oluşturmaktadırlar. Kaplamanın gerçekleşebilmesi için bu bölümlerin bir araya getirilmesi ve uygun bir şekilde birbirine bağlanması gerekmektedir. Bu deney kurulumunda Şekil 4.11 de görüldüğü gibi bu faktörler bir araya getirilmiştir.



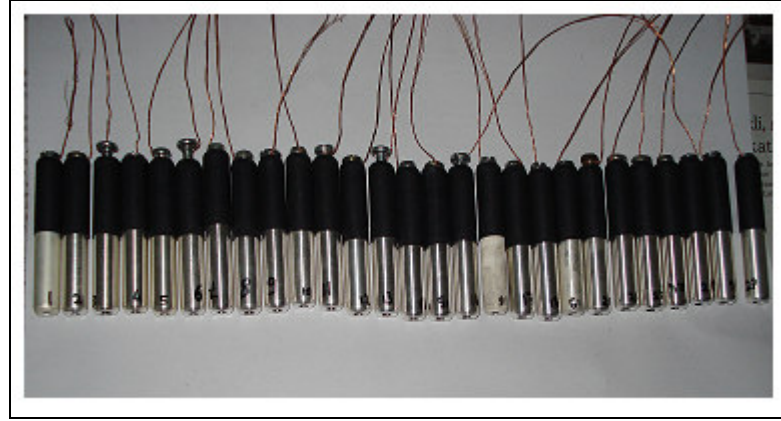
Şekil 4.11 Kaplama sistemi



#### 4.1.1.4 Numunelerin metalografik olarak hazırlanması

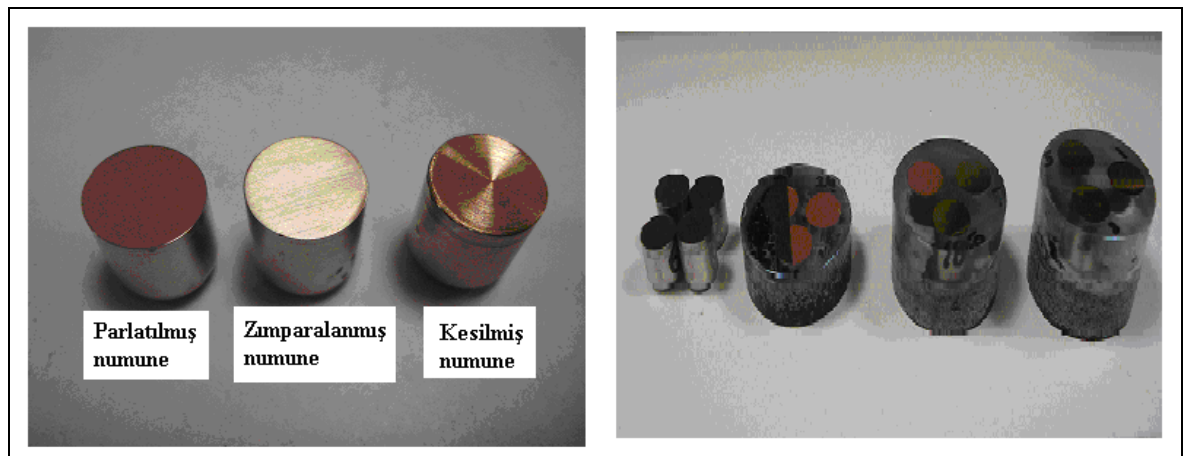
Kaplama işlemi ardından numunelerin optik mikroskop ve SEM' de kesit incelemesi için metalografik olarak hazırlanmıştır.

Metalografik hazırlama esnasında gümüş kaplamanın deforme olmasını engellemek amacı ile numuneler yarısına kadar nikel kaplanmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Numunelerin ön hazırlığı

Numuneler nikel kaplı kısmından 3cm uzunluğunda kesitler alınmıştır. Alınan bu kesitler kalıplandıktan sonra zımparalama ve parlatma işlemlerine geçilmiştir. Zımparalama işlemi sırasıyla 320 – 600 – 1000 mesh' lik zımparalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi çelik disk ile yapılmıştır.



Şekil 4.13 Numunelerin metalografi öncesi kalıplanmış numuneler

#### 4.2 Kaplama Deneyinin Yapılışı

Daha önceden de belirtildiği gibi, deney konsantrasyon, sıcaklık ve akım yoğunluğu parametrelerinin değiştirilmesi sonu elde edilen verilere dayanmaktadır. Bu değişkenlerin etkisi incelenirken diğer parametreler optimum noktada sabit kalmıştır.

Deneyin akış şekli Tablo 4.4 de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.4 Deney değişkenlerinin akış tablosu

Numune	Oran %	P1 ml/l	P2 ml/l	KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	KCN g/l	Sıcaklık °C	Akım Yoğ. A/dm <sup>2</sup>	Kütle Değişimi g	Zaman (sn)
N 1		0	0	74	150	25	2	0,1038	255
N 2	25	7,5	0	74	150	25	2	0,0965	255
N 3	50	15	0	74	150	25	2	0,0964	255
N 4	75	22,5	0	74	150	25	2	0,0925	255
N 5	100	30	0	74	150	25	2	0,0972	255
N 6	25	30	5	74	150	25	2	0,0936	255
N 7	50	30	10	74	150	25	2	0,0973	255
N 8	75	30	15	74	150	25	2	0,1094	255
N 9	100	30	20	74	150	25	2	0,0969	255
N 10		60	60	74	150	25	2	0,0933	255
N 11		20	40	74	150	25	2	0,0976	255
N 12		30	40	74	150	25	0,2	0,1157	2580
N 13		30	40	74	150	25	1	0,0964	510
N 14		30	40	74	150	25	3	0,0947	170
N 15		30	40	74	150	25	5	0,0805	85
N 16E		30	40	74	150	25	8	0,0955	63
N 16	25	30	40	18,5	150	25	2	0,0963	255
N 17	50	30	40	37	150	25	2	0,0982	255
N 18	75	30	40	55,5	150	25	2	0,0953	255
N 19	25	30	20	74	37,5	25	2	0,0969	255
N 20	50	30	40	74	75	25	2	0,0948	255
N 21	75	30	15	74	113	25	2	0,0939	255
N 24		30	40	74	150	15	2	0,0957	255
N 25		30	40	74	150	35	2	0,0986	255
N 26		30	40	74	150	50	2	0,0967	255
N 27		30	20	74	150	65	2	0,0929	255

#### 4.2.1 Konsantrasyon değişimi

Konsantrasyon değişimi incelenirken diğer etken faktörler sabit tutulmuştur. Aynı sıcaklık ve akım değerleri kullanılmıştır.

##### 4.2.1.1 Parlaticı konsantrasyonu değişimi

P1 konsantrasyonu değişimi Tablo 4.5 de gösterilmiştir. İlk numunede hiçbir parlaticı kullanılmazken, ilk deney serisinin sonunda P1 miktarı % 100'e kadar çıkarılmıştır. Ancak ortamda halen P2 mevcut değildir.

Tablo 4.5 P1 konsantrasyon değişim tablosu

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
Değişkenler		25%	50%	75%	100%
P1Parlaticı ml/l	0	7,5	15	22,5	30
P2Parlaticı ml/l	0	0	0	0	0
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74	74	74	74	74
KCN g/l	150	150	150	150	150
Sıcaklık °C	25	25	25	25	25
Akım Yoğunluğu A/dm <sup>2</sup>	2	2	2	2	2
Kütle Değişimi gr	0.1038	0.0965	0.0964	0.0925	0.0972
Zaman (saniye)	255	255	255	255	255

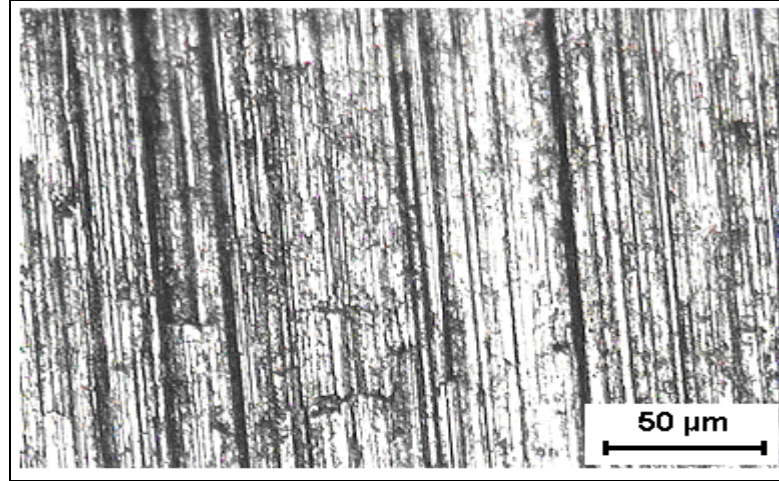
Bu deneylerin her basamağında çözeltiliye kaplanan gümüş miktarı tekrar ilave edilmiştir. P1 miktarı %100'e tamamlandıktan sonra, burada sabit bırakılmış ve çözeltiliye P2 eklenmeye başlanmıştır. P2' de sisteme %25' lik oranlarda ilave edilmiştir. Bu serinin değerleri Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6 P2 konsantrasyon değişimi

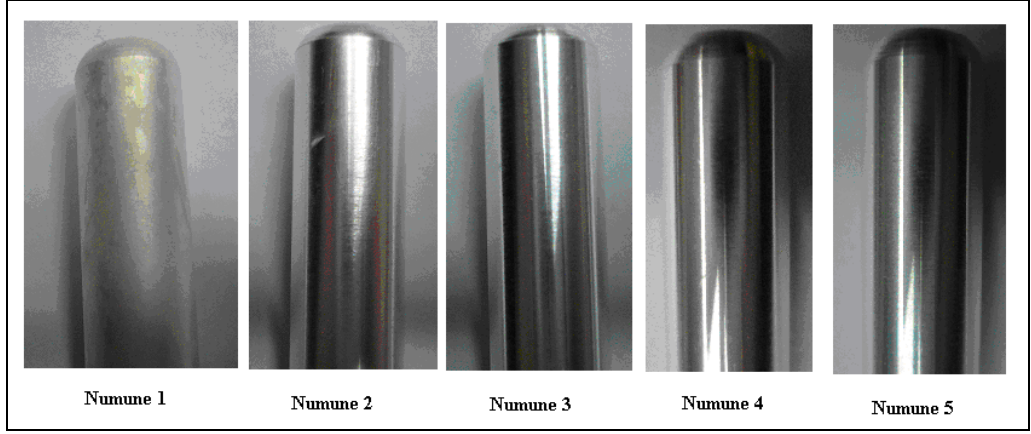
	Numune 6	Numune 7	Numune 8	Numune 9
Değişkenler	25%	50%	75%	100%
P1 Parlaticı ml/l	30	30	30	30
P2 Parlaticı ml/l	5	10	15	20
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74	74	74	74
KCN g/l	150	150	150	150
Sıcaklık 0C	25	25	25	25
Akım Yoğunluğu A/dm <sup>2</sup>	2	2	2	2
Kütle Değişimi	0.0936	0.0973	0.1094	0.0969
Zaman (saniye)	255	255	255	255

P1 ve P2' nin % 100 olduğu konum optimum konumdur ve bu da dokuz nolu deneyde (numunede) görölmüştür.

Elde edilen yüzey görüntüleri aşağıda numune sıralamasına göre verilmiştir. Burada sadece minimum ve maksimum değerlerin parlatılmış optik mikroskop ve SEM görüntülerine yer verilmiştir. Öncelikle Şekil 4.14' de henüz kaplama yapılmamış numunenin yüzeyi görölmektedir.

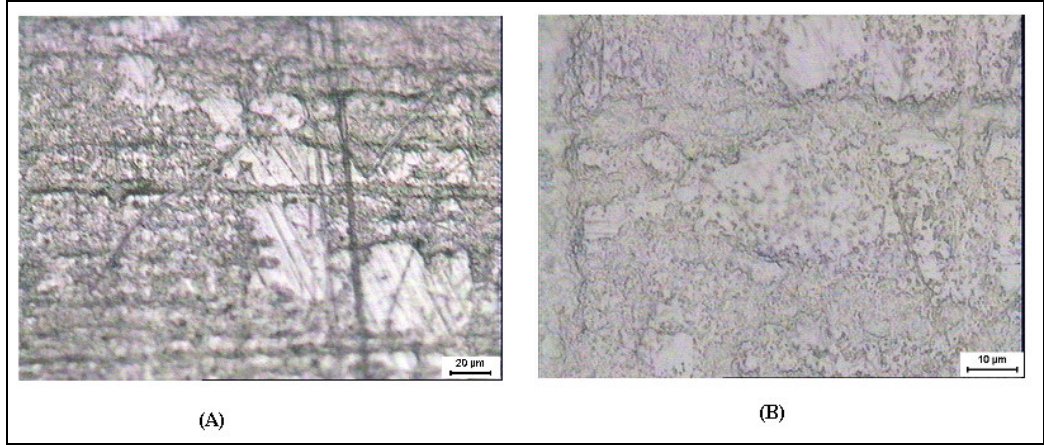


Şekil 4.14 Kaplama yapılmamış yüzey

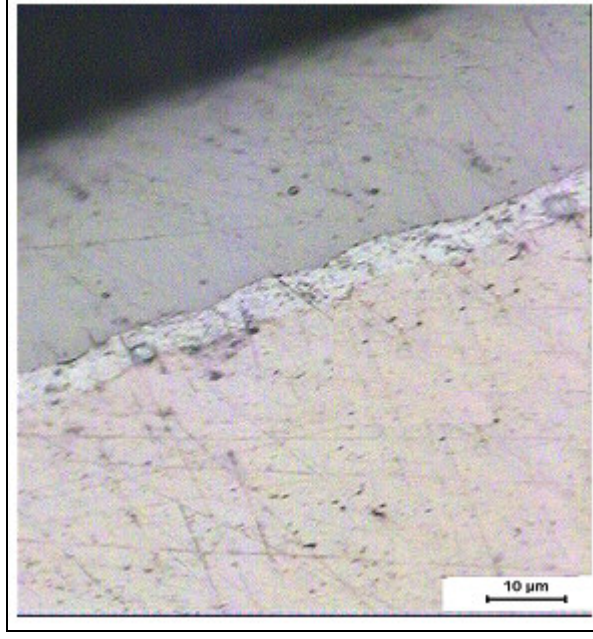


Şekil 4.15 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü

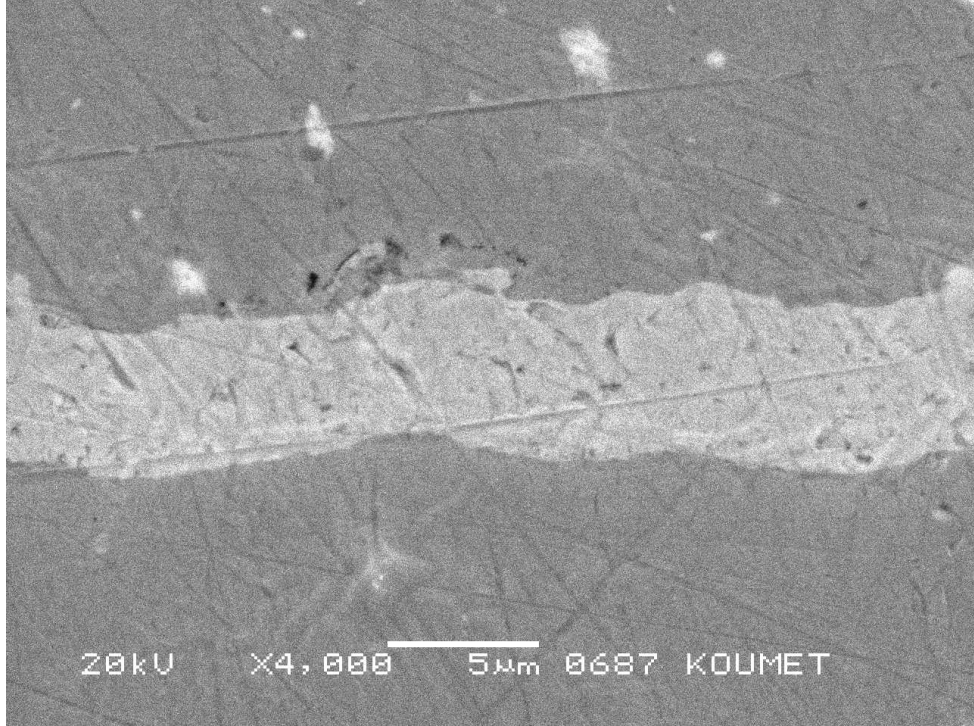
Numune 1;



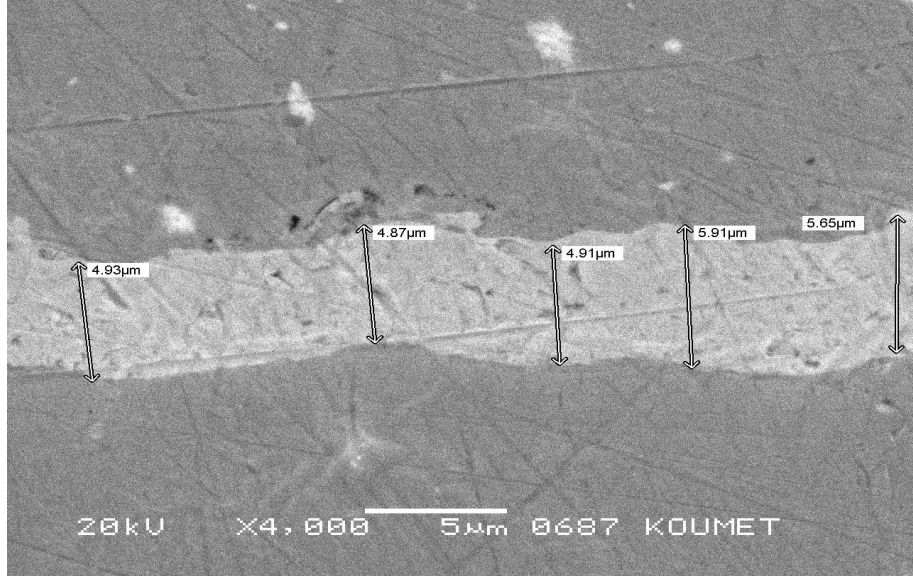
Şekil 4.16 Numune 1 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



Şekil 4.17 Numune 1 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri

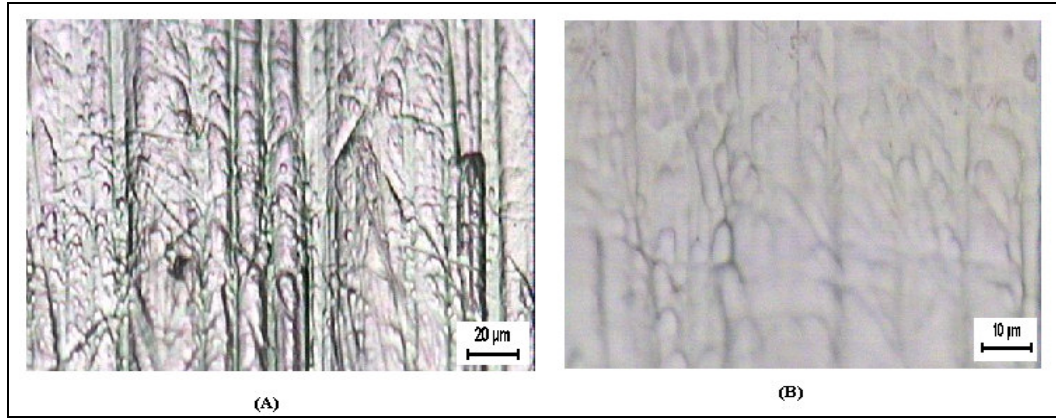


Şekil 4.18 Numune 1 parlatma sonrası SEM görüntüleri



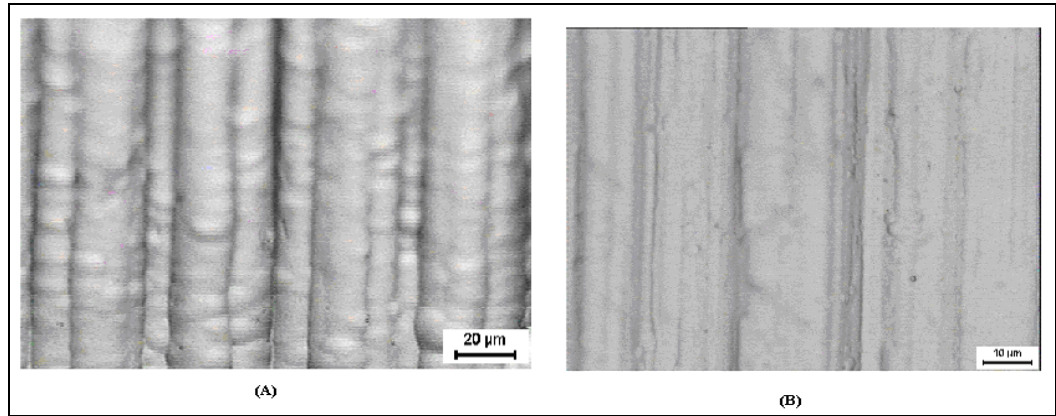
Şekil 4.19 Numune 1 parlatma sonrası SEM görüntüleri

Numune 2;



