

**ELEKTRİKSİZ Ni-B KAPLAMALARIN
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KOROZYON
DAVRANIŞINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Hamed AKBARİ KHANTAKHTİ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doç. Dr. Hikmet ALTUN
2014
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİKSİZ Ni-B KAPLAMALARIN MAGNEZYUM
ALAŞIMLARININ KOROZYON DAVRANIŞINA
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Hamed AKBARİ KHANTAKHTİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2014**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**ELEKTRİKSİZ Ni-B KAPLAMALARIN MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KOROZYON
DAVRANIŞINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Doç. Dr. Hikmet ALTUN danışmanlığında, Hamed AKBARİ KHANTAKHTİ tarafından hazırlanan bu çalışma 13/02/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Hikmet ALTUN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKSİZ Ni-B KAPLAMALARIN MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Hamed AKBARİ KHANTAKHTİ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hikmet ALTUN

Magnezyum, sanayi kullanımı olan bütün stabil metallerin en hafifidir (özellik ağırlığı $d=1,72\text{g/cm}^3$) ve eşit hacimdeki alüminyuma ($d=2,7\text{g/cm}^3$) göre yaklaşık üçte bir hafifleme sağlar. Yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve hafifliği nedeniyle; magnezyum alaşımları elektronik, savunma, otomotiv ve uzay endüstrilerinde kullanım alanı bulmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle gelecekte en yaygın olarak kullanılan metaller arasında olma kapasitesine sahiptir. Magnezyum ve alaşımlarının en önemli dezavantajı ise, korozyona karşı dayanaksız olmalarıdır. Korozyonu önlemenin yollarından biri, magnezyumu kaplamak ve dolayısıyla çevresiyle teması kesmektir.

Bu çalışmada AZ31, AZ61 ve AZ91 magnezyumun alaşımları üzerine yapılan elektriksiz Ni-B kaplamanın, bu alaşımların korozyon davranışına etkisi araştırılmıştır. Elektrokimyasal korozyon deneylerinde potansiyostat ve yüzey incelemelerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

2014, 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Magnezyum alaşımları, Korozyon, Elektriksiz Ni-B kaplama

ABSTRACT

MS Thesis

THE EFFECT OF ELECTROLESS Ni-B COATING ON THE CORROSION BEHAVIOUR OF MAGNESIUM ALLOYS

Hamed AKBARI KHANTAKHTI

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hikmet ALTUN

In magnesium based industries, is the lightest of all stable metal (specific gravity $d=1.72\text{g/cm}^3$) equal volume of aluminum ($d=2.7\text{g/cm}^3$) provides about one-third of lightening. Due to this high strength, light weight, and pretty the weight ratio, magnesium alloys are used in the field of electronics, defense, automotive and aerospace industry. Accordingly, the use of magnesium metal in the most decadent might be available in the future. The most important disadvantage of magnesium and its alloys is their weak corrosion resistance. One of the ways to prevent corrosion is to coat the magnesium or its alloys, and, consequently, to cut off contact with the environment.

In this study, the effect of electroless Ni-B coating on the corrosion behavior of AZ31, AZ61 and AZ91 the magnesium alloys was investigated. A potentiostat for the electrochemical corrosion tests and a scanning electron microscopy (SEM) for surface examination were been used.

2014, 48 pages

Keywords: Magnesium alloys, Corrosion, Electroless Ni-B coating.

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hikmet ALTUN'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Elektriksiz Ni-B kaplamaların yapılmasındaki büyük katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL'e, elektrokimyasal korozyon deneylerinin yapıldığı Makine Mühendisliği Bölümü Tribo Korozyon Laboratuvarı sorumlusu Sayın Prof. Dr. Yaşar TOTİK'e, XRD grafikleri ve SEM görüntüleri için Sayın Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU ve Sayın Arş Gör. Hikmet ÇİÇEK'e ve deneysel çalışmaların her aşamasındaki yardım ve katkılarından dolayı Sayın Arş. Gör. Recep ÇATAR'a teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme ve her zaman yanımda olan çok değerli arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Hamed AKBARİ KHANTAKHTİ