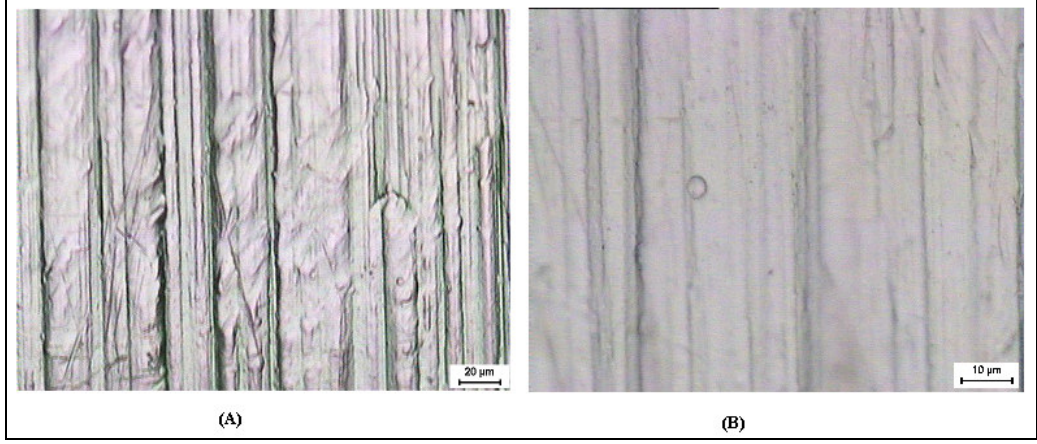
Şekil 4.20 Numune 2 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 3;



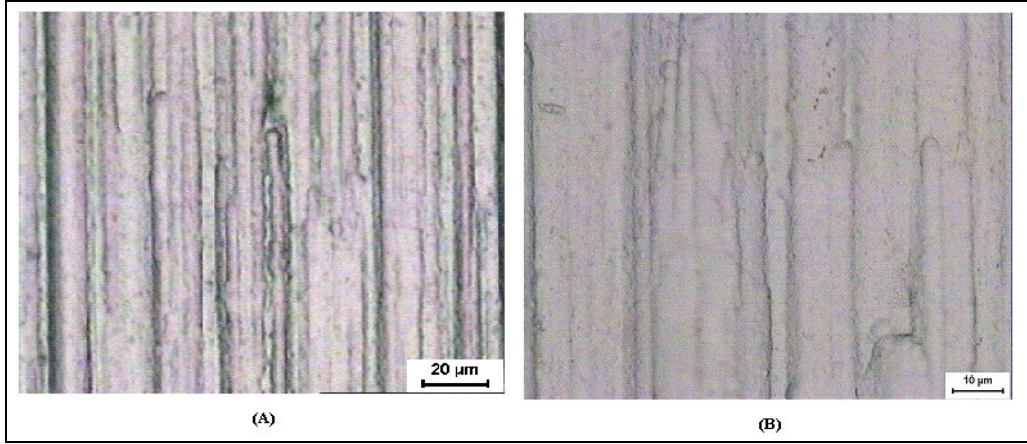
Şekil 4.21 Numune 3 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 4;

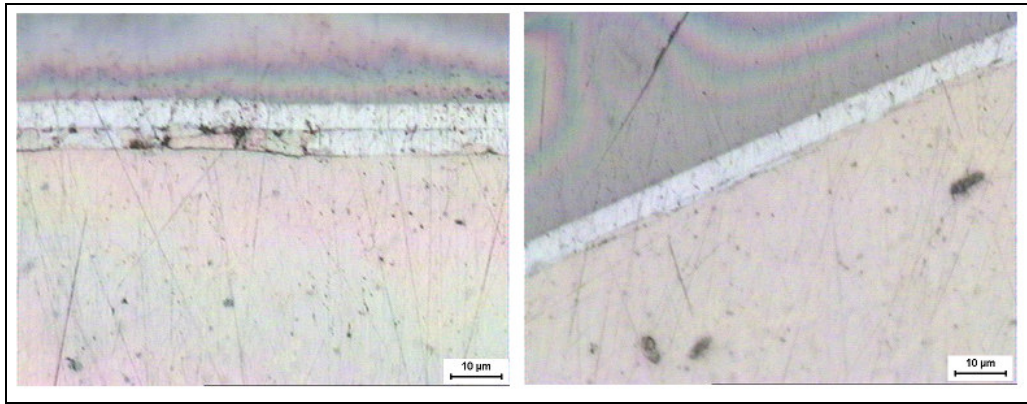


Şekil 4.22 Numune 4 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 5;

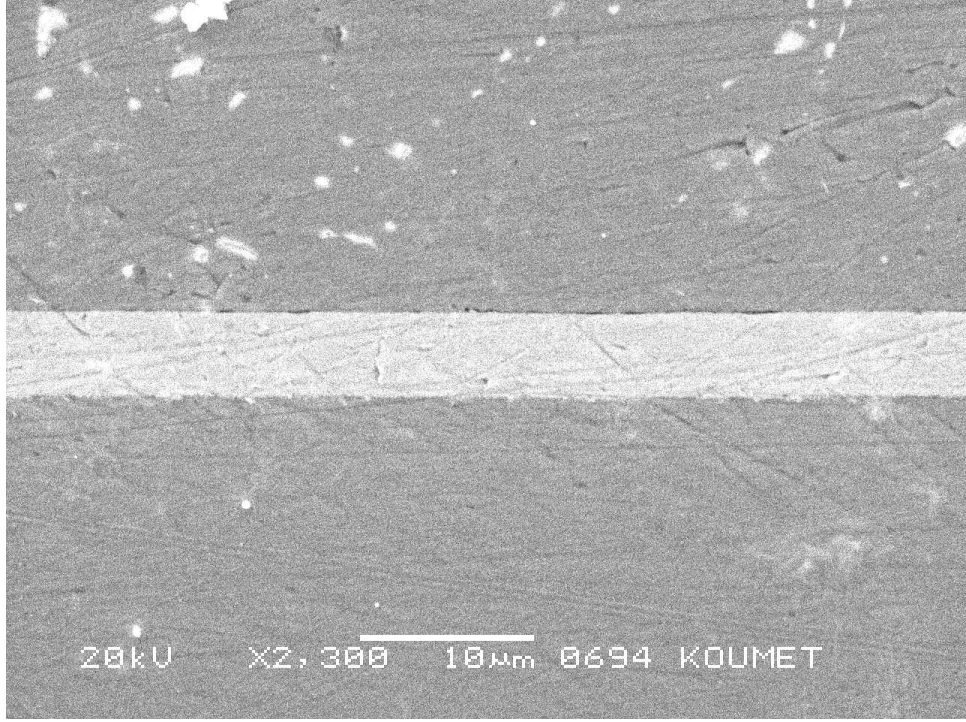


Şekil 4.23 Numune 5 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

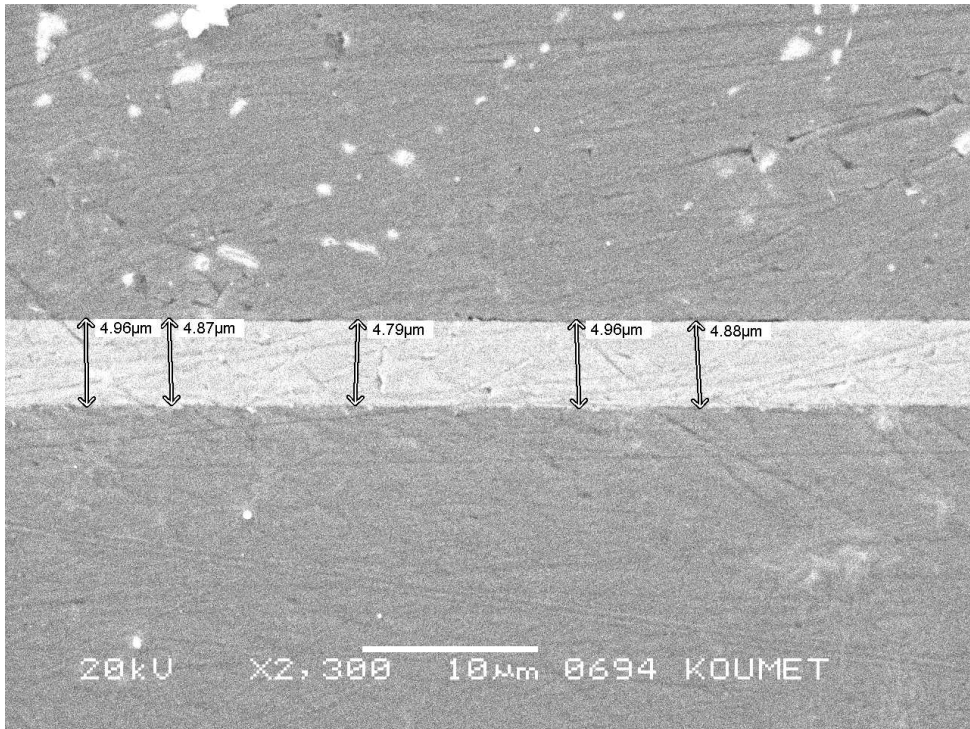


Şekil 4.24 Numune 5 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X

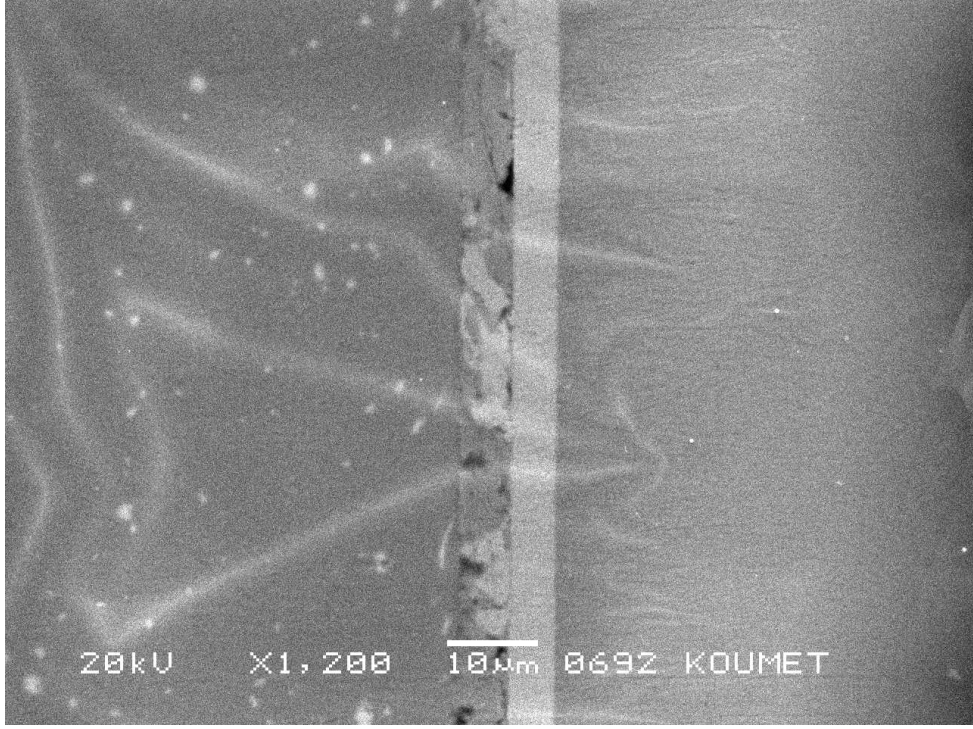




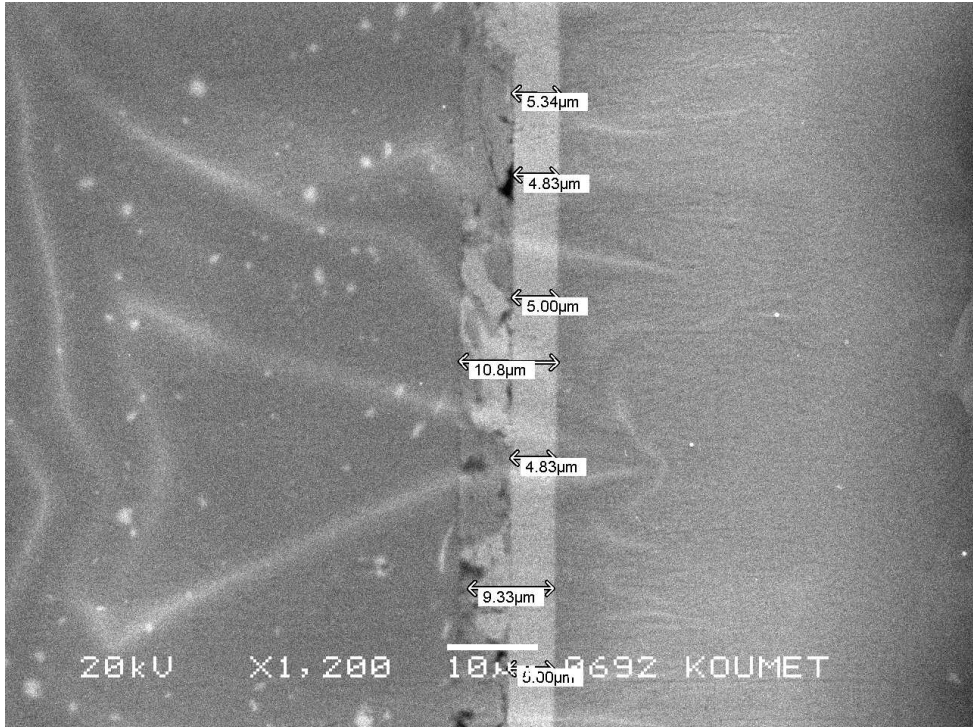
Şekil 4.25 Numune 5 parlatma sonrası SEM görüntüleri



Şekil 4.26 Numune 5 parlatma sonrası SEM görüntüleri

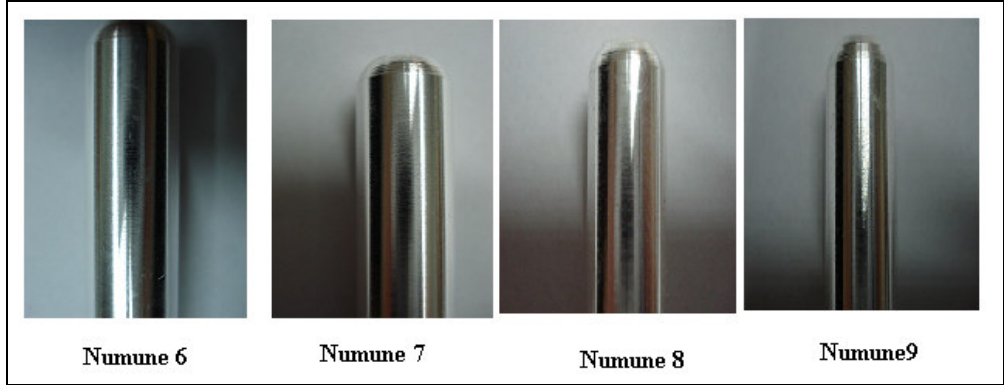


Şekil 4.27 Numune 5 parlatma sonrası SEM görüntüleri



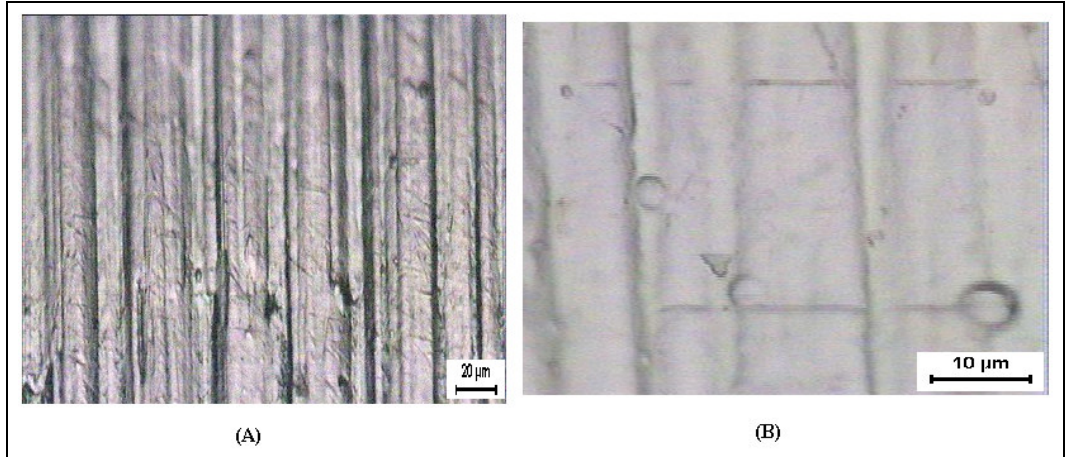
Şekil 4.28 Numune 5 parlatma sonrası SEM görüntüleri

P2 parlatıcı miktarında yapılan değişiklik sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

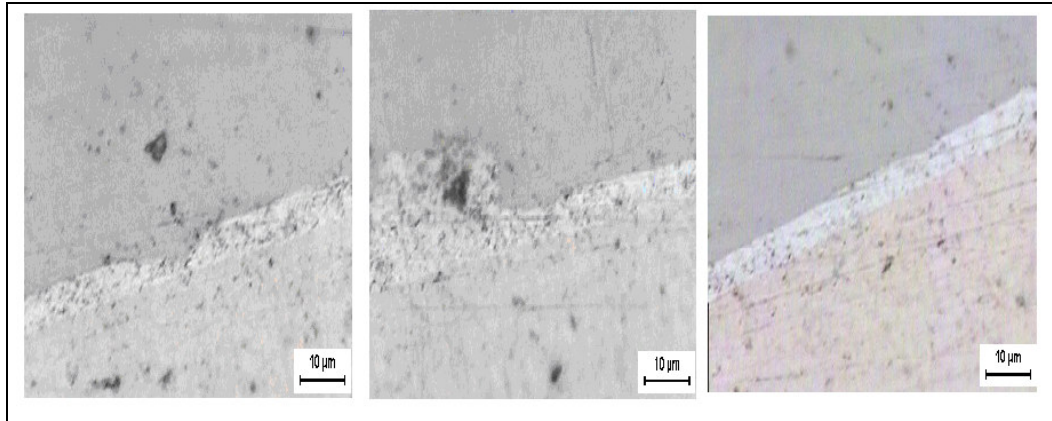


şekil 4.29 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü

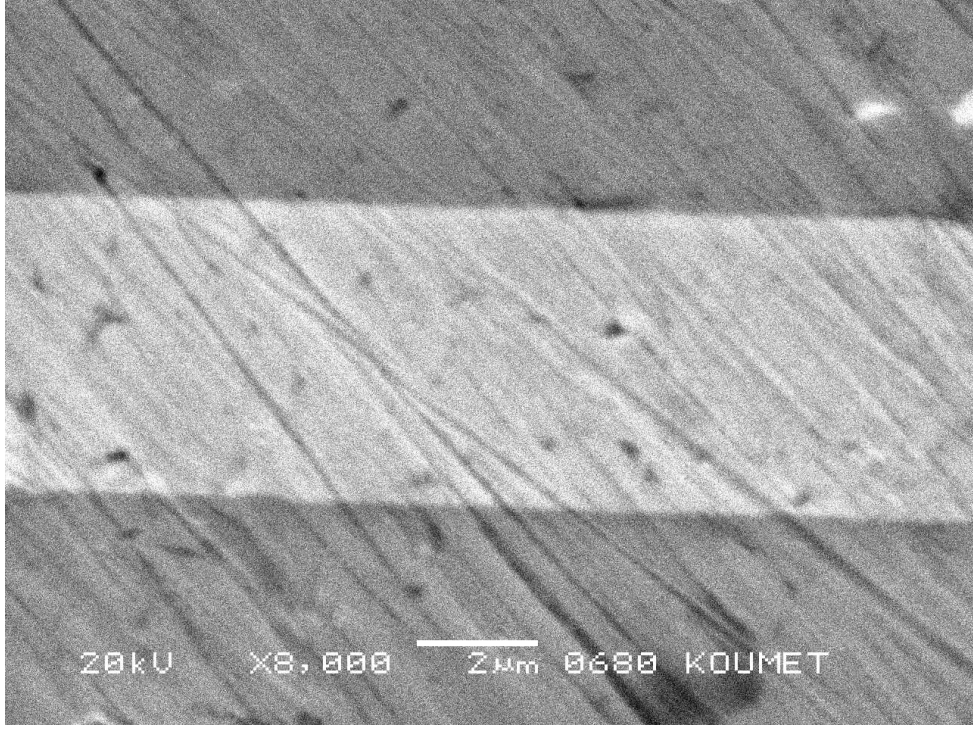
Numune 6;



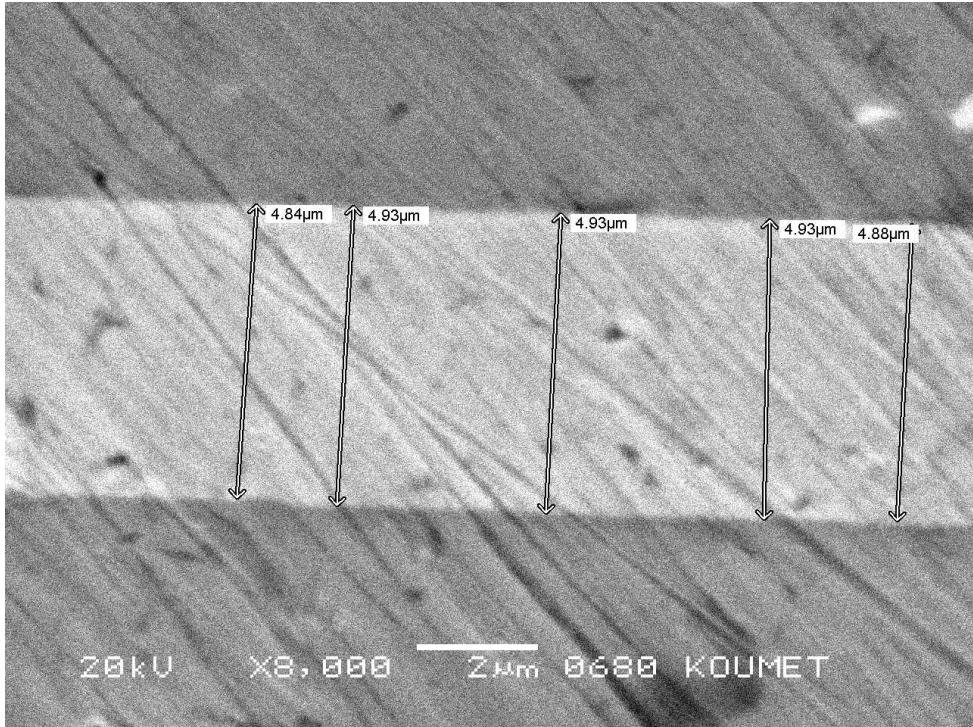
şekil 4.30 Numune 6 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



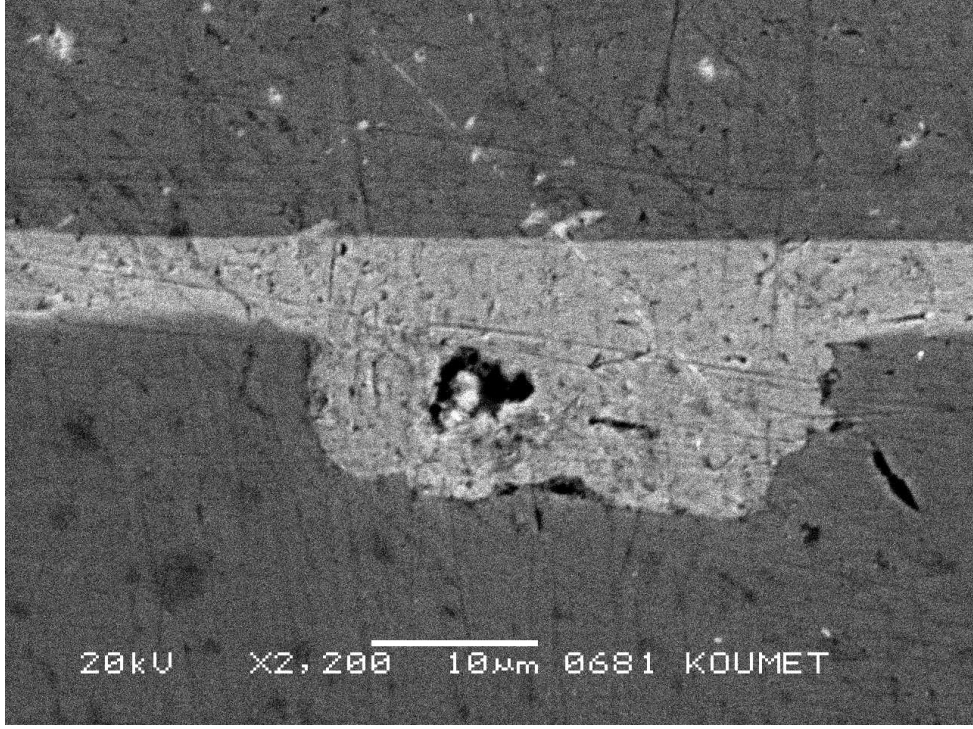
şekil 4.31 Numune 6 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



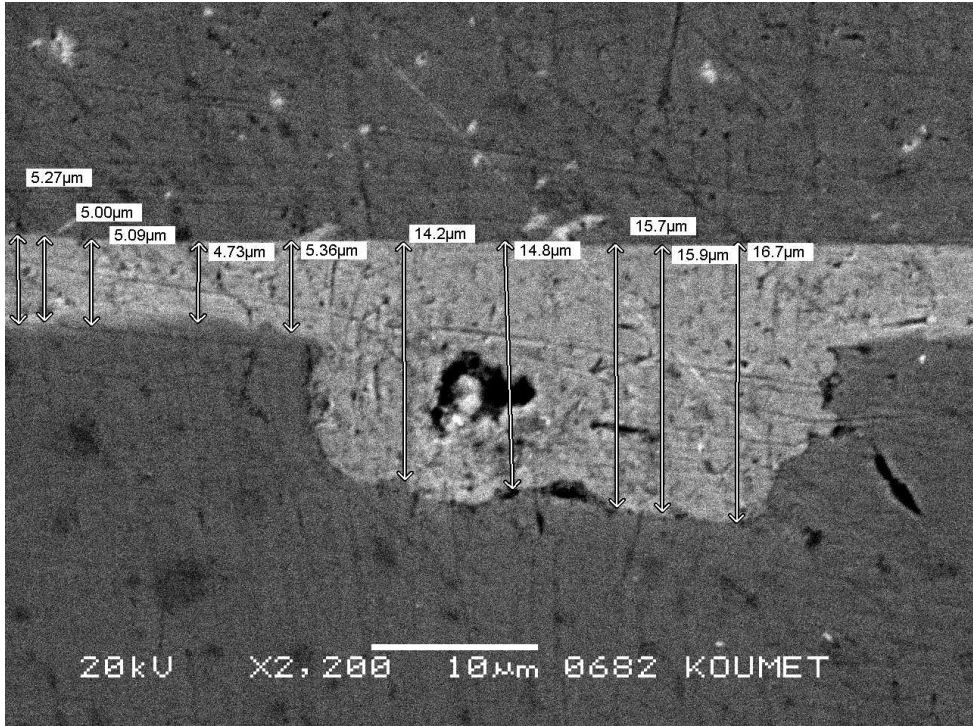
Şekil 4.32 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri



Şekil 4.33 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri

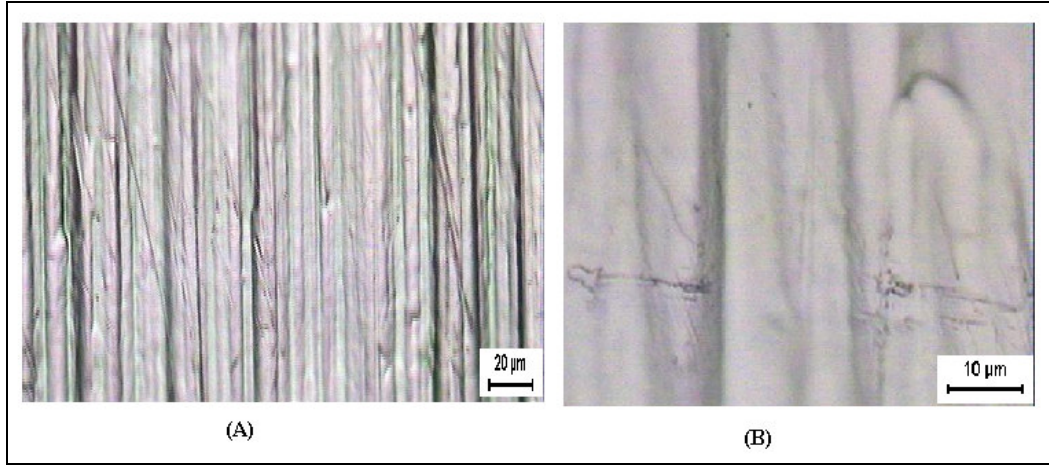


Şekil 4.34 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri



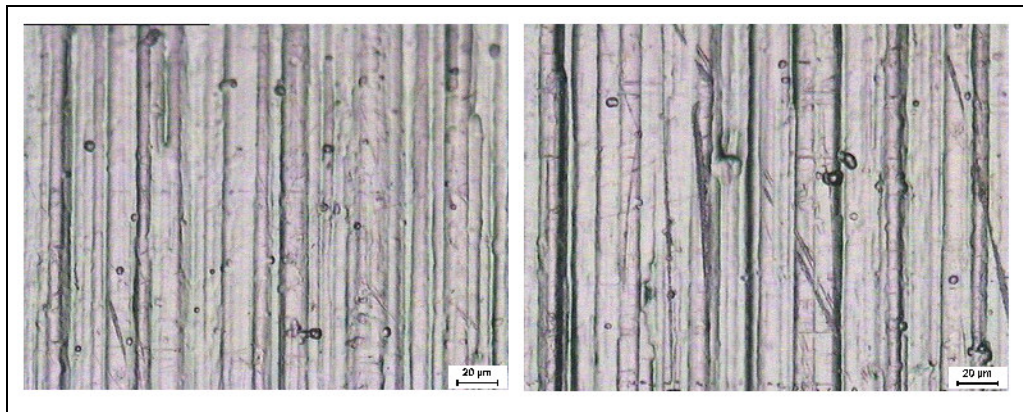
Şekil 4.35 Numune 6 parlatma sonrası SEM görüntüleri

Numune 7;



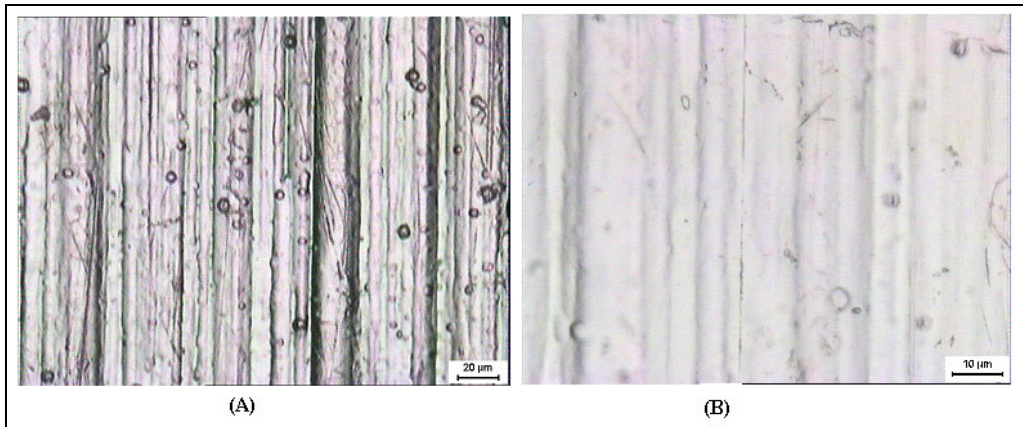
Şekil 4.36 Numune 7 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 8;

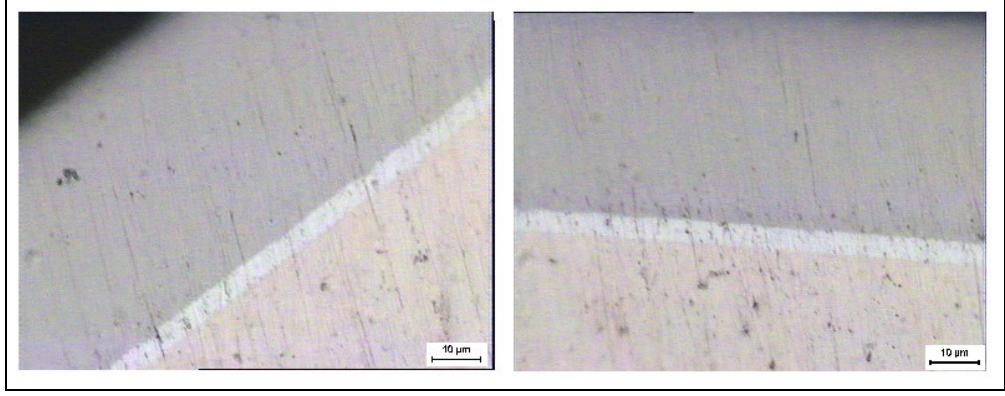


Şekil 4.37 Numune 8 optik mikroskop yüzey görüntüleri 20X

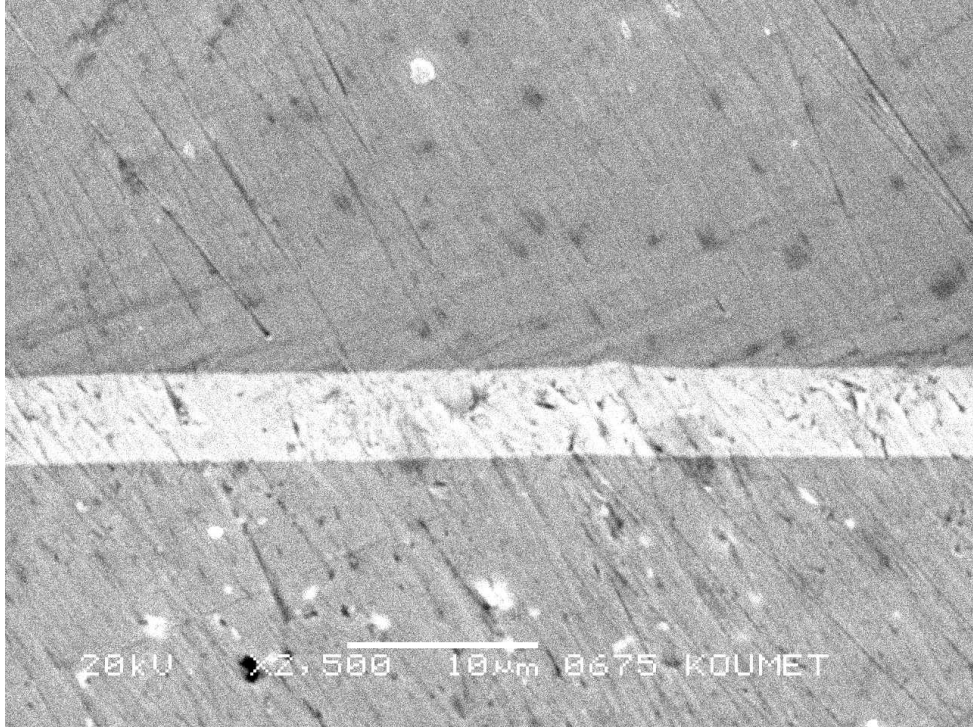
Numune 9;



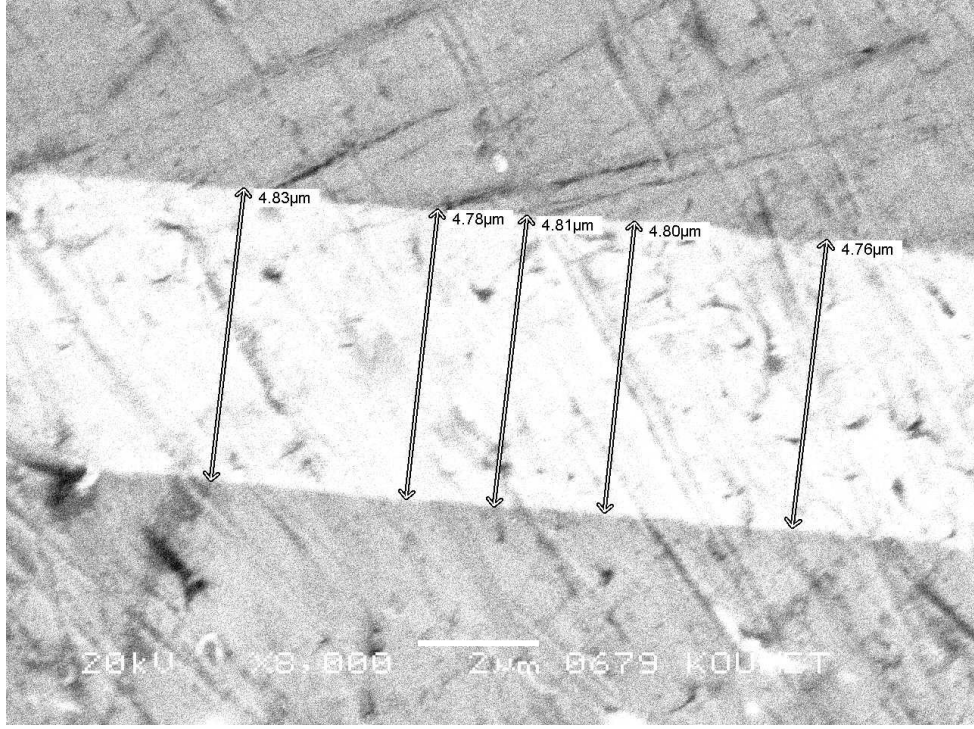
Şekil 4.38 Numune 9 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



Şekil 4.39 Numune 9 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



Şekil 4.40 Numune 9 parlatma sonrası SEM görüntüleri



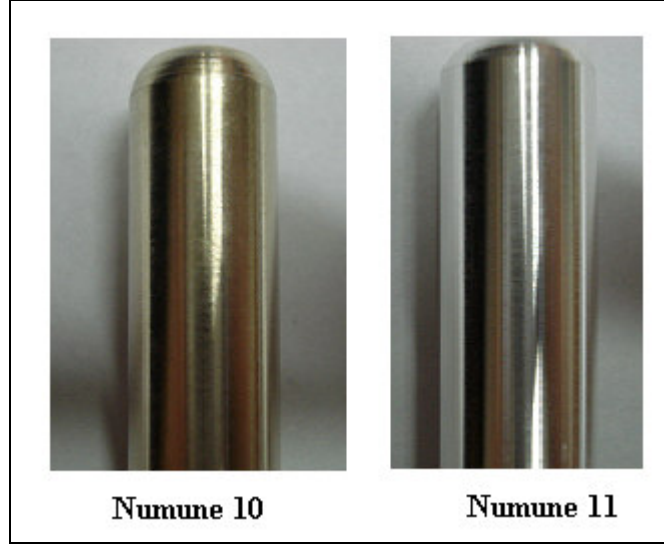
Şekil 4.41 Numune 9 parlatma sonrası SEM görüntüleri

Bu aşamalardan sonra P1 ve P2 oranları optimum miktarlarının iki katına çıkarılmıştır. Her iki değerde % 200 miktarına çıkarılmıştır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 Maksimum P1 ve P2 konsantrasyonları

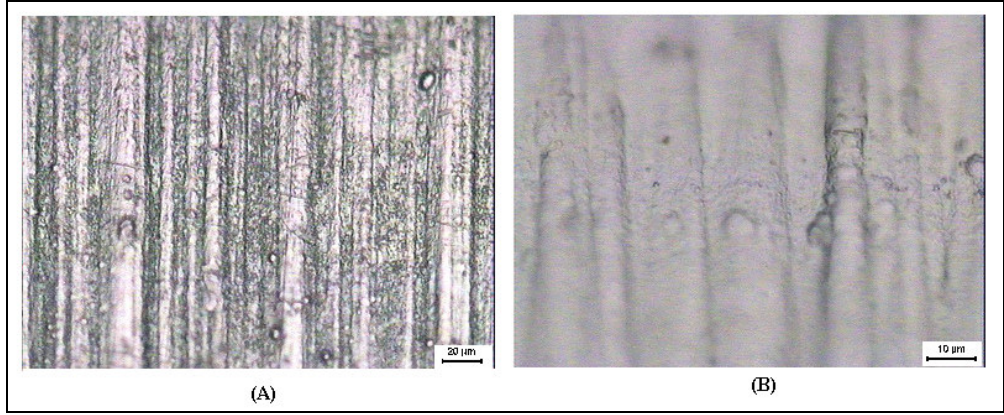
Değişkenler	Numune 10	Numune 11
P1Parlatıcı ml/l	60	60
P2Parlatıcı ml/l	20	40
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74	74
KCN g/l	150	150
Sıcaklık °C	25	25
Akım Yoğunluğu A/dm <sup>2</sup>	2	2
Kütle Değişimi	0.0933	0.0976
Zaman (saniye)	255	255