Şubat 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Korozyon Reaksiyonları.....	2
1.2. Mekanizmaya Göre Korozyonun Sınıflandırılması	4
1.2.1. Elektrokimyasal korozyon.....	4
1.2.2. Kimyasal korozyon.....	5
1.3. Korozyon Çeşitleri	6
1.3.1. Homojen (Üniform) korozyon.....	6
1.3.2. Galvanik korozyon	6
1.3.3. Çatlak korozyonu	8
1.3.4. Çukur (oyuklanma) korozyonu (pitting)	9
1.3.5. Kaplama altı korozyonu	10
1.3.6. Gerilmeli korozyon.....	10
1.3.7. Kavitasyon korozyonu.....	11
1.3.8. Kazımalı korozyon	12
1.3.9. Tane içi korozyonu.....	12
1.3.10. Taneler arası (tane sınırları) korozyon	12
1.3.11 Erozyon korozyonu	13
1.3.12. Fretting korozyonu	15
1.3.13. Mikrobiyolojik korozyon	15
1.4. Korozyona Sebep Olan Başlıca Etkenler	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	18
2.1. Magnezyum ve Alaşımları	25
2.1.1. Magnezyum alaşımlarının üstünlükler ve dezavantajları	25

2.2. Magnezyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları	27
2.2.1. Havacılıkta magnezyum	28
2.2.2. Otomotiv sektöründe magnezyum.....	29
2.2.3. Savunma sanayisinde magnezyum	30
2.3. Yüzey Kaplama Teknikleri	31
2.3.1. Elektriksiz (electroless) Ni-B kaplamalar	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
3.1. Materyal.....	33
3.2. Numune Hazırlaması	33
3.3. Elektrokimyasal Deney	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	36
4.1. Elektrokimyasal Korozyon Deneyleri	36
4.1.1. Na ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki elektrokimyasal korozyon deneyleri	36
4.1.2. NaCl çözeltisi içerisindeki elektrokimyasal korozyon deneyleri	39
4.2. XRD Analizleri.....	41
4.3. SEM Görüntüleri	43
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif Akım
CVD	Kimyasal Buhar Çökeltme
°C	Santigrat Derece
DC	Doğru Akım
E	Potansiyel
E_{kor}	Korozyon Potansiyeli
i	Akım
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
PVD	Fiziksel Buhar Çökeltme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-ışını Difraktometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Anodik ve katodik reaksiyonların şematik resmi	4
Şekil 1.2. Üniform korozyonun oluşum şekli	6
Şekil 1.3. Galvanik korozyona uğramış bir boru resmi	7
Şekil 1.4. Bir bodrum kat kolonunda oluşmuş çatlak korozyonu resmi	8
Şekil 1.5. Çukurcuk korozyonu hasar şekillerinin şematik görünümü	9
Şekil 1.6. Tipik bir gerilmeli korozyon çatlağı	11
Şekil 1.7. Taneler arası korozyonun şematik görünümü.....	13
Şekil 1.8. Alüminyumda taneler arası korozyon.....	13
Şekil 1.9. Erozyon korozyonuna uğramış parça resimleri	14
Şekil 1.10. Fretting korozyonunun şematik resmi	15
Şekil 2.1. Yapımında toplam 8.600kg magnezyum kullanılan Convair B-36 uzun menzilli bombardıman uçağı	29
Şekil 2.2. Magnezyum teknoloji gelişimi için VW stratejisi	30
Şekil 3.1. Elektrokimyasal korozyon deney düzeneğinin şematik resmi.....	35
Şekil 4.1. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ31 alaşımının %3,5 Na ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	36
Şekil 4.2. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ61 alaşımının %3,5 Na ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	37
Şekil 4.3. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ91 alaşımının %3,5 Na ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	38
Şekil 4.4. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ31 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	39
Şekil 4.5. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ61 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	40
Şekil 4.6. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ91 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	41
Şekil 4.7. Kaplanmamış ve Ni-B kaplanmış AZ31 magnezyum alaşımın XRD grafikleri	42

Şekil 4.8. Kaplanmamış ve Ni-B kaplanmış AZ61 magnezyum alaşımının XRD	
grafikleri	42
Şekil 4.9. Kaplanmamış ve Ni-B kaplanmış AZ91 magnezyum alaşımının XRD	
grafikleri	43
Şekil 4.10. Elektriksiz Ni-B kaplanmış magnezyum alaşımlarının SEM görüntüleri	
(a) AZ31, (b) AZ61, (c) AZ91	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri.....	33
Çizelge 3.2. Elektriksiz Ni-B kaplama banyosunun bileşenleri ve kaplama parametreleri	34

1. GİRİŞ

Korozyon, metal ve alaşımların ortamları ile elektrokimyasal ve kimyasal reaksiyonları sonucu bozunmalarıdır. Ancak yeni bulgular, metal olmayan malzemelerin de çevresel koşullardan etkilendiklerini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, korozyon deyimi yapı malzemesi niteliği olan tüm malzemelerin çevrenin etkisi ile olan bozunmalarını kapsar biçimde kullanılabilir. Dilimizde kesinlikle yerleşmemiş olmakla beraber paslanma deyimini demir ve demir esaslı malzemelerin (çelik ve dökme demirler) korozyonu, pas deyimini de aynı tür malzemelerden kaynaklanan korozyon ürünü anlamında kullanabiliriz. Korozyonun temel nedeni, metallerin arıtılmış saf formlarında kararsız olmalarından kaynaklanmaktadır. Metaller daima doğada bulundukları şekildeki formlarına tekrar geri dönme eğilimindedirler (Gürlek 2009).

Magnezyum ve alaşımları hafiflik, yüksek özgül dayanım, bükülmeye karşı dayanım, daha iyi süneklik, gürültü ve titreşim sönümleme özelliklerine sahiptir. Aynı zamanda mükemmel dökülebilirlik ve işlenebilirlik kabiliyetine haizdir, bu avantajları nedeniyle mühendislik uygulamalarında sıkça tercih edilebilecek malzemelerdir (Mert ve Özdemir 2011).

Magnezyum ve alaşımlarının oldukça düşük korozyon direnci, hekzagonal sıkı paket (SDH) kafes yapısı nedeniyle sınırlı soğuk şekillendirilebilirliği, katılaşma sırasındaki yüksek çekme oranı, düşük sürünme ve yorulma direnci en önemli dezavantajlarıdır. Bu özellikler magnezyum alaşımlarının kullanımını kısıtlamaktadır.

Magnezyum ve alaşımlarının korozyon direncini arttırmanın yollarından biri de yüzey modifikasyonudur. Bu amaçla halen plazma püskürtme, elektro kaplama, elektriksiz krom veya nikel kaplama işlemleri, anodik oksidasyon, kimyasal kaplama, fiziksel buhar biriktirme ve plazma anodik oksidasyon işlemleri gibi bir takım yüzey modifikasyon işlemleri kullanılmaktadır (Altay 2012).

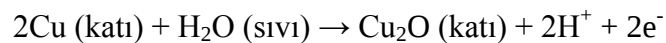
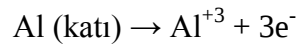
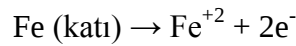
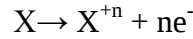
Elektriksiz Ni-B kaplama, yüksek sertlik ve aşınma direnci, iyi kayganlık ve lehimlenebilirlik gibi özelliklerinden dolayı havacılık, otomotiv, kimya ve elektrik endüstrilerinde kullanım bulmaktadır. Son zamanlarda özellikle paslanmaz çeliğin aşınma direncini artırmaya yönelik olarak da kullanılmaya başlanmış ve bunun üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde magnezyum alaşımları üzerine uygulanan Ni-B kaplamaların, bu alaşımların korozyon direncini nasıl etkilediği ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada magnezyum alaşımları üzerine elektriksiz Ni-B kaplamalar yapılmış ve yapılan kaplamaların bu alaşımların korozyon dirençlerine etkisi incelenmiştir.

1.1. Korozyon Reaksiyonları

Korozyon sırasında anodik (elektron verme, yükseltgenme) reaksiyonları ile katodik (elektron alma, indirgenme) reaksiyonları birlikte oluşur. Elektrot reaksiyonları, elektrolit ve metal ara yüzeyinde yük transferine neden olan kimyasal reaksiyondur. Anodik ve katodik reaksiyon olmak üzere iki türdür (Anonim 2007-2013).