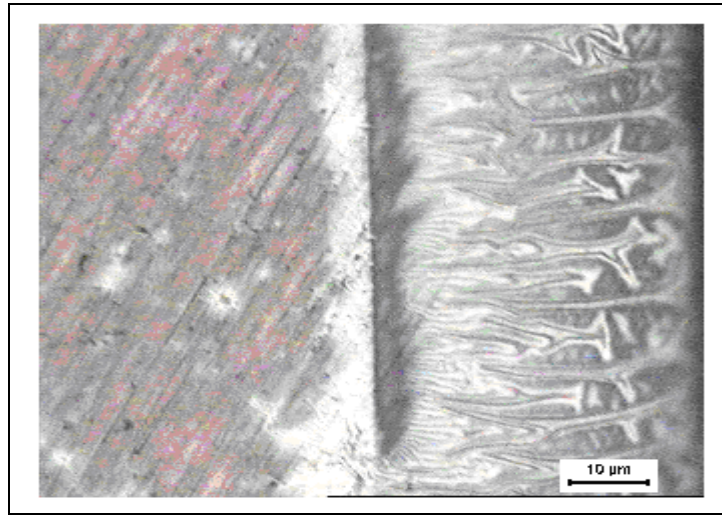


Şekil 4.42 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü

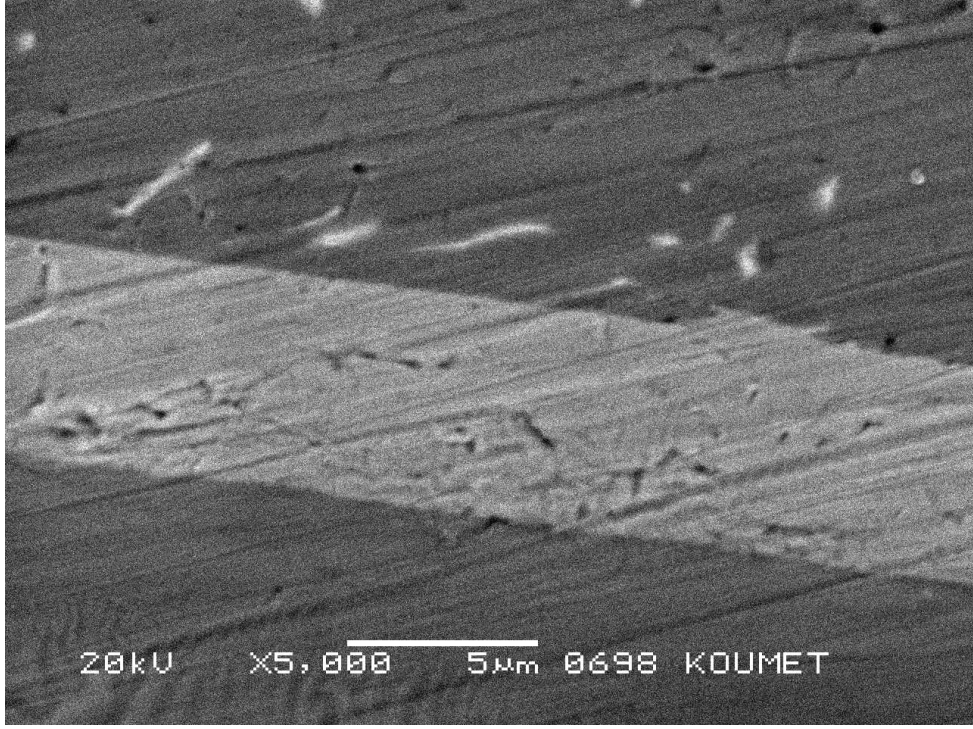
Numune 10;



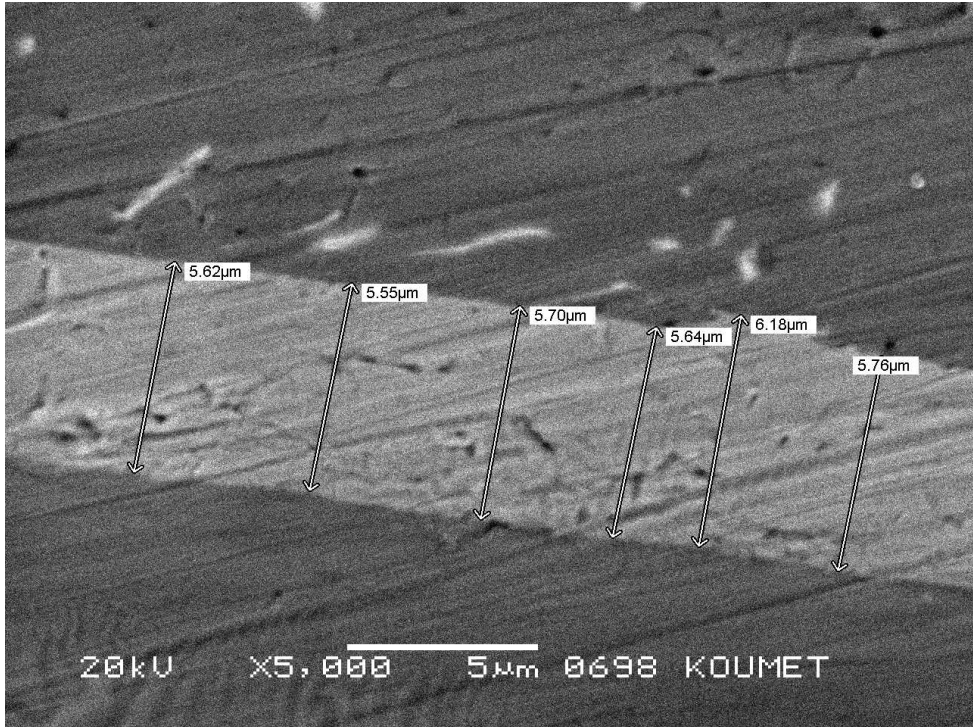
Şekil 4.43 Numune 10 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



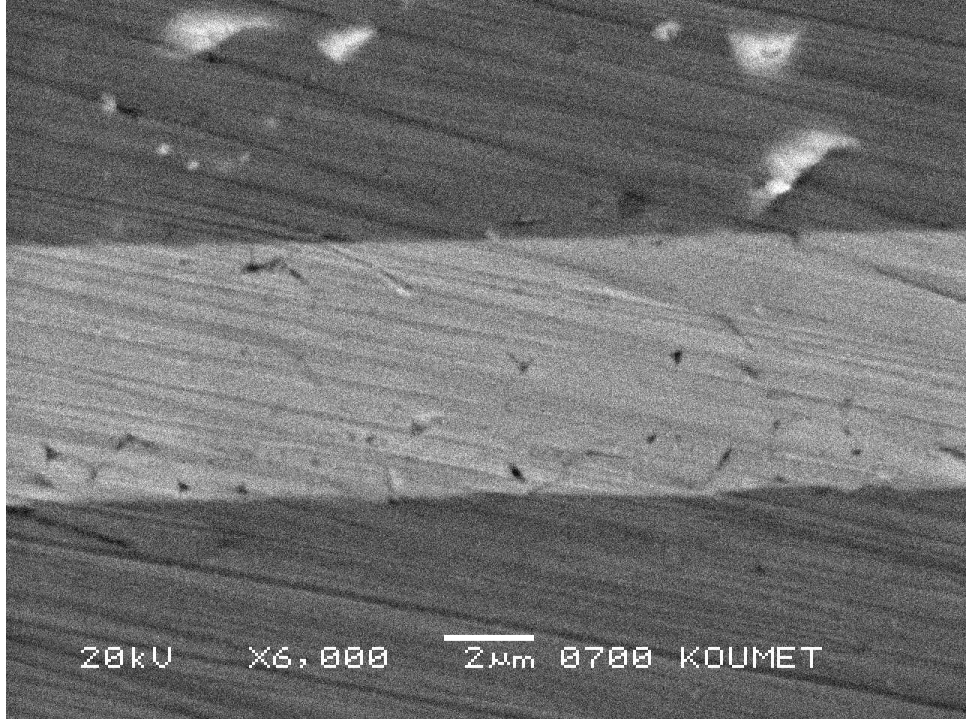
Şekil 4.44 Numune 10 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



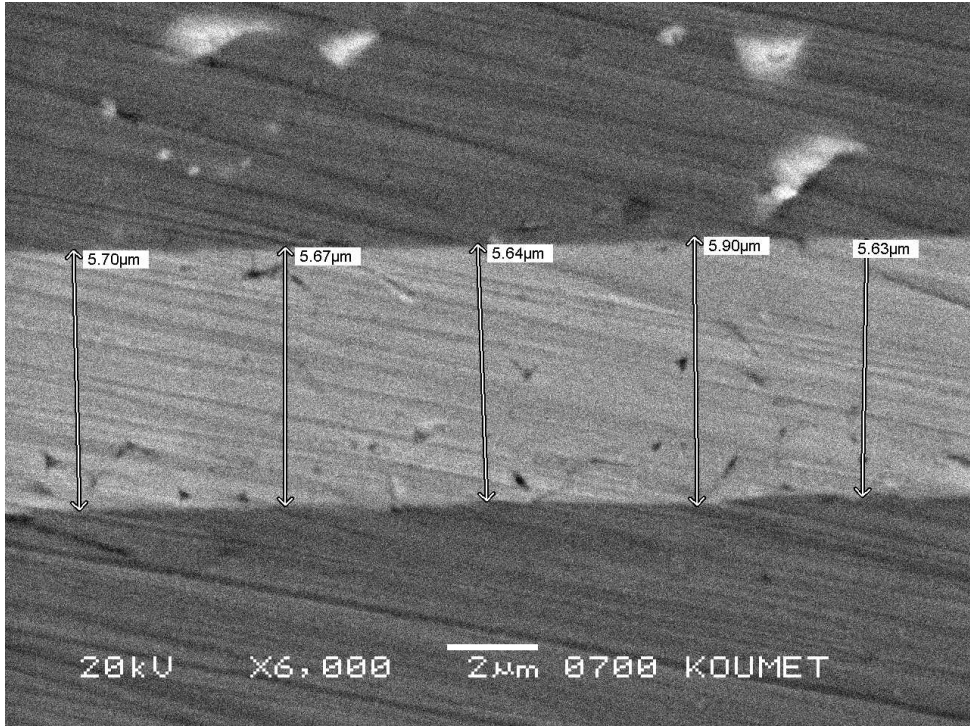
Şekil 4.45 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri



Şekil 4.46 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri

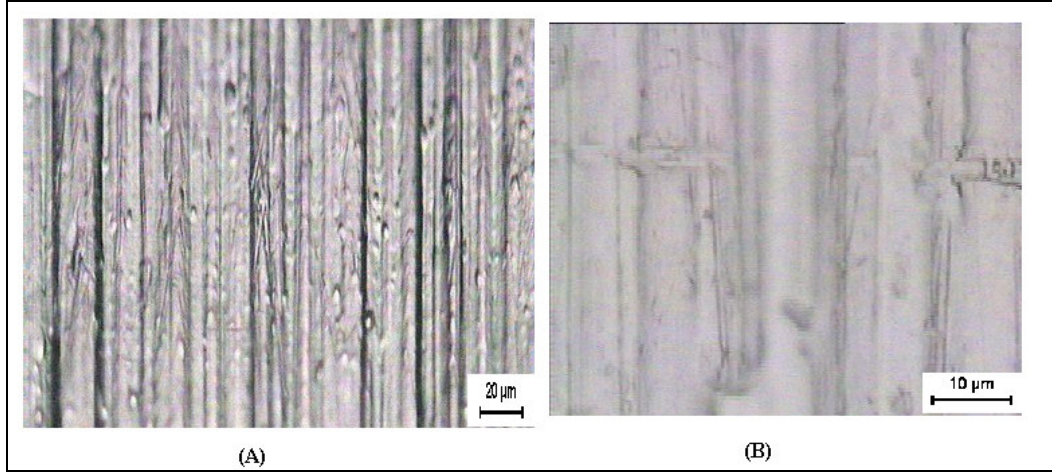


Şekil 4.47 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri

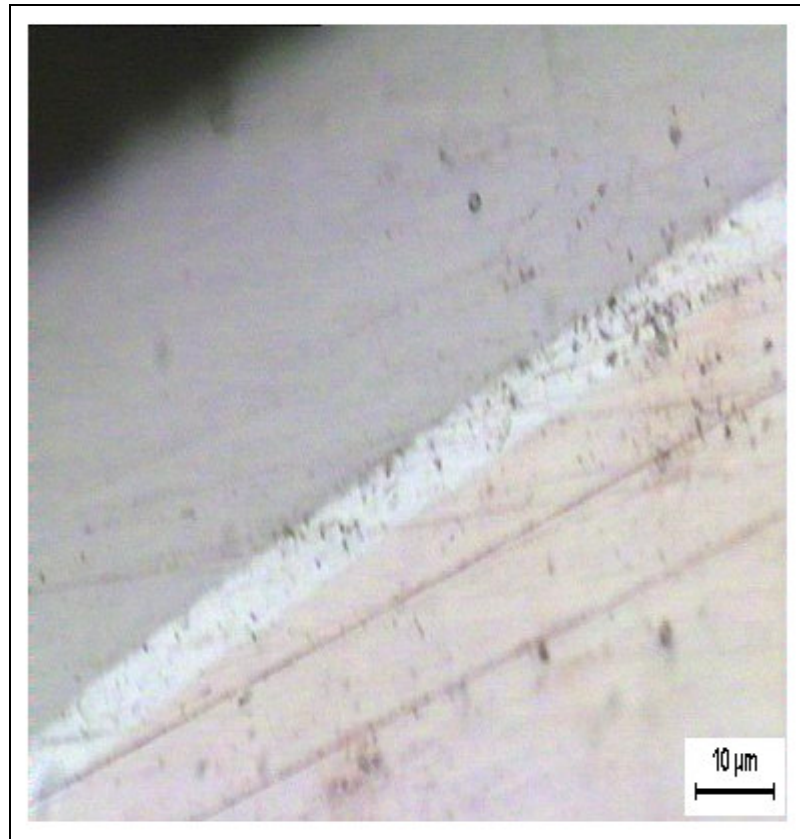


Şekil 4.48 Numune 10 parlatma sonrası SEM görüntüleri

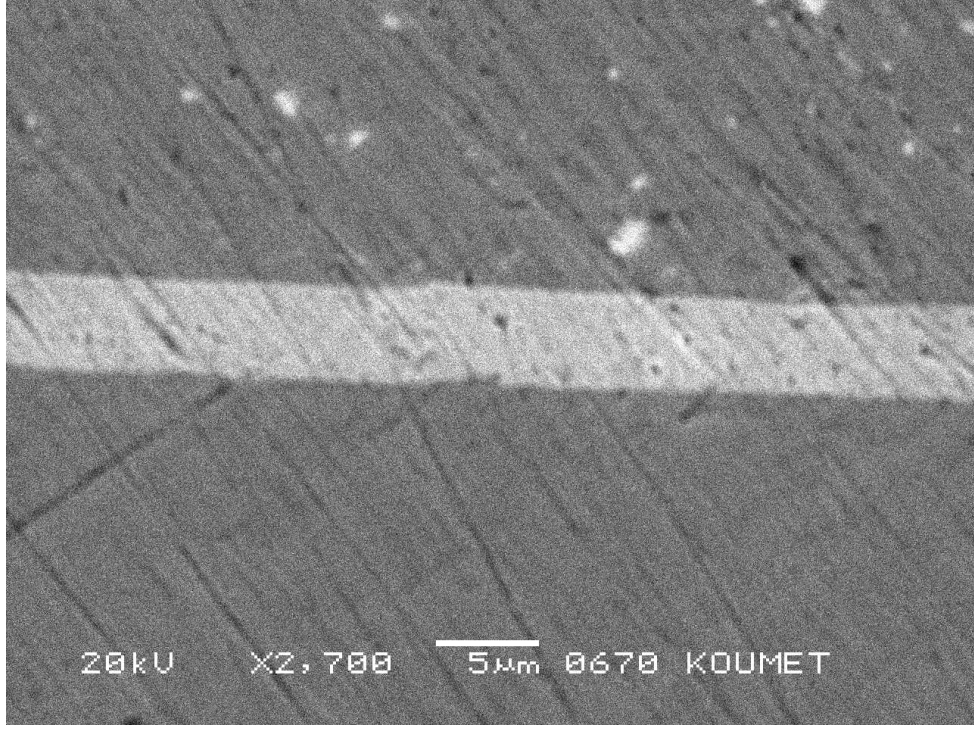
Numune 11;



Şekil 4.49 Numune 11 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

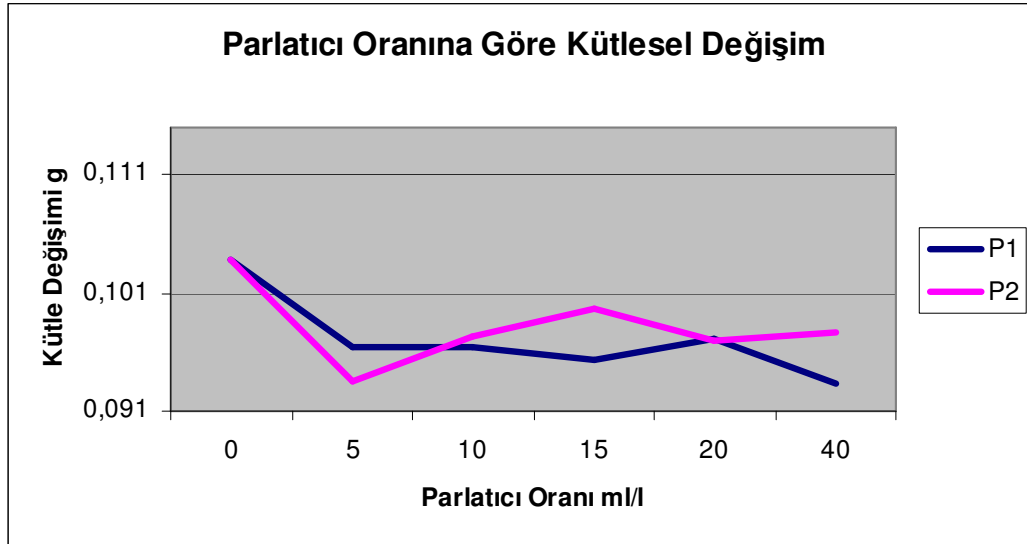


Şekil 4.50 Numune 11 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



Şekil 4.51 Numune 11 parlatma sonrası SEM görüntüleri

Parlatıcı oranlarının kütle üzerindeki değişimini gösteren grafik Şekil 4.52' de gösterilmiştir.



Şekil 4.52 Parlatıcı oranının kütle değişimine etkisi

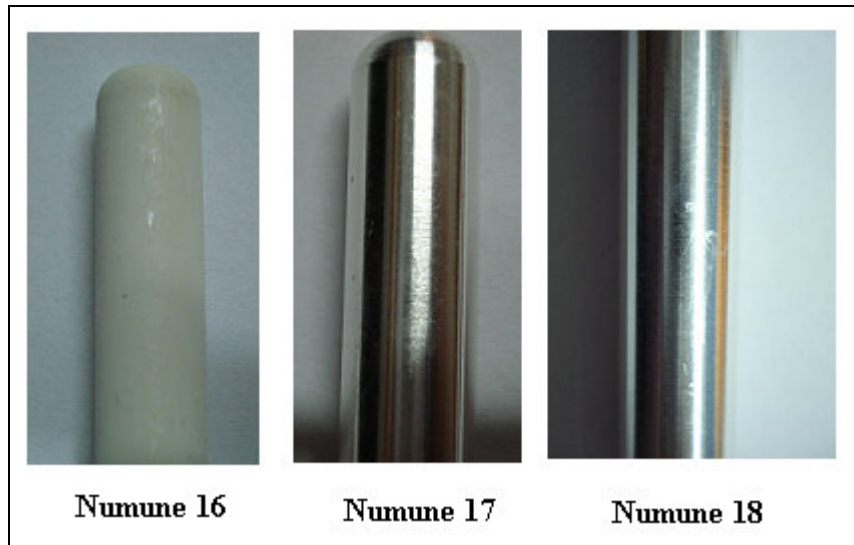
#### 4.2.1.2 Gümüş konsantrasyonu değişimi

Çözeltideki gümüş iyonlarının miktarı minimum değerden başlamak üzere maksimum değerlere kadar çıkartılmıştır (Tablo 4.8 ).

Tablo 4.8 Gümüş konsantrasyon değişimi

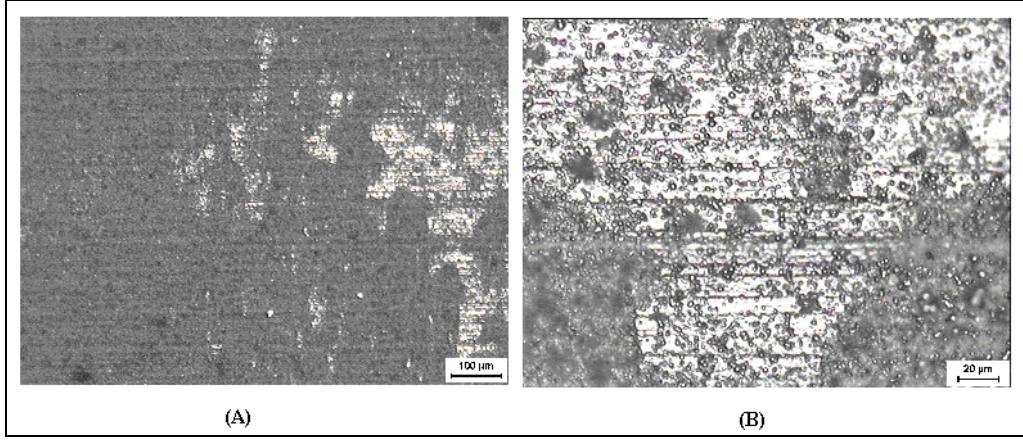
Değişkenler	Numune 16	Numune 17	Numune 18
	25%	50%	75%
P1Parlatıcı ml/l	30	30	30
P2Parlatıcı ml/l	40	40	40
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	18,5	37	55,5
KCN g/l	150	150	150
Sıcaklık °C	25	25	25
Akım Yoğunluğu	2	2	2
Kütle Değişimi	0.0963	0.0982	0.0953
Zaman (saniye)	255	255	255

Elde edilen görüntü sonuçları aşağıda verilmiştir.