(a) Anodik Reaksiyon

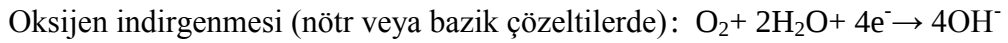
Metallerin elektron vererek kendi iyonlarına yükseltgenmeleridir.



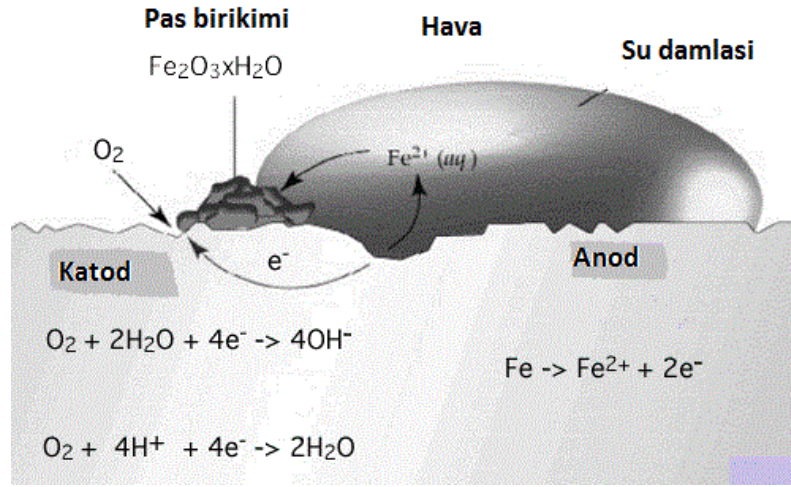
(b) Katodik Reaksiyon

Metallerden elektrolite negatif yükün transfer olduğu elektrot reaksiyonudur. Katodik reaksiyon daima indirgenme reaksiyonudur (Anonim 2007). Elektrokaplama, anottaki reaksiyonun tersine katotta bir indirgenme (redüksiyon) reaksiyonu olur. Korozyonda ise, elektrokaplamadaki gibi bir kaplama olmaz. İndirgenme reaksiyonu bunun yerine, katotta bir yan ürün olarak gaz, sıvı veya katı oluşturur. Metal azalır ve katot yüzeyini kaplar (Anonim 2013).

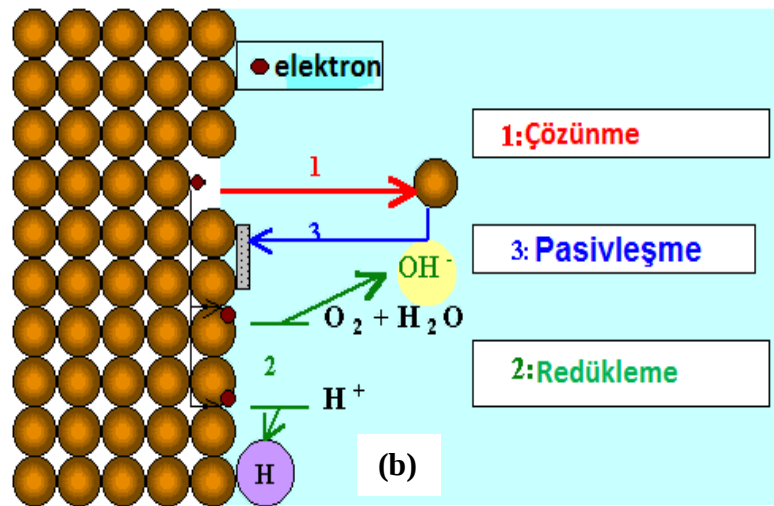
Korozyon reaksiyonlarında çok karşılaşılan katodik reaksiyonlar şunlardır:



Anodik ve katodik reaksiyonların oluşum şekli şematik olarak Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



(a)

Şekil 1.1. Anodik ve katodik reaksiyonların şematik resmi (Salazar *et al.* 2013)

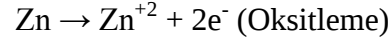
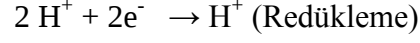
1.2. Mekanizmaya Göre Korozyonun Sınıflandırılması

1.2.1. Elektrokimyasal korozyon

Bir metalin elektron kaybederek oksitlenmesi, o metalin korozyona uğradığını gösterir. Örneğin, bir çözelti içerisinde H^+ bulunması ve Zn malzeme ile temas etmesi durumunda metal tamamen tükeninceye kadar yüzeyden gaz kabarcıkları çıkar. H^+ ,

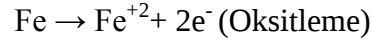
elektron olarak, H₂ gaz çıkışına yol açar.

Sonuçta



reaksiyonları gerçekleşir.

Zayıf asidik çözeltiye Fe ve Cu malzeme daldırıldığında,



reaksiyonları ile gaz çıkışı sürer.

İki farklı faz arasında, elektriksel yük (şarj) dengesinin bozuk olduğu bir arayüzeyde oluşan elektron alışverişi elektrokimyasal bir olay olarak tanımlanır. Elektrokimyasal reaksiyonda elektron alışverişi belirli ve sürekli bir ara tabakada meydana gelmez. Elektrokimyasal korozyona sulu ortamlarda, eriyik tuzlarda ve cüruflarda rastlanır (Anonim 2011).

1.2.2. Kimyasal korozyon

Yüksek sıcaklıklarda gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşan oksitlenme olayı kimyasal korozyon olarak tanımlanır. Genellikle organik çözeltiler ve gazlarla olan reaksiyon kimyasal niteliktedir. Bu durumda belirgin bir ara faz yoktur (Anonim 2011).

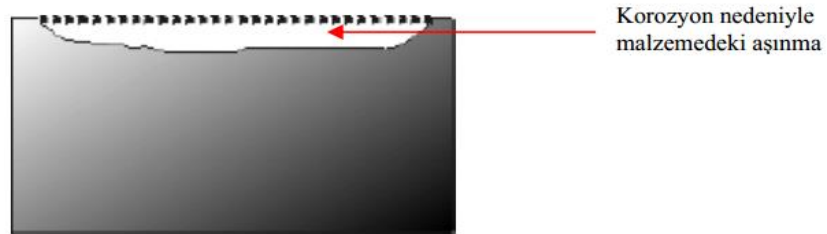
1.3. Korozyon Çeşitleri

En yaygın olarak rastlanılan korozyon türleri aşağıda sıralanmıştır.

1.3.1. Homojen (Üniform) korozyon

Metal yüzeyinde eşdeğer şiddette oluşan korozyon türüdür. Korozyon sonucu metal kalınlığı her noktada aynı miktarda azalır. Atmosfer ortamında ve herhangi bir dış etkenden etkilenmeyen, tamamı aynı cins malzemeden üretilmiş olan metaller homojen korozyona uğrar (Gövce 2005).

Homojen dağılımlı korozyon, diğer korozyon türlerinden daha fazla metal kaybına yol açar. Ancak, bu korozyonun hızı basit deneylerle belirlenebildiğinden, korozyon ortamına bırakılan parçaların ömürlerine ilişkin tahminlerde bulunulabilir. Bu nedenle homojen dağılımlı korozyondan fazla korkulmaz. Bu korozyon, yüzey kaplama, katodik koruma veya korozyon önleyici madde kullanmak suretiyle kontrol edilebilir (Akdoğan 2009).