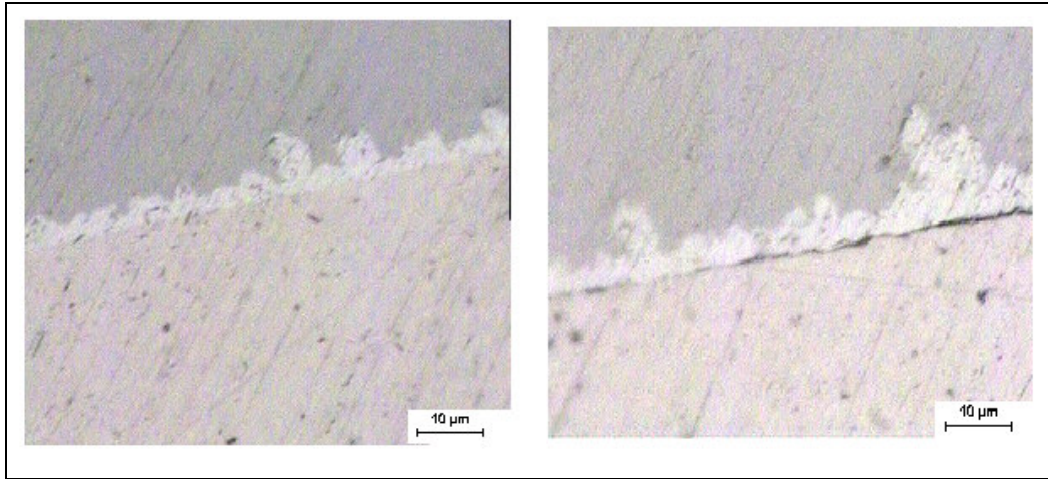


şekil 4.53 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü

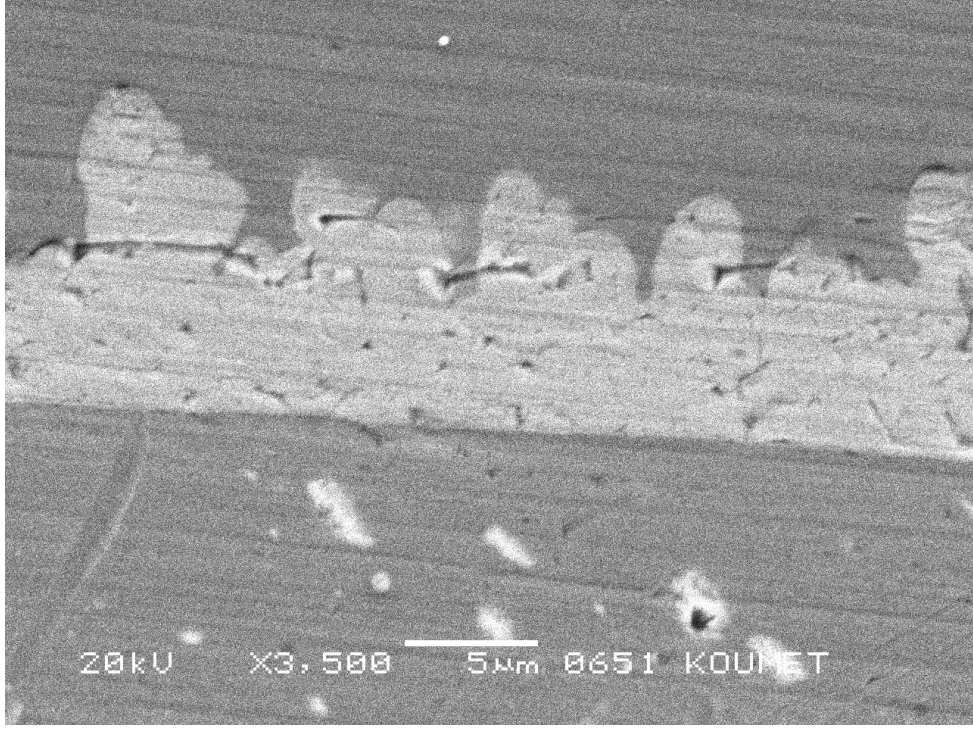
Numune 16;



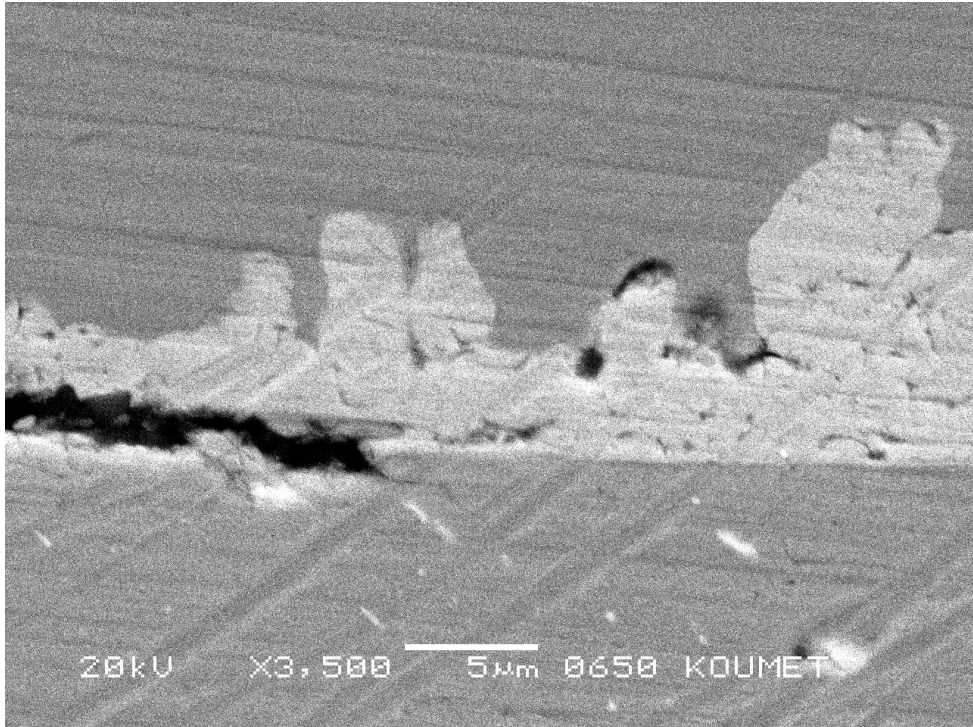
Şekil 4.54 Numune 16 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 5X (B) 20X



Şekil 4.55 Numune 16 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



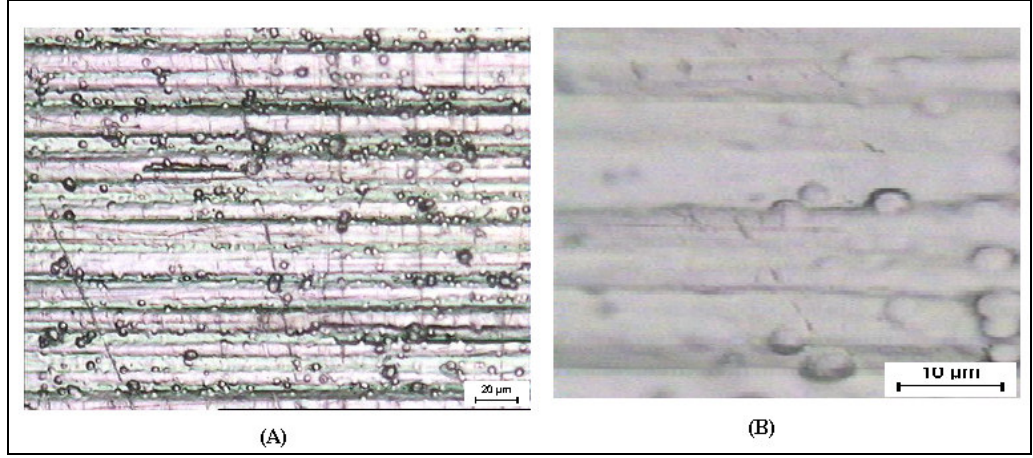
Şekil 4.56 Numune 16 parlatma sonrası SEM görüntüleri



Şekil 4.57 Numune 16 parlatma sonrası SEM görüntüleri

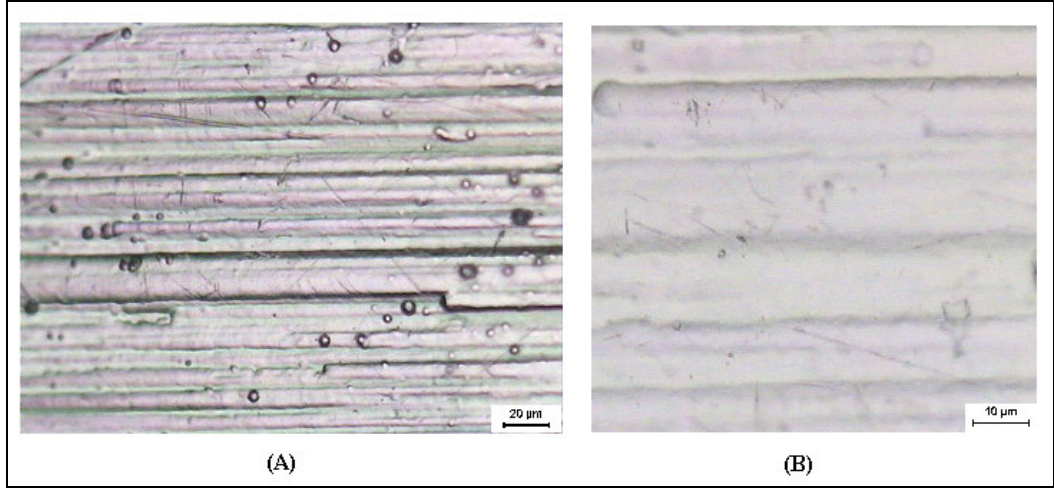
Numune 17;





Şekil 4.58 Numune 17 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

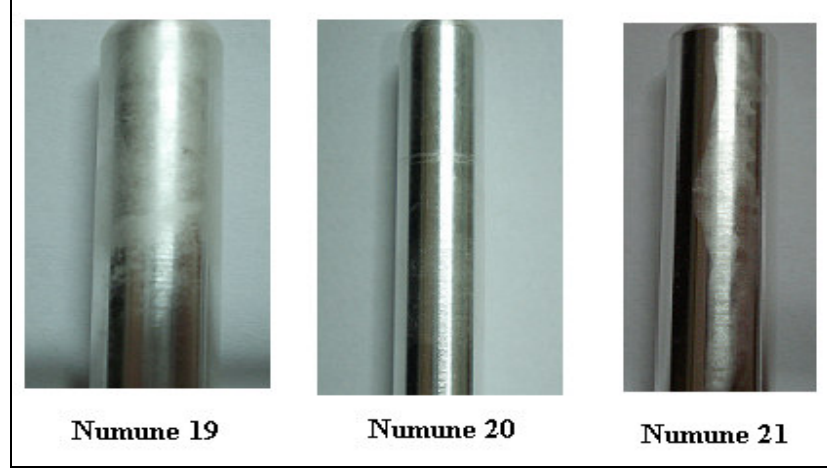
Numune 18;



Şekil 4.59 Numune 18 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

#### 4.2.1.3 Siyanür konsantrasyonu değişimi

Çözeltideki siyanür miktarı minimum değerden itibaren artırılarak sisteme eklenmiştir (Tablo 4.9). Siyanürün % 100 değeri numune dokuzda verilmiştir.

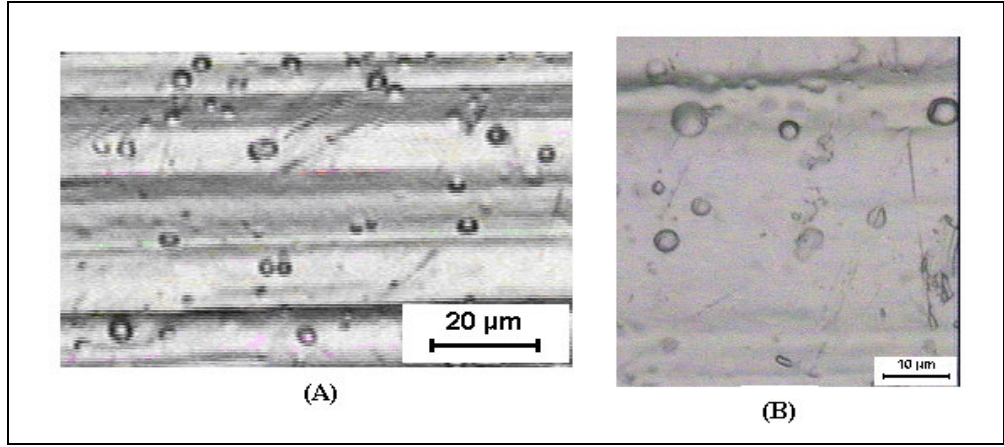


şekil 4.60 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü

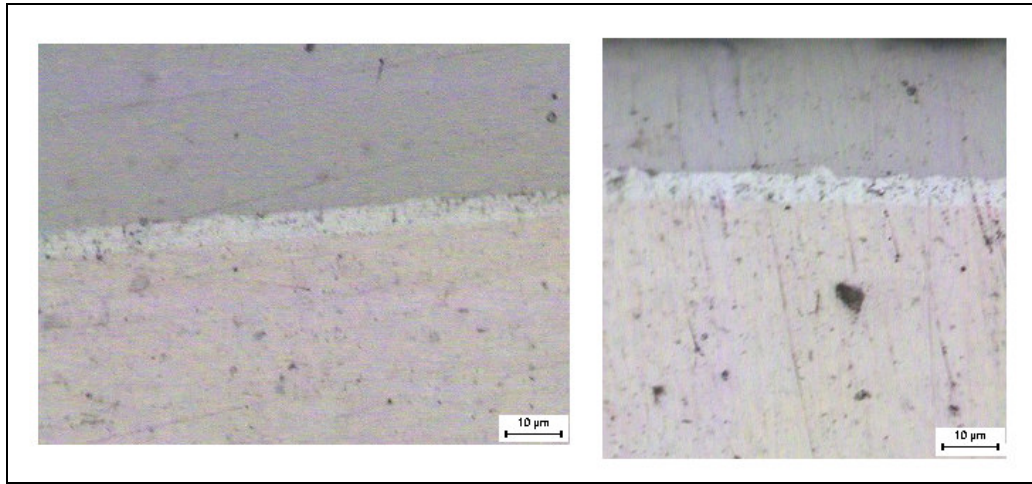
Tablo 4.9 Siyanür konsantrasyon değişimi

Değişkenler	Numune 19	Numune 20	Numune 21
	25%	50%	75%
P1Parlatıcı ml/l	30	30	30
P2Parlatıcı ml/l	20	40	15
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74	74	74
KCN g/l	37,5	75	112,5
Sıcaklık °C	25	25	25
Akım Yoğunluğu	2	2	2
Kütle Değişimi	0.0969	0.0948	0.0939
Zaman (saniye)	255	255	255

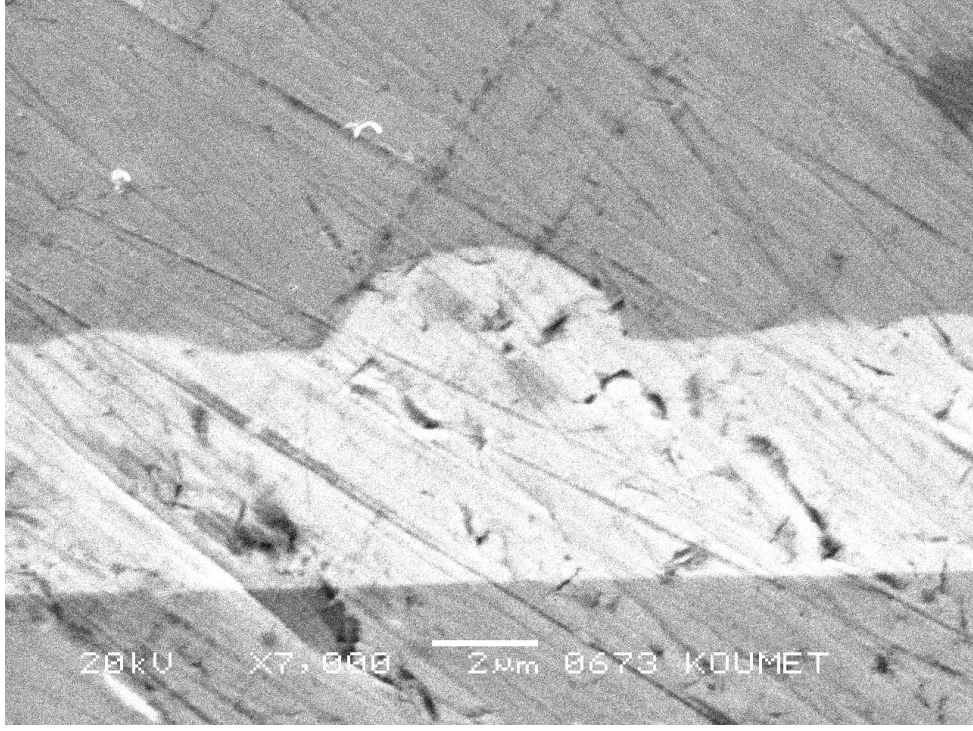
Numune 19;



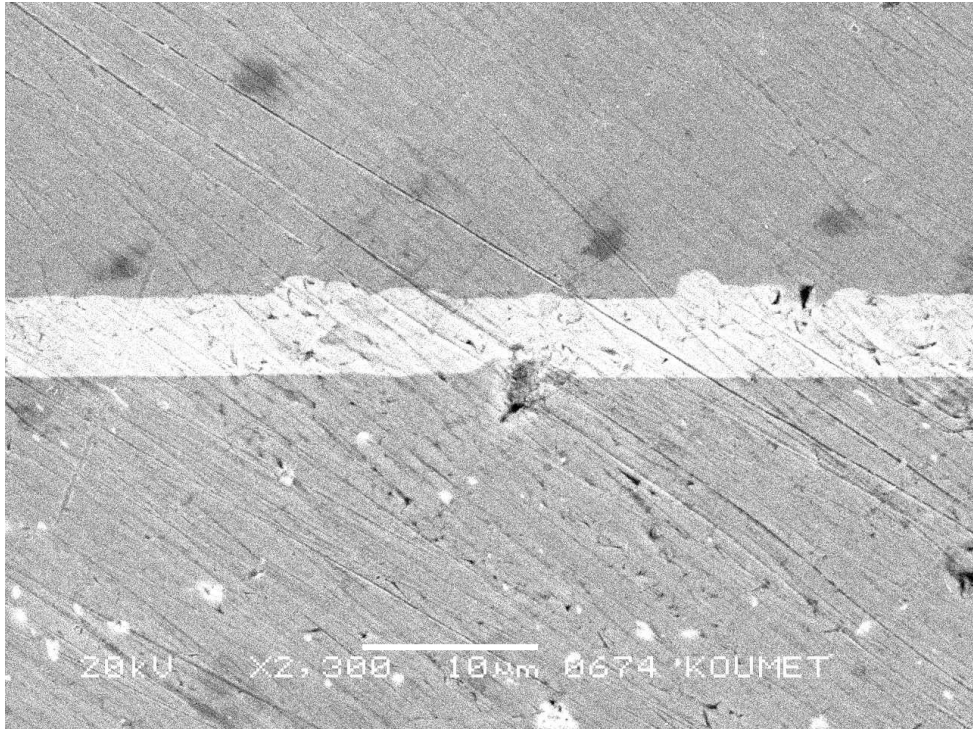
Şekil 4.61 Numune 19 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



Şekil 4.62 Numune 19 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X

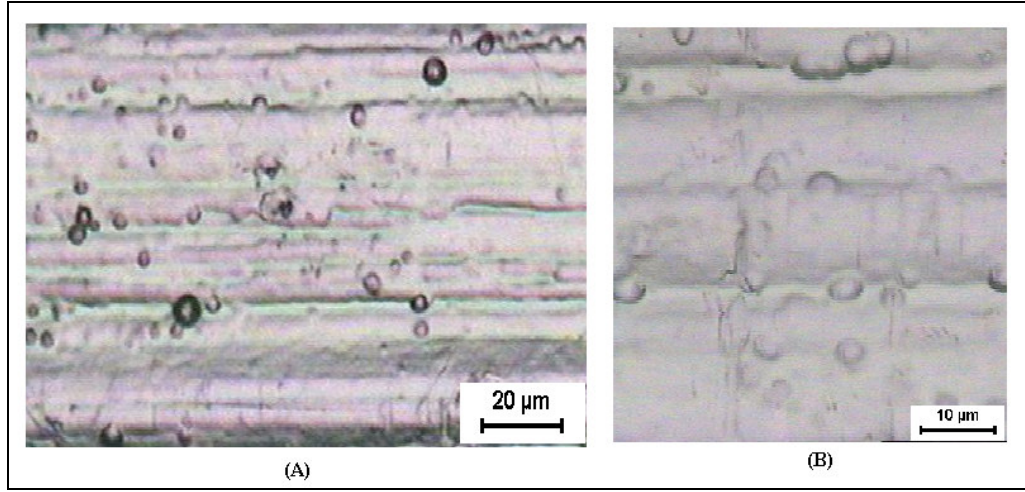


Şekil 4.63 Numune 19 parlatma sonrası SEM görüntüleri



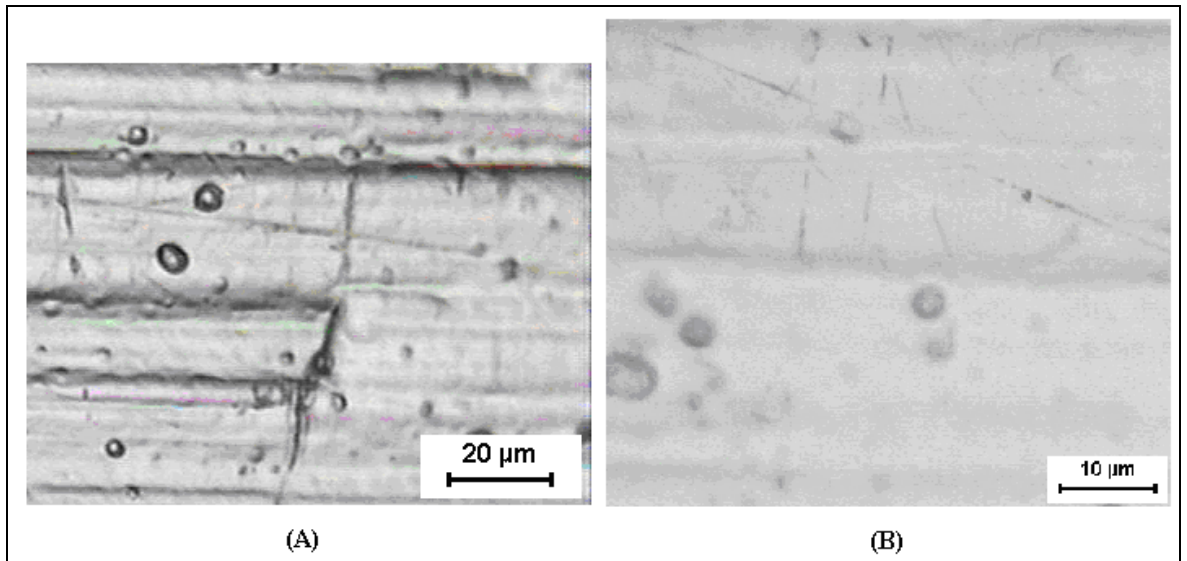
Şekil 4.64 Numune 19 parlatma sonrası SEM görüntüleri