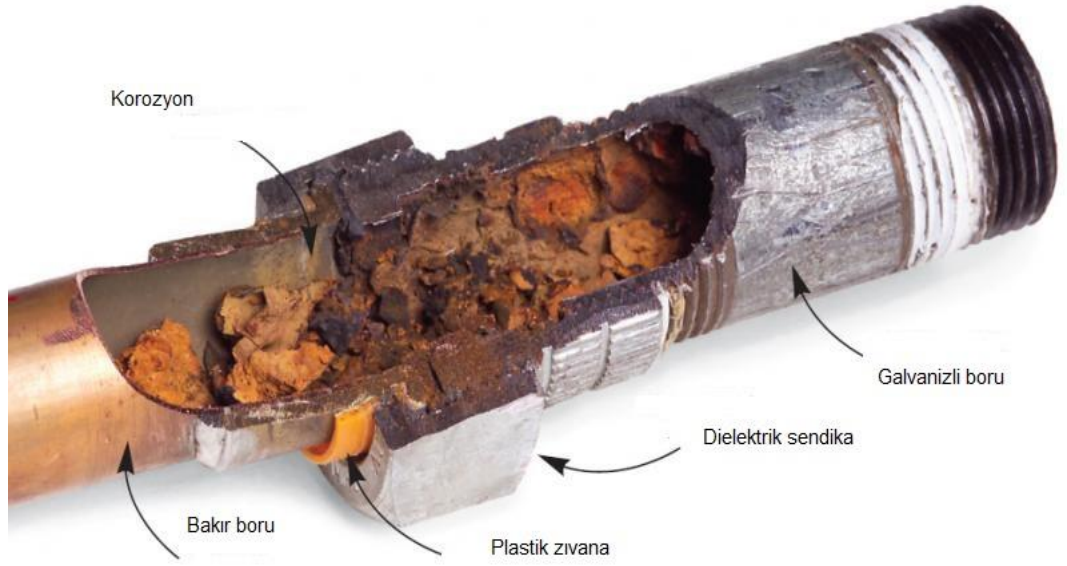


Şekil 1.2. Üniform korozyonun oluşum şekli (Gövce 2005).

1.3.2. Galvanik korozyon

Galvanik korozyon, farklı malzeme kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu tür korozyonda, farklı potansiyelde iki metalin birbiriyle temas etmesi neticesinde aralarında bir galvanik pil oluştururlar. Aktif olan metal anot görevi alarak, soy metal

ise katota dönüşür ve aktif metalde korozyona sebep olur. Galvanik korozyon çeşitli şekillerde ortaya çıkar. Mesela, aynı metalde metalürjik farklılıklardan dolayı da lokal galvanik akımlar meydana gelir. Aynı şekilde toprak içindeki yapılarda toprak yapısındaki farklılıklar da galvanik korozyon nedenlerindendir. Bu tip korozyonun önlenmesi için, aynı ortamda çalışacak malzemeler, galvanik serisi önceden belirlenerek seçilmeli veya temasta olan parçalar arasında yalıtım yapılmalıdır (Gövce 2005). Galvanik korozyona uğramış bir boru resmi Şekil 1.3'te görülmektedir.



Şekil 1.3. Galvanik korozyona uğramış bir boru resmi (Aksoy vd 2010)

Galvanik dizide birbirinden uzak metal veya alaşımların bir ortamda çalışması durumunda, eşlenme imkanını önlemek için, iki metal arasında iyi yalıtkan bir malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu tür eşlemelerin önlenmesi için, ayrı türden metaller arasında yalıtkan conta veya ara parçaları kullanılır. Temas eden metallerde, yüzey alanı küçük olan metalin soy olması gerekir. İki metalin galvanik korozyona uğraması halinde, korozyonu önlemek amacıyla, daha aktif üçüncü bir metal, sisteme ilâştirilerek korozyon tamamen önlenir. Bu önlemin uygulanması halinde korozyon, sisteme eklenen metal üzerinde yoğunlaşır ve sistemin daha soy metallerden oluşan kısımları korozyona karşı korunur (katodik koruma). Düşük hızlı korozyonlarda ve sürekli bakım ve

yenilenmenin sağlanabildiği koşullarda, yüzey kaplamaları yararlı olabilir (Muratoğlu 2008).

1.3.3. Çatlak korozyonu

Dar bir aralıkta veya metal yüzeyinde bulunan bir çatlak içinde oluşan korozyon türüdür. Bu korozyonun asıl nedeni, çevre ile çatlak içi elektrolit arasında oksijen konsantrasyonu veya metal iyonu konsantrasyonunda fark olmasıdır (Gövce 2005). Metalik korozyon genel olarak, metalin açık yüzeyinde bozulma ile oluşmaktadır. Korozyon, tüm yüzeyde düzenli veya belli bölgede şiddetli olmak üzere değişik hallerde meydana gelir. Çatlak korozyonu başka bir bölgesel korozyon türü olan çukurcuk korozyondan daha hızlı başlar. Bu tür korozyon önce dar açıklıklarda, sonra iki metal yüzey arasında veya metal-metal olmayan yüzeyler arasında görünür. Genellikle çatlaklarda durgun ortam şartları olduğunda oluşur. Flanş bağlantı yerleri veya dişli bağlantılarındaki çatlaklar, en hassas kısımlardır. Bir bodrum kat kolonunda oluşmuş çatlak korozyonu olarak Şekil 1.3’de gösterilmiştir (Anonim 2012).