Numune 20;



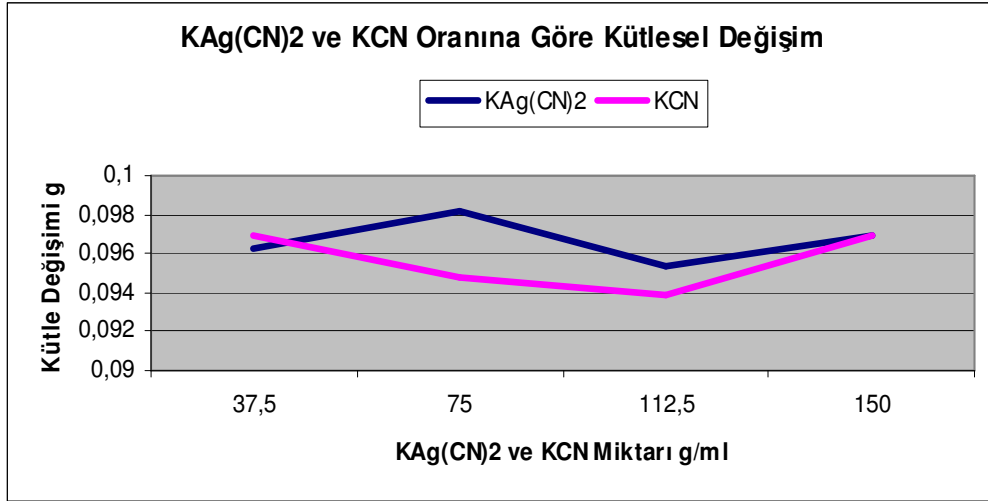
Şekil 4.65 Numune 20 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 21;



Şekil 4.66 Numune 21 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

CN miktarındaki değişim malzeme üzerinde biriken kütle miktarını da etkilemiştir (Şekil 4.67)



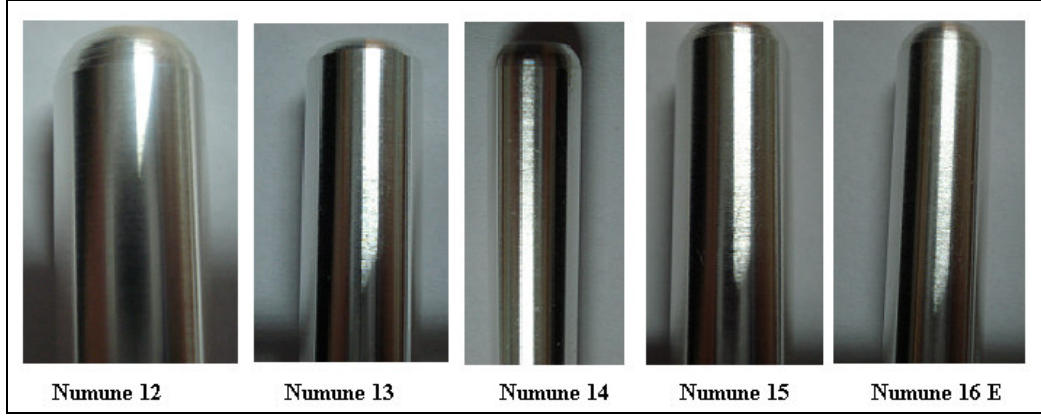
Şekil 4.67 CN oranına bağlı kütleli değişim

#### 4.2.2 Akım yoğunluğu değişimi

Akım yoğunluğu kaplama işlemini en fazla ve doğrudan etkileyen faktördür. Bu deneyde, değişik akım yoğunluklarının kaplamaya nasıl etki ettiği görüntülerle aşağıda verilmiştir. Minimum ve maksimum değerler arasında uygulanan akım değerlerinin etkileri belirlenmiştir.

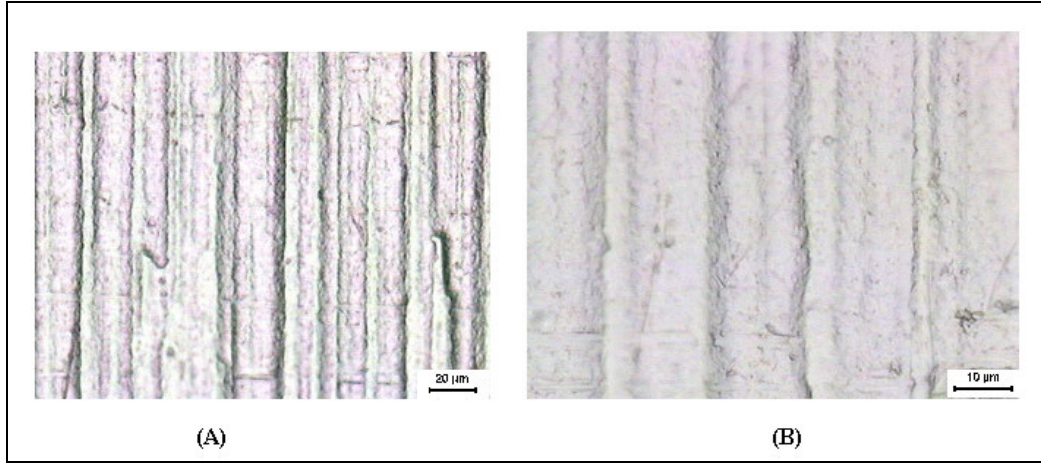
Tablo 4.10 Akım yoğunluğu değişimi

Değişkenler	Numune 12	Numune 13	Numune 14	Numune 15	Numune 16E
P1Parlatıcı ml/l	30	30	30	30	30
P2Parlatıcı ml/l	40	40	40	40	40
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74	74	74	74	74
KCN g/l	150	150	150	150	150
Sıcaklık °C	25	25	25	25	25
Akım Yoğunluğu	0.2	1	3	5	8
Kütle Değişimi	0.1157	0.0964	0.0947	0.0805	0.0955
Zaman (saniye)	2580	510	170	85	63

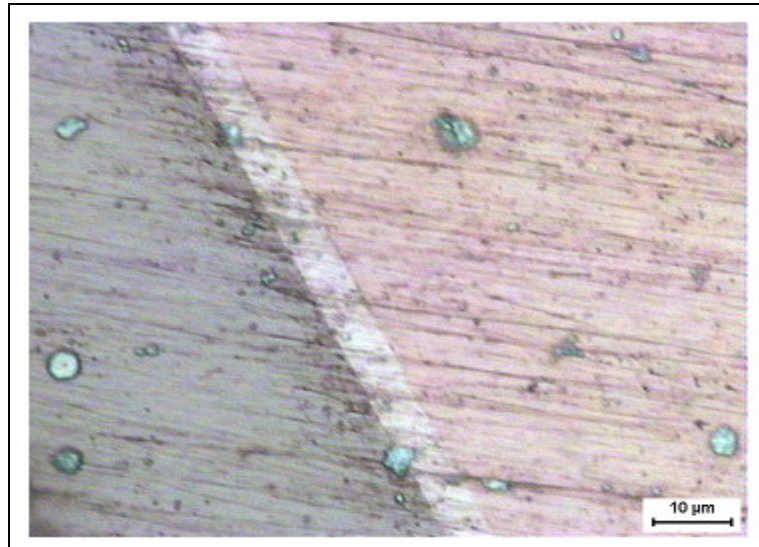


Şekil 4.68 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü

Numune 12;



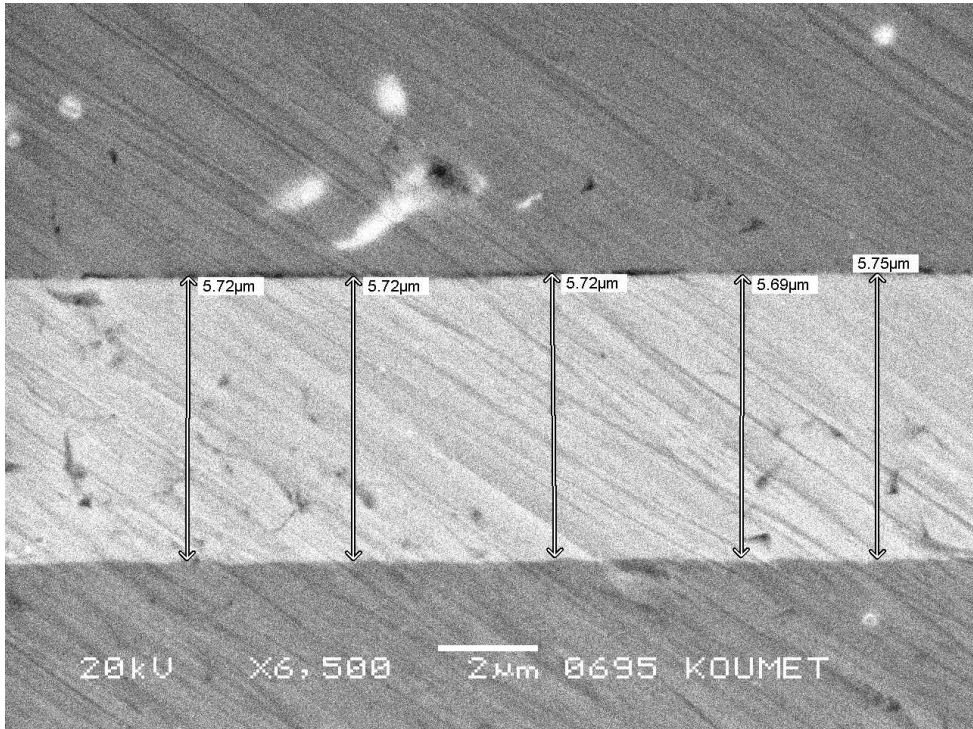
Şekil 4.69 Numune 12 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



Şekil 4.70 Numune 12 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



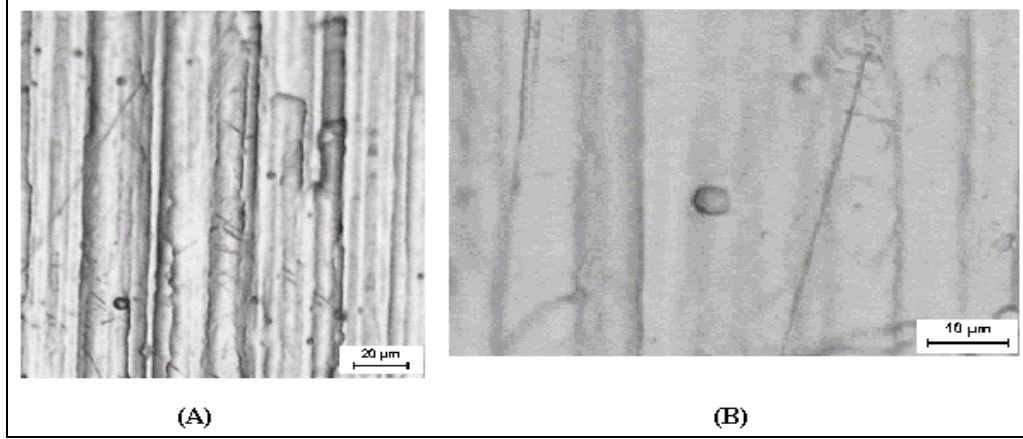
Şekil 4.71 Numune 12 parlatma sonrası SEM görüntüleri



Şekil 4.72 Numune 12 parlatma sonrası SEM görüntüleri

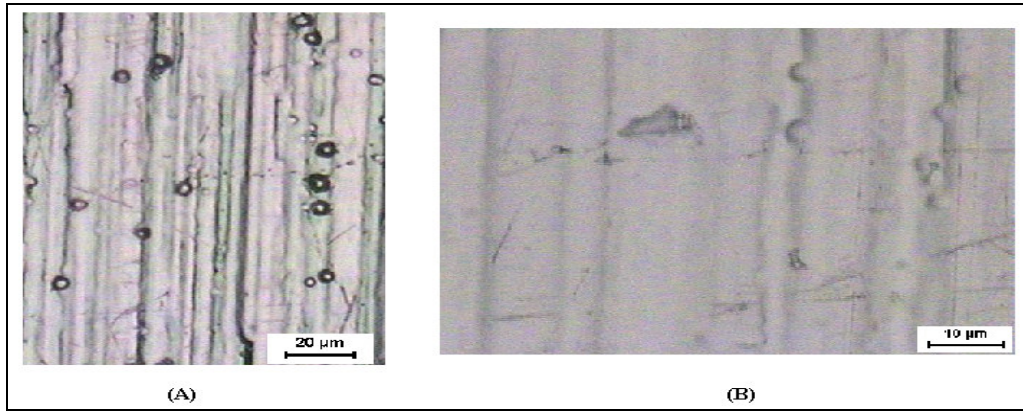


Numune 13;



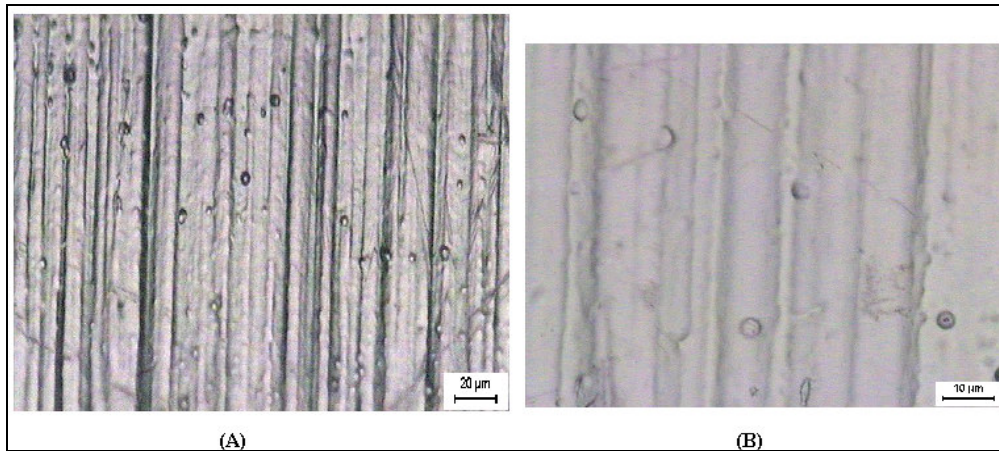
Şekil 4.73 Numune 13 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 14;



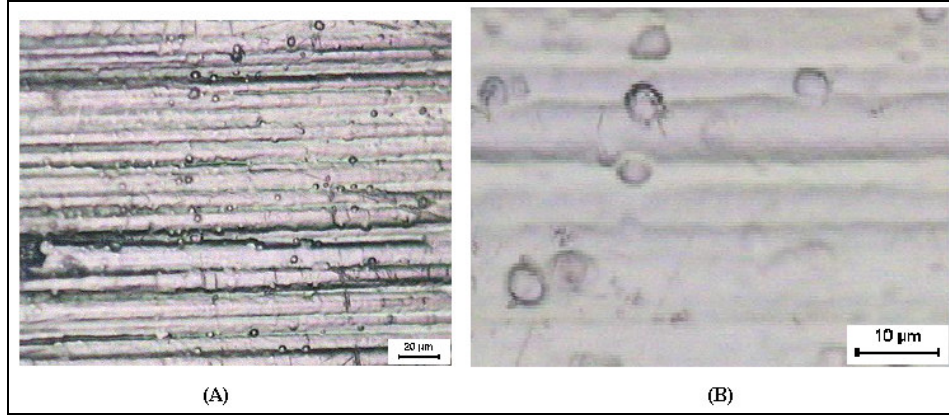
Şekil 4.74 Numune 14 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 15;

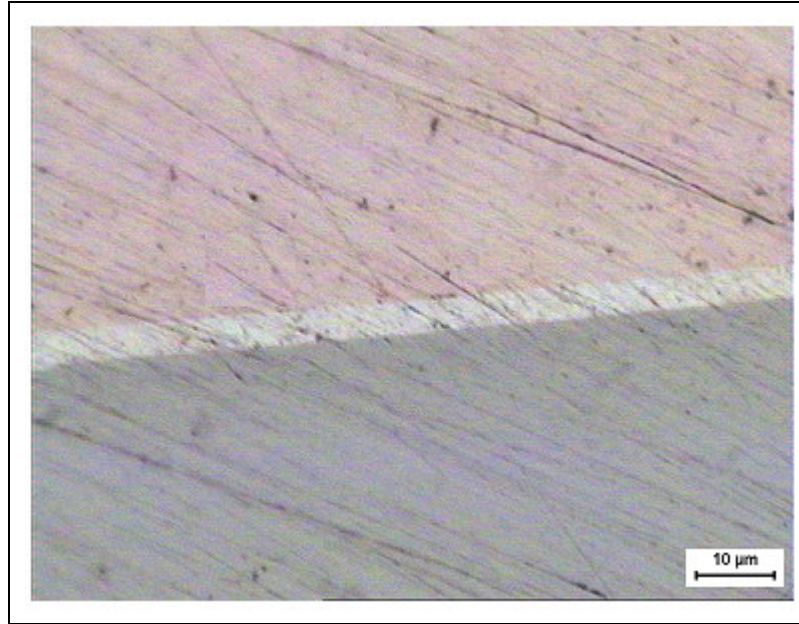


Şekil 4.75 Numune 15 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

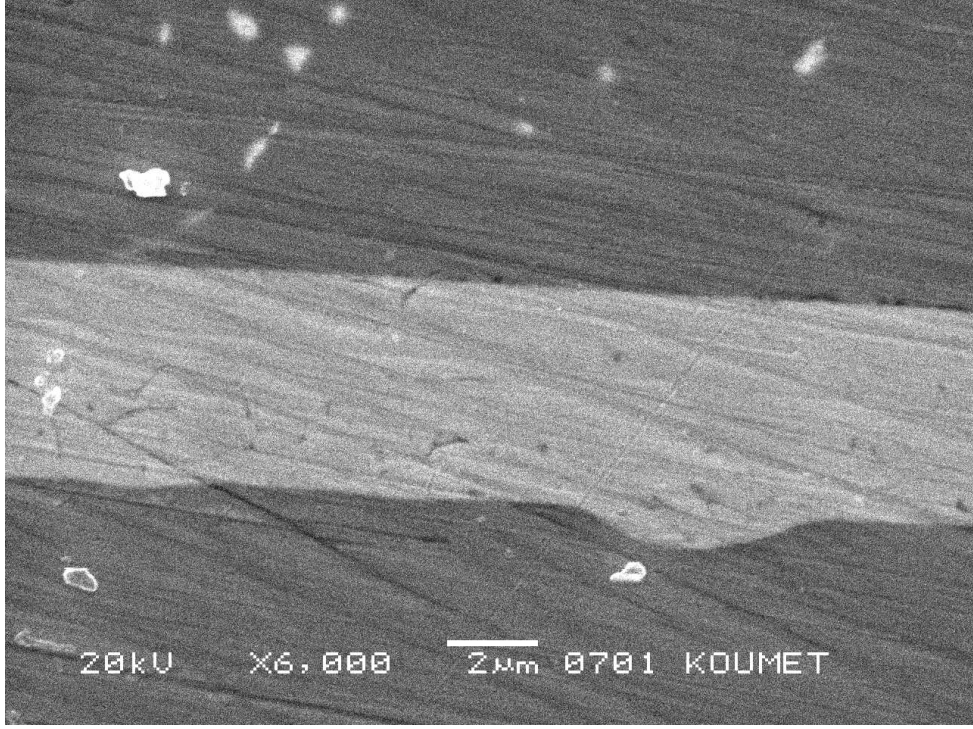
Numune 16E;



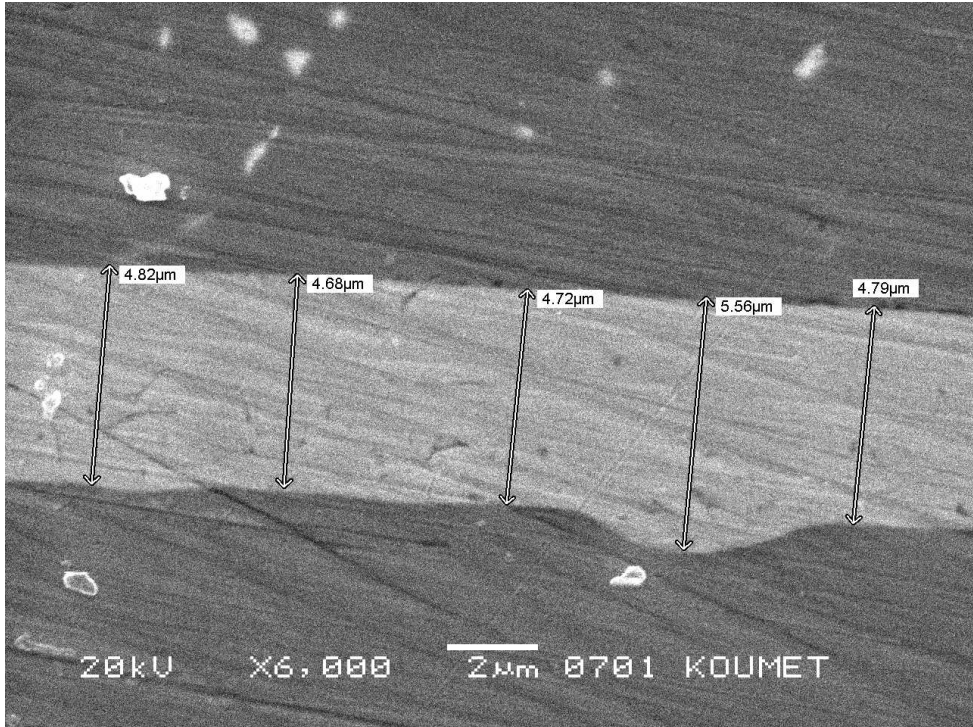
Şekil 4.76 numune 16E optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



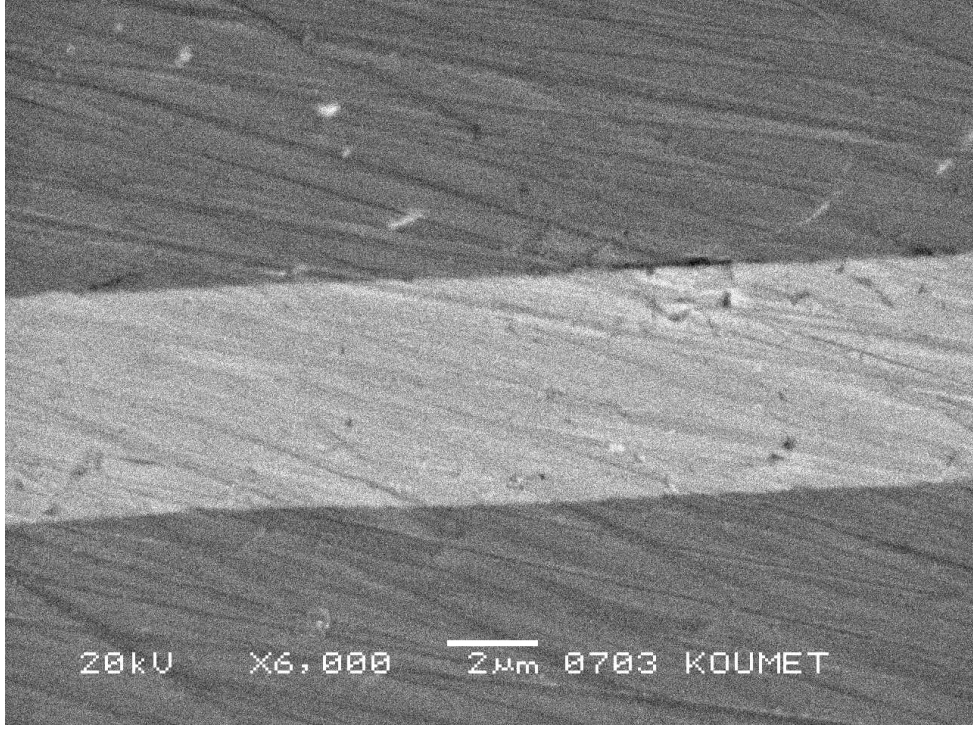
Şekil 4.77 Numune 16E parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



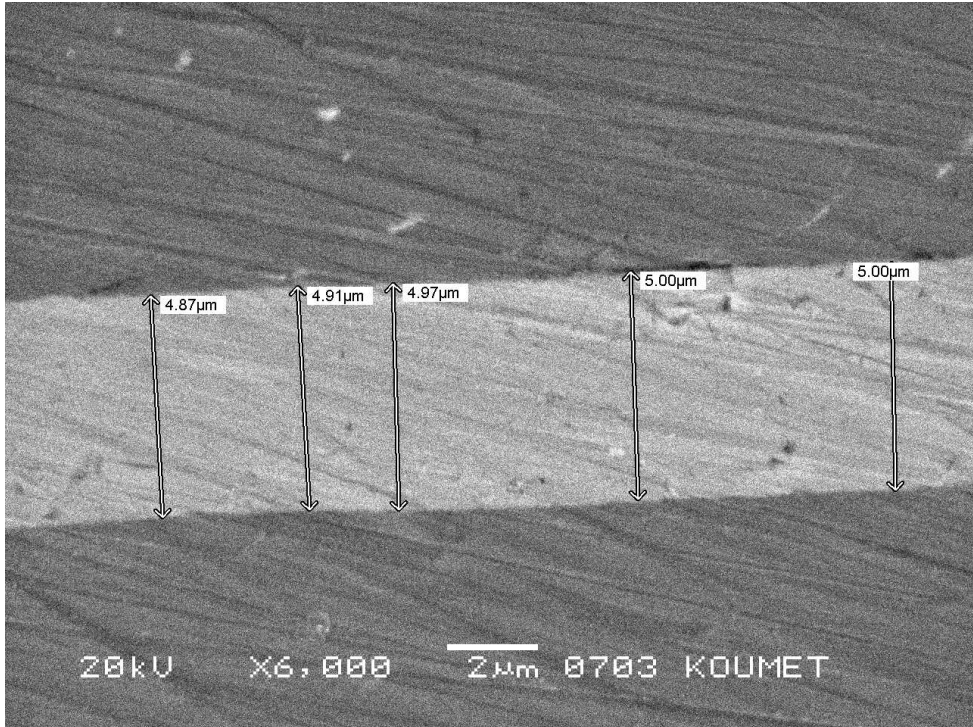
Şekil 4.78 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri



Şekil 4.79 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri

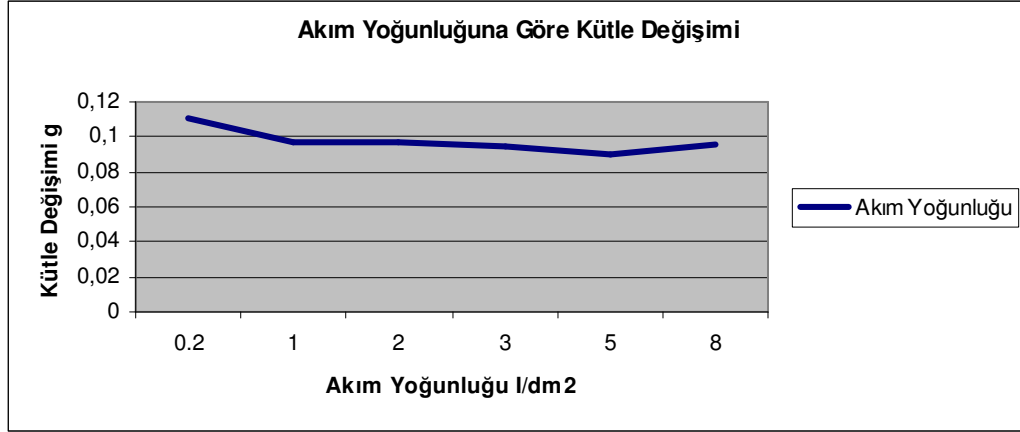


Şekil 4.80 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri



Şekil 4.81 Numune 16E parlatma sonrası SEM görüntüleri

Akım yoğunluğunun değiştiği her basamakta kütle birikiminde de farklılık gözlemlenmiştir. Elde edilen kütlesele değerler Şekil 4.80' de gösterilmiştir.



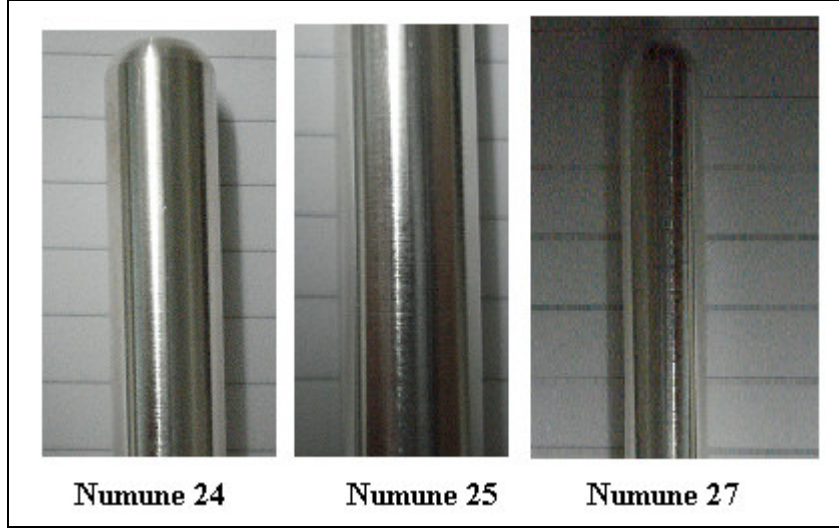
Şekil 4.82 Akım yoğunluğuna göre kütlesele değerim

#### 4.2.3 Sıcaklık değerimi

Sıcaklık değerimi kaplamanın yapısında farklılıklara neden olur. Bu deneysel çalışmada, en düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklıkta kaplama deneyleri yapılmıştır.

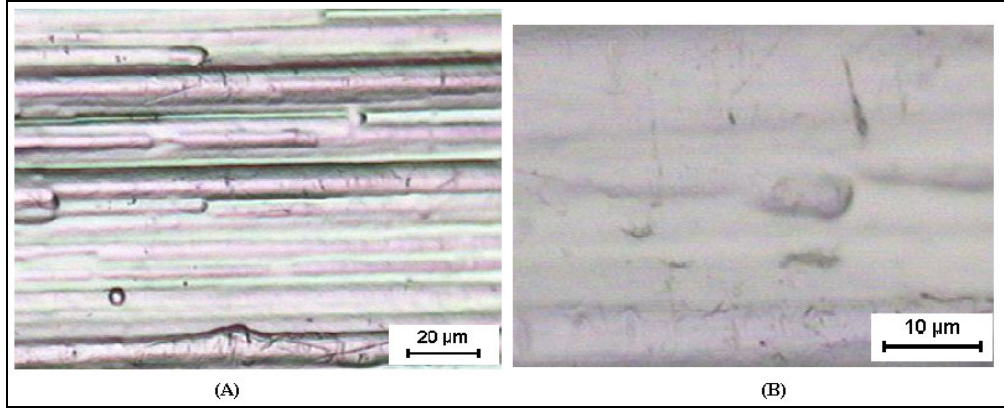
Tablo 4.11 Sıcaklık değerimi

Değerkenler	Numune 24	Numune 25	Numune 26	Numune 27
P1Parlatıcı ml/l	30	30	30	30
P2Parlatıcı ml/l	40	40	40	20
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74	74	74	74
KCN g/l	150	150	150	150
Sıcaklık 0C	15	35	50	65
Akım Yoğunluğu	2	2	2	2
Kütle Değerimi	0.0957	0.0986	0.0967	0.0929
Zaman (saniye)	255	255	255	255

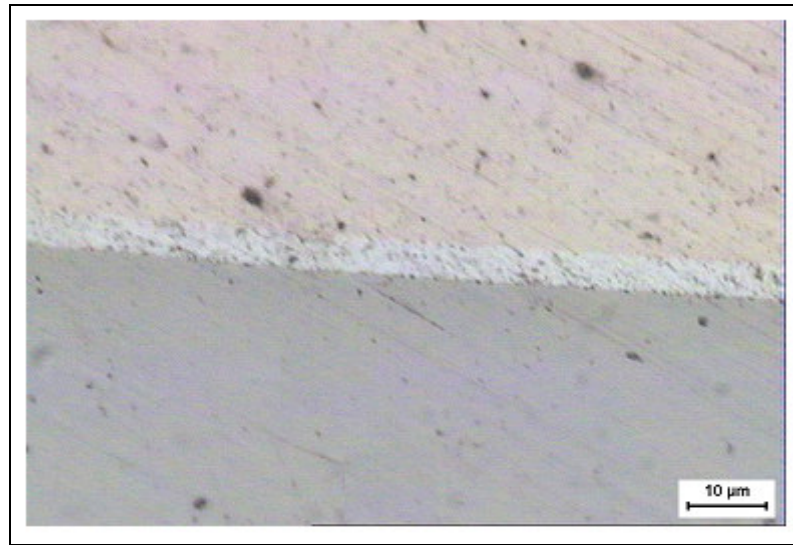


Şekil 4.83 Kaplanmış numunelerin yüzey görüntüsü

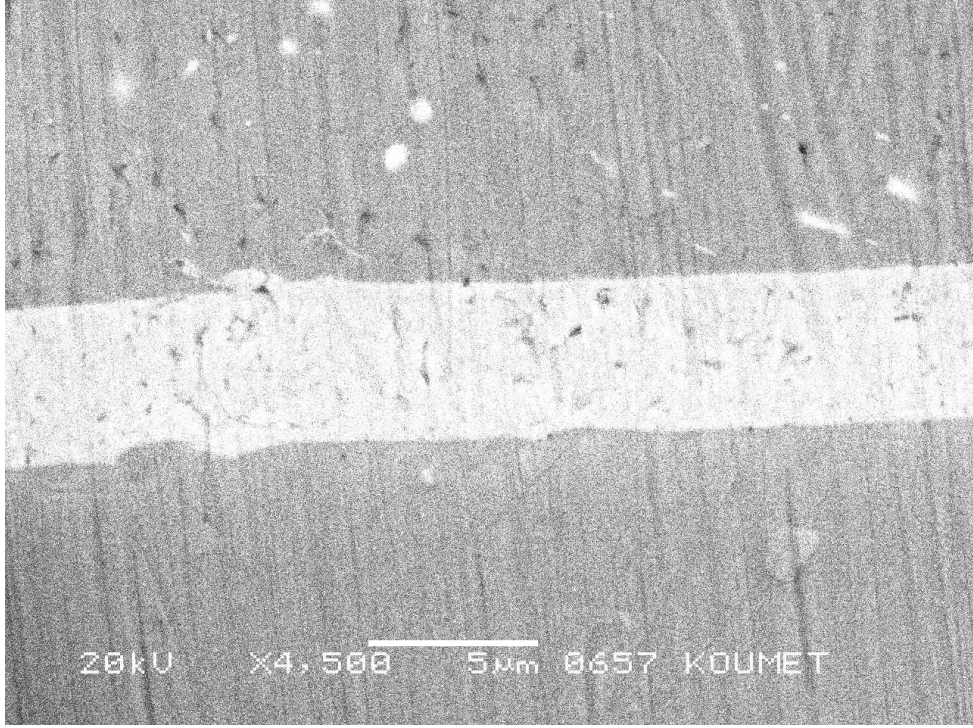
Numune 24;



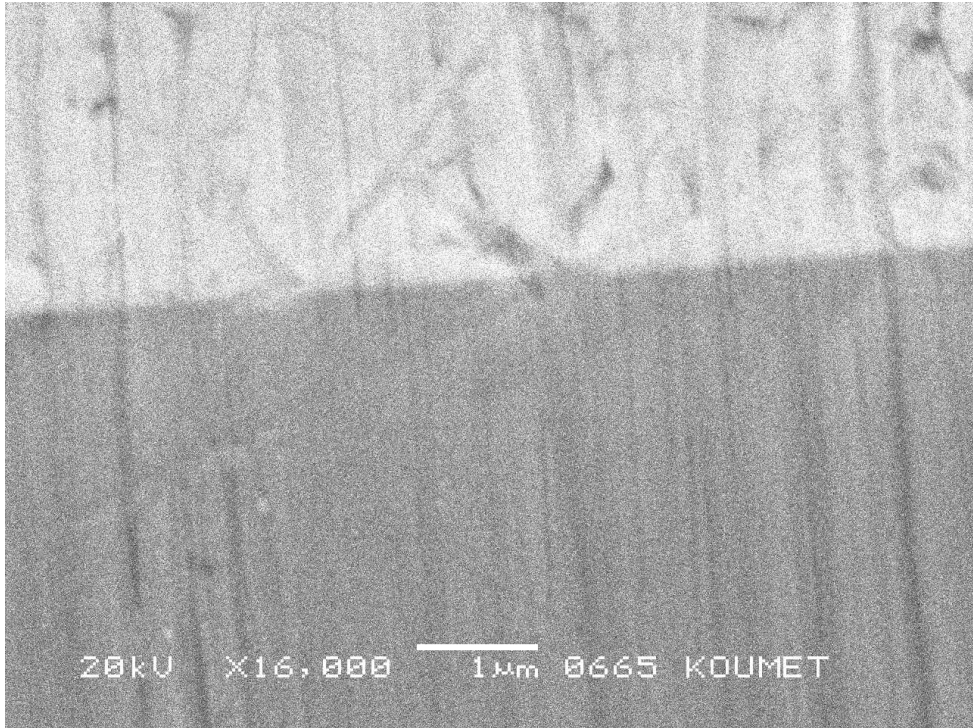
Şekil 4.84 Numune 24 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



Şekil 4.85 Numune 24 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X

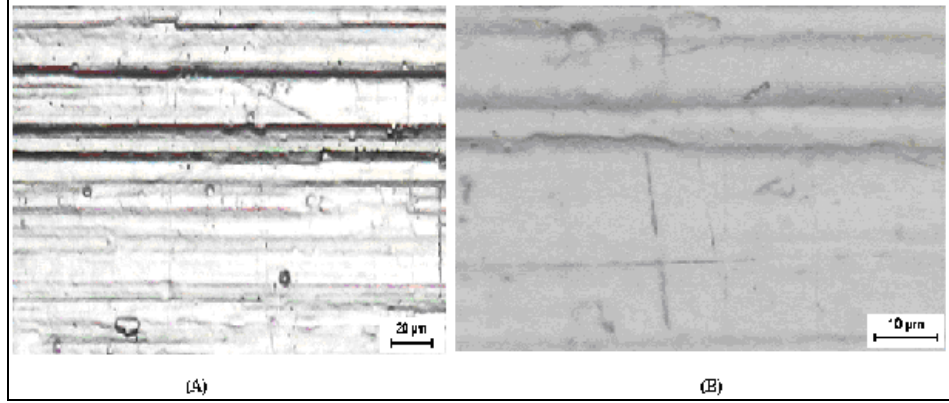


Şekil 4.86 Numune 24 parlatma sonrası SEM görüntüleri



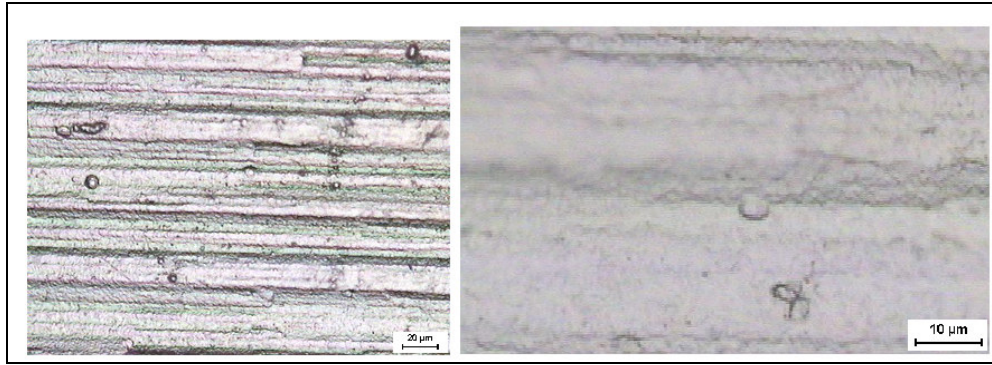
Şekil 4.87 Numune 24 parlatma sonrası SEM görüntüleri

Numune 25;



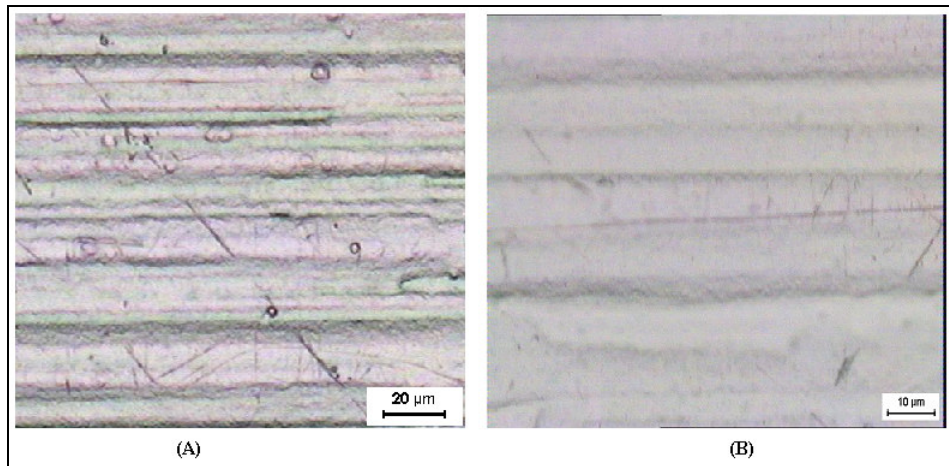
Şekil 4.88 Numune 25 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 26;