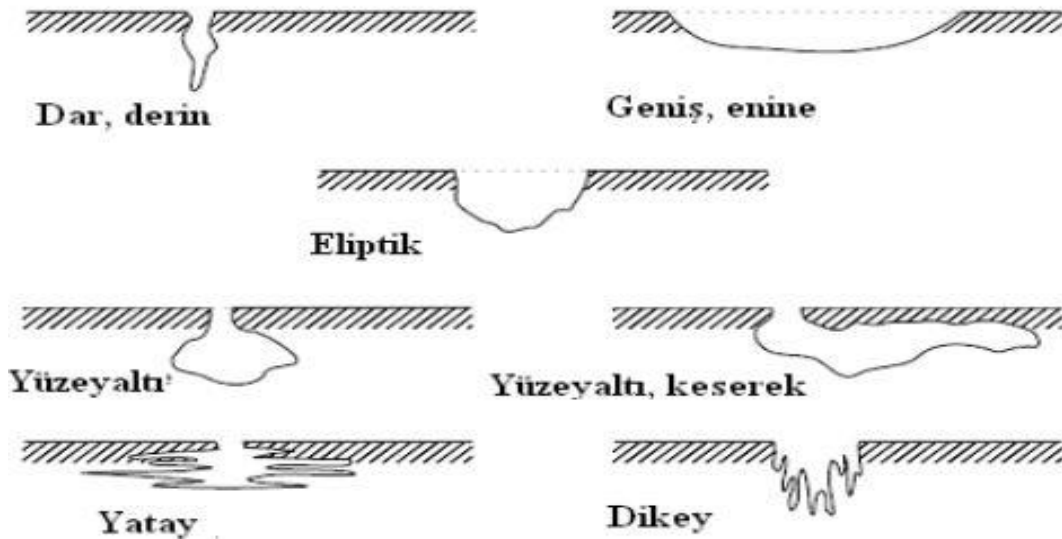


Şekil 1.4. Bir bodrum kat kolonunda oluşmuş çatlak korozyonu resmi (Anonim 2011)

1.3.4. Çukur (oyuklanma) korozyonu (pitting)

Metal yüzeylerinin bazı noktalarında çukurcuk oluşturarak meydana gelen korozyondur. Anot ve katot bölgeleri birbirinden ayrıldığı için; anot, yüzeyin herhangi bir noktasından açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki geniş bir alandır. Magnezyum ve alüminyumda en yaygın görülen korozyon tipidir. Çukurcuk, ilk olarak beyaz pudramsı bir şekilde görünür. Bununla beraber, yüzeyde delikler yada çukurcuklar görünür. Büyüteçle bakıldığında, bu çukurcukların bazı durumlarda vadi ya da tepecik şeklinde oluştuğu görülecektir. Bu tip çukurcuk görüldüğünde, bir asit temizleme ya da aşındırma metoduyla temizlenebilir (Akten 2011).

Metal yüzeylerde oluşan çok sayıda çukurlar genellikle bir karıncalanma görünümü verir. Çukurcukların çapı, derinliği ve sıklığı malzeme ve ortama bağlı olarak değişir. Toplam metal kaybı, homojen dağılımlı korozyonun aksine çok küçüktür. Şekil 1.5’de çukurcuk korozyonu hasar şekillerinin şematik görünümü verilmiştir (Gövce 2005).



Şekil 1.5. Çukurcuk korozyonu hasar şekillerinin şematik görünümü (Gövce 2005)

1.3.5. Kaplama altı korozyonu

Kaplanmış bir metalin potansiyeli ile kaplamasız metalin potansiyeli birbirinden farklıdır. Kaplamanın metal yüzeyinde bazı bölgelerinin bozulması veya delinmesi halinde, bu bölgeler anot olacaktır ve korozyona uğrayacaktır. Bu tip korozyon, metal yüzeyinde çok küçük bölgelerde yoğunlaşan bir korozyondur. Bu tür korozyona karşı, mümkün olduğunca uygun potansiyel değerlere sahip kaplamalar kullanılmalıdır (Şendenel 2004).