Şekil 4.89 Numune 26 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X

Numune 27;

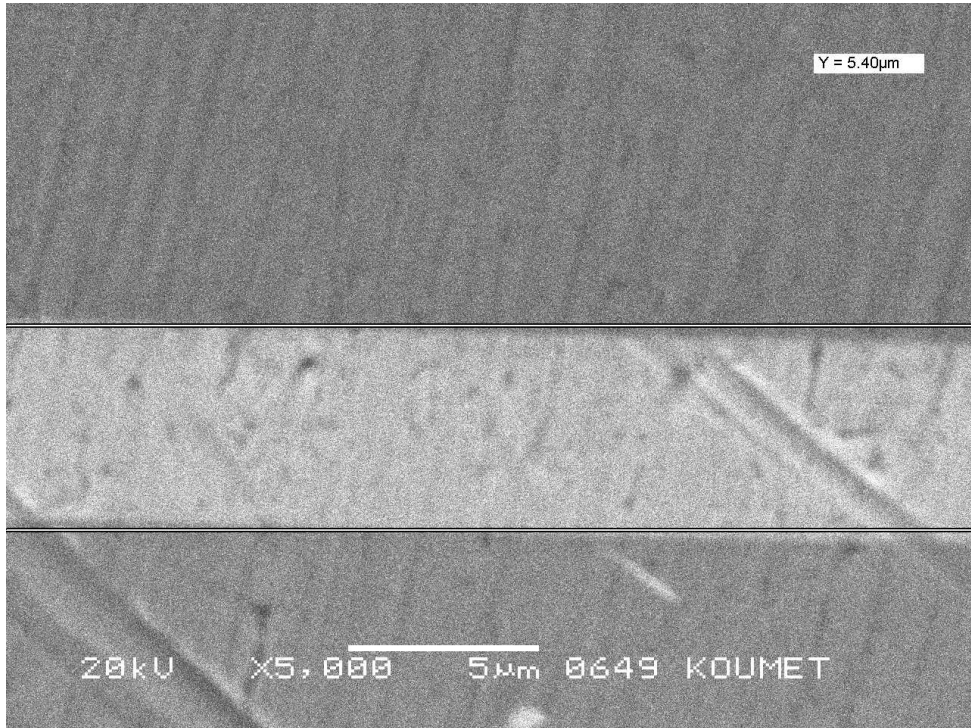


Şekil 4.90 Numune 27 optik mikroskop yüzey görüntüleri (A) 20X (B) 50X



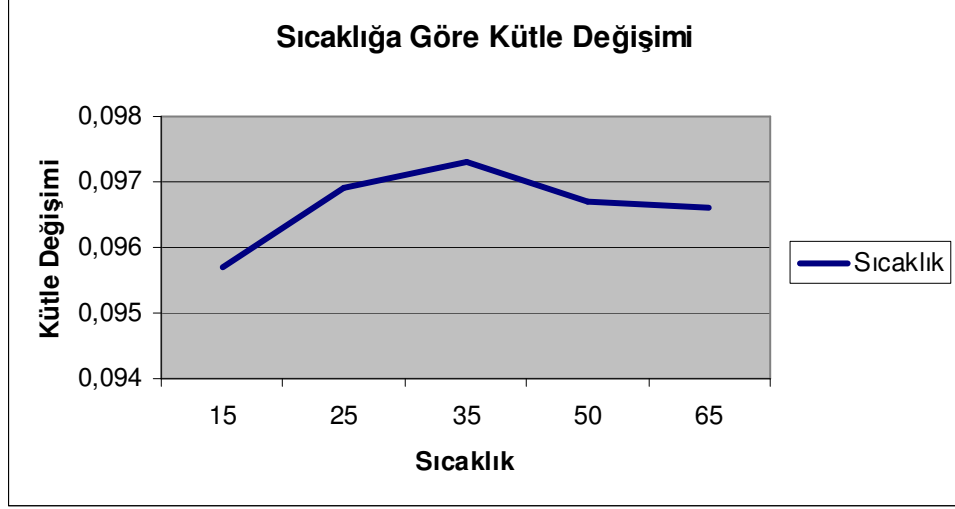


Şekil 4.91 Numune 27 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



Şekil 4.92 Numune 27 parlatma sonrası SEM görüntüleri

Sıcaklık değişimi numune yzeyinde ve yapısında etkili olduğu gibi malzeme yzerinde biriken ktle miktarında da etken olmuştur (şekil 4.93).



şekil 4.93 Sıcaklığa bağlı ktlesel değişim

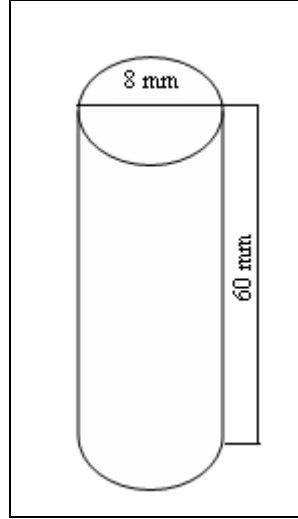
### 4.3 Hesaplamalar

Bir kaplama işleminde verim analizi teorik olarak hesaplanan ve pratikte elde edilen değerlerin birbiri ile olan ilişkisini ifade eder. Teorik değerlerin hesaplanmasında Faraday kanunları kullanılır. Bu kanuna g3re teorik değeri belirleyen formyl aşağıdaki gibidir. Deneysel çalışmada elde edilen verilerde bu formylasyonla belirlenen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

$$m = \frac{A}{n_e} \cdot \frac{I \cdot t}{96500} \quad (4.1)$$

m: kaplanan madde miktarı ( gram)  
A: kaplanan maddenin iyon tartısı (mol/gram)  
ne: kaplanan maddenin iyon değerliği  
I : Akım miktarı ( amper )  
T : zaman (saniye)

Bu deney esnasında kaplama kalınlığı değişimi sabit olarak yani 5 mikron olarak alındı. Tm akım ve zaman hesapları bu değer sabit kabul edilerek belirlendi ve hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır.



Şekil 4.94 Numunenin şematik gösterimi

Kaplamada kullanılan numunelerde numune tutucusu ile kullanılan vida ile birlikte yaklaşık olarak;  $16,63 \text{ cm}^2$ 'dir.

% 100 verimle 60 A-saat 4000 mg gümüş kaplanmaktadır. Gümüşün yoğunluğu  $10,49 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Buradan yola çıkarak;

$1 \text{ m}^2$ 'lik bir alanın 1 mikron ile kaplanması için  $10,49 \text{ g/cm}^3$  Ag gerekmektedir. Bu deneysel çalışmada 5 mikronluk bir kalınlıkta ve  $16,63 \text{ cm}^2$  bir alanda çalışıldığına göre toplanması gereken Ag miktarı;

$$m = 5 \times 10,49 \times 16,63 \cdot 10^{-4} = 87,22 \text{ mg} \quad (4.2)$$

1 A-h ile toplanan madde miktarı;

$$m = \frac{107868}{96500} = 1,117 \text{ mg} \quad (4.3)$$

1 A-H ile 1.117 mg Ag toplandığına göre 87,22 mg Ag toplamak için gerekli akım miktarı;

$$I = \frac{87,22}{1,117} = 78,08 \text{ A-h} \quad (4.4)$$

Bu değer bu çalışmadaki optimum değer olan  $2 \text{ A/dm}^2$  (0,33 A) akım yoğunluğu değerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

% 100 bir verimde deney ortamında elde edilmesi gereken kaplama miktarı Faraday kanunlarına göre;

$$m = \frac{107.868}{1} \cdot \frac{0.33.255}{96500} = 0.0940 \text{ mg} \quad (4.5)$$

## 5 SONUÇLAR ve TARTIŞMA

P1 genel parlaticı özelliği bulunan bir ilavedir. Numunelerde hiçbir parlaticının bulunmadığı konumda oldukça mat ve pürüzlü bir yüzey görüntüsü elde edilmiştir. En az seviyede ilavenin ardından bile yüzey görüntüsünde gözle görülebilir bir değişiklik ve her aşamada parlaklığın artarak devam ettiği gözlemlenmiştir.

Optik mikroskoptaki yüzey görüntüleri bize yüzeydeki dağılmanın başlangıçta tam olarak gerçekleşmediğini, optik mikroskop ve SEM de elde edilen kesit görüntülerinin de istenilen homojen bant yapısının ve kalınlığının (ortalama  $5.25\mu$ ) tam olarak elde edilemediği görülmüştür. Parlaticı miktarının artmasıyla yapı düzelmeye başlamıştır.

Çözeltide P2 parlaticının olmayışı yüzey görüntüsü açısından önemli bir fark göstermemiştir. Ancak, yapı içinde bulunan süreksizliklerin giderek azalmıştır. Optimum banyo koşullarına ulaşıldığında ise hem görüntü bakımından hem de kesit bakımından oldukça düzgün bir kaplama elde edilmiştir.

Parlaticı miktarında meydana gelen değişimle, en fazla numunenin dış görünüşü ve elektrokimyasal kaplamanın yapısı etkilenmiştir. Bununla birlikte parlaticı maddelerin, dağılma gücü üzerindeki etkisi yüzeyde biriken gümüş miktarında da değişime sebep olmuştur.

P1 ve P2 oranlarının normalinden daha fazla (%200) kullanmak yapıyı çok daha iyi hale getirmemekle beraber bölgesel olarak yüzeyde de kesitte de bozulmalar meydana getirmiştir. Bütün bu süreçte yüzeydeki girinti ve çıkıntıların dolduğu da görülmüştür. Ayrıca kaplama miktarındaki değişim diğer oranlara göre biraz daha belirgin hale gelmiştir.

Buradan yola çıkarak, parlaticı miktarları sadece numunenin dış görünüşü ile ilgili olarak etki yapmadığı aynı zamanda kaplama miktarını da bazı durumlarda belirgin bir şekilde etki ettiği söylenebilir. Bunda parlaticıların çözelti içindeki kaplama maddesinin birikmesindeki etkin rolü sebep olmaktadır.

Gümüş konsantrasyonun en az seviyede olması, yüzey görüntüsünün oldukça belirgin bir şekilde bozulmasına sebep olmuştur. Gümüş seviyesinin artmasıyla görüntü parlak hale gelmiştir. Optik mikroskopta yüzeye dağılacak yeterli gümüş olmadığından, bazı bölgelerde açıklıkların olduğu görülmüştür. Bunun yanında bant yapısının minimum değerde kaybolmuş, zayıf bağlantı yöreleri oluşmuş ve oldukça düzensiz bir yapının meydana gelmiştir. Optimum miktara doğru bu olumsuzluklar azalmıştır. Kaplanacak madde gümüş olduğundan ve çözeltiye katılan gümüş miktarı her seferinde değiştiğinden biriken gümüş miktarında da belirgin değişimler görülmüştür.

$KAg(CN)_2$ ; kaplanacak madde olan Ag' nin kaynağı olduğundan, elektrokimyasal kaplama işleminde farklı değerlerde banyoya katılması hem kaplamanın yapısında hem de yüzeyde biriken madde miktarında değişimlere sebep olmuştur.

Siyanür, banyoda iyon haline gelmiş gümüşü yüzeye homojen bir şekilde yayılmasını sağlar. Minimum siyanür seviyesinde, yüzeyde bulanık bir görüntü oluşmuştur. Bununla birlikte; bazı bölgelerde süreksiz yapı görülmüştür. Bu süreksizlikler kendini nodül benzeri yapılar olarak göstermektedir. Kaplama miktarında ise farklı değer aralıkları elde edilmiştir.

Akım yoğunluğu değişimi, en çok kaplanan madde miktarına, dolayısıyla kaplama kalınlığına etki etmektedir. Bu deneyde, kaplama kalınlık değişimi sabit tutulmaya çalışılmış ve akım değişimi ile yapıda ne gibi değişikliklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Elde edilen kesit görüntülerinde büyük farklılıklar görülmemektedir. Ancak en uzun sürede ve en düşük akım yoğunluğunda en düzenli ve sıkı bir yapının oluştuğu görülmüştür. Burada diğer aşamalardan farklı olmak üzere kütle değişiminde biraz daha çok daha belirgin bir durum söz konusudur.

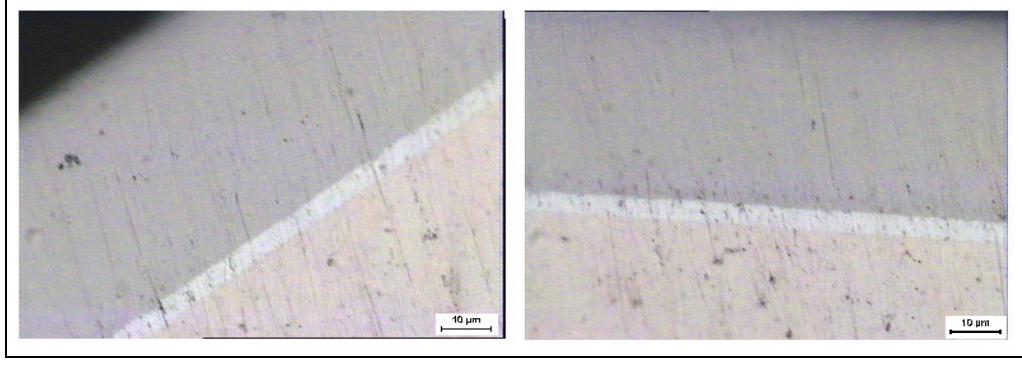
Sıcaklık kaplama işleminde difüzyonu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda elde edilen kaplama kalınlığı yüksek sıcaklıklara göre daha ince olarak meydana gelmiştir. Ancak belli bir sıcaklığın üzerinde, bu etkinin de azaldığı görülmüştür.

Bütün aşamalar boyunca kütle miktarı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Bu nedenle çok fazla belirgin olarak bir kütle artışı ve azalışı görülmemiştir. Ancak bu aşamaları kendi aralarında kıyaslanacak olursa, kütle miktarındaki en fazla değişiminin akım ve sıcaklık değerlerinde olduğu görülür.

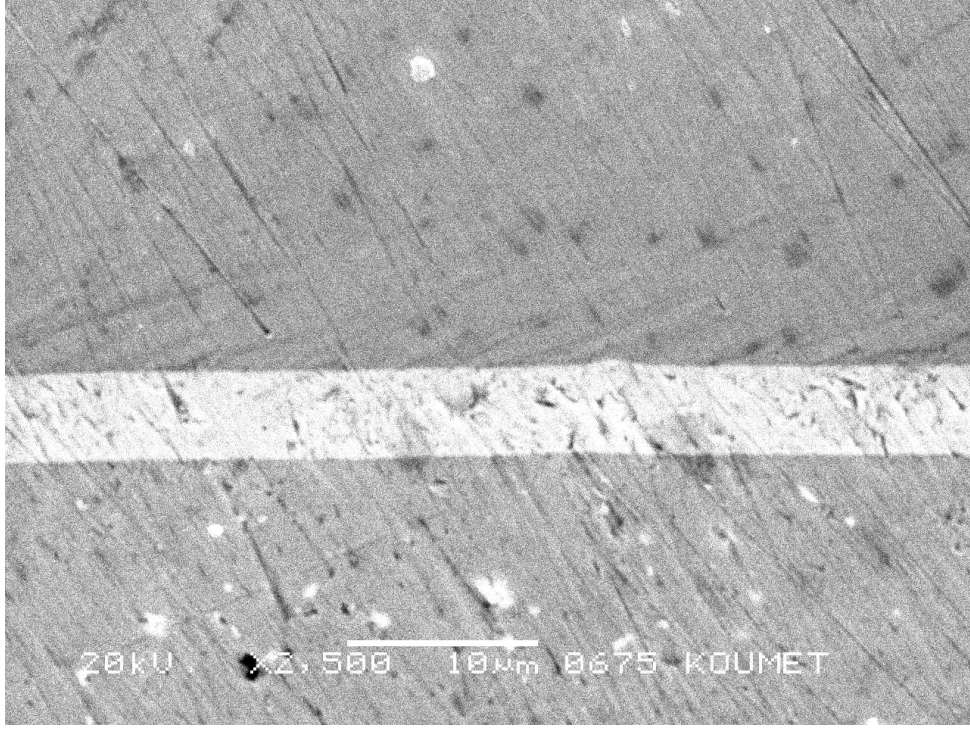
Elde edilen sonuçlardan; elektrokimyasal kaplama işlemlerinde her etken faktörün birbirinden bağımsız olmadığı görülmüştür. Konsatrasyon, sıcaklık ve akım yoğunluğu değişimlerinin her biri, kaplama yapısına farklı özellikler katmıştır. Elektrokimyasal kaplama işleminin uygun şartlar altında gerçekleşip, en kaliteli kaplamalar üç faktörün optimum değerlerinin kesiştiği noktada elde edilmiştir. Bu değerleri bize dokuz nolu numunenin deney şartları vermiştir. Bu değerler Tablo 4.82' de ve elde edilen kaplama yapısı Şekil 4.95 ve 4.96' de verilmiştir.

Tablo 4.12 Dokuz nolu numune değerleri

<b>Değişkenler</b>	<b>Numune 9</b>
P1 Parlaticı ml/l	30
P2 Parlaticı ml/l	20
KAg(CN) <sub>2</sub> g/l	74
KCN	150
Sıcaklık	25
Akım Yoğ. A/dm <sup>2</sup>	2



Şekil 4.95 Numune 9 parlatma sonrası optik mikroskop kesit görüntüleri 50X



Şekil 4.96 Numune 9 parlatma sonrası SEM görüntüleri



## KAYNAKLAR

- [1] “Kimyanın Tarihsel Gelişimi” [www.forumturka.net/forum/archive/index.php/t-75387.html](http://www.forumturka.net/forum/archive/index.php/t-75387.html) (**Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2007**)
- [2] “Elektrolizin Tanımı” <http://www.fenveteknoloji.net>, (**Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2007**)
- [3] “Elektroliz” <http://fizik.us/elektro-magnetik-induksiyon/elektroliz.html>, (**Ziyaret Tarihi:24 Nisan 2007**)
- [4]Eskişehir, Zor, L ‘KimyaDeneyleriII’<http://www.aof.edu.tr/kitap/ioltp/2282/unite14.pdf>, (**Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2007**)
- [5]“Analiz ve Sentez” <http://www.aof.edu.tr/kitap/ioltp/2282/unite12.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2007**)
- [6]Eskişehir, Türk, H. “Elektrokimya” <http://www.aof.edu.tr/kitap/ioltp/2282/unite14.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2007**)
- [7] “Elektroliz” <http://fizik.us/elektro-magnetik-induksiyon/elektroliz.html> (**Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2007**)
- [ 8 ] Zeren, A., “Elektrokimya” İstanbul, 326 – 373, ( 1999 )
- [ 9 ] Berkem, A., “ Elektrokimya” İstanbul, 1984
- [10]“Elektrometal Kaplama Tekniği” <http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/02.pdf> (**Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2007**)
- [11]Evcin, A., “Kocatepe Üniversitesi Kaplama Teknikleri Ders Notları” Afyon 2006 <http://www.kimmuh.com/evcin/coating/coating6.pdf> (**Ziyaret Tarihi 24 Kasım 2007**)
- [12] BERK, V., “Yüzey İşlemler Teknolojileri I” <http://www.galvanoteknik.org/content/blogcategory/28/116/> (**Ziyaret Tarihi 25 Kasım 2007**)
- [13]“Elektrometal Kaplama Tekniği” <http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/01.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2007**)
- [14] MEGEP “Elektrik ve Elektronik Teknolojisi – Elektriğin Temel Esasları” Ankara Ocak 2005 [www.obitet.gazi.edu.tr](http://www.obitet.gazi.edu.tr) ( **Ziyaret Tarihi 11 Kasım 2007** )

- [15] Çelik, K., “Elektrolitik çinko kaplama ve işletme parametrelerinin kaplama kalitesine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 9-22, (2006).
- [16] “Elektrometal Kaplama Tekniği” <http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/03.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2007**)
- [17] “Elektrometal Kaplama Tekniği” <http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/04.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2007**)
- [18] “Elektrometal Kaplama Tekniği” <http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/05.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2007**)
- [19] “Ürün Katoloğu” [www.barismetalkaplama.com/cinko2.gif](http://www.barismetalkaplama.com/cinko2.gif) (**Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2007**)
- [20] “Ürünler” <http://www.tedarik.com/urunler/> (**Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2007**)
- [21] “Nikel Kaplama” [www.galvanomondo.com.tr/pass2.png](http://www.galvanomondo.com.tr/pass2.png) (**Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2007**)
- [22] “Elektrometal Kaplama Tekniği” <http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/08.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2007**)
- [23] “Elektrometal Kaplama Tekniği” <http://www.galvanoteknik.org/form/dosyalar/09.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2007**)

## **ÖZGEÇMİŞ**

1981 yılında Gölcük'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gölcük'te tamamladı. 2000/2001 eğitim-öğretim yılında kaydolduğu Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji & Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2003/2004 eğitim-öğretim yılında Metalurji & Malzeme Mühendisi unvanı alarak mezun oldu. 2005/2006 eğitim-öğretim yılında ise Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji & Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılından beri İZGAZ A.Ş' de görev yapmaktadır.