1.3.6. Gerilmeli korozyon

Çekme gerilmesine maruz ve saldırgan bir ortamda bulunan, korozyona duyarlı malzemelerde ortaya çıkar. Saldırgan ortamlarla temas halinde olan makine parçaları veya metal yapıların bir çoğu, mekanik gerilmeler altındadır. Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motorların silindir gömlekleri, pompa mili ve rotoru gibi çok sayıda örnek verilebilir. Gerilmeli korozyon, aynı zamana rastlayan korozi ve mekanik nedenlerin yol açtığı bozunma türü olarak bilinir. Bozunma, parça yüzeyinde mevcut çatlaklar aynı zamanda gerilme yoğunlaşmasına olanak sağlayan diğer geometrik düzensizliklerle neden olur (örneğin, çukurcuk korozyonu mekanik gerilmelerin de etkisi altına girerek keskin uçlu çatlaklar oluşturabilir). Çatlak ilerlemesinin önemli nedenlerinden biri, mekanik gerilmelerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkenliğidir ve bu koşula bağlı olarak korozyon belirli hızlarla malzeme içine doğru ilerler. Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamayacak ölçüde daralması sonucu, ani kopmalar meydana gelir. Çatlak ilerleme mekanizması, üç etapdan oluşur. İlk olarak korozi çevrenin etkisi, ikincisi korozyona karşı önlem alınmamış yüzeyde güçlü gerilme oluşumu ve son aşamada gerilmeli korozyon çatlağı olarak bilinen hasar oluşumu şeklinde meydana gelir (Gövc 2005).



Şekil 1.6. Tipik bir gerilmeli korozyon çatlağı (Mermer 2009)

Gerilmeli korozyonu diğer korozyon türlerinden farklı kılan özelliği, kimyasal ve mekanik etkilerin birbirlerini desteklemesi ve korozyonu hızlandırmasıdır. Diğer hallerde aynı zamana rastlamayan korozyif ve mekanik etkilerin toplamı, gerilmeli korozyon olarak nitelenemez. Gerilmeli korozyonun oluşabilmesi için gerekli koşullar:

- A) Duyarlı bir malzeme
- B) Etken bir ortam
- C) Çekme gerilmesi
- D) Yeterli zaman (Gövce 2005)

1.3.7. Kaviteasyon korozyonu

Kaviteasyon korozyonu, hızla akan sıvıların malzeme yüzeyine yakın bölümlerinde oluşan alçak basınç kabarcıklarının büyümesi ve patlaması ile meydana gelir. Oluşan şok dalgaları, yüzeye çarparak malzeme yüzeyini örten tabakayı tahrip ederler. Açığa çıkan metal, çözünerek korozyona uğrar. Bu tür korozyona uğrayan yüzeylerin görünümü kaba ve pürüzlüdür, oyuklar sıktır ve yüzeyde petek görünümü oluşur (Mermer 2009).

1.3.8. Kazımalı korozyon

Yeterli yük altında birbirleri üzerinde ileri geri hareket eden metal yüzeylerde görülen bozunma türüdür. Bozunan yüzeylerin görünümü, çok sayıda oksit parçaları ile çevrelenmiş çukurcuklardan oluşur. Olaya, korozyonla desteklenen aşınma olarak bakılabilir. Başlangıçta parçaların teması, yüzeylerin çıkıntılı kısımlarının birbirlerine değmesi ile sağlanır. Yüksek gerilim altında birbiriyle kaynayan sivri uçlar, parçaların kayma hareketi sırasında kazınırlar ve ara yüzeye giren havanın oksijeni ile oksitlenirler. Bu şekilde oluşan oksit parçacıklarını ara yüzeyden uzaklaştırma olanağı yoktur. Bunlar genellikle serttir ve kazıyıcı ortam olarak etkilidirler. Olay, kazınan parçaların oksitlenmesi ile tekrarlanarak sürdürülür (Gövce 2005- Mermer 2009).

1.3.9. Tane içi korozyonu

Genellikle yük altında çalışan parçalarda görülen tane içi korozyonda tane içi anot, tane sınırı ise katot görevi üstlenmektedir (Mermer 2009).

1.3.10. Taneler arası (tane sınırları) korozyon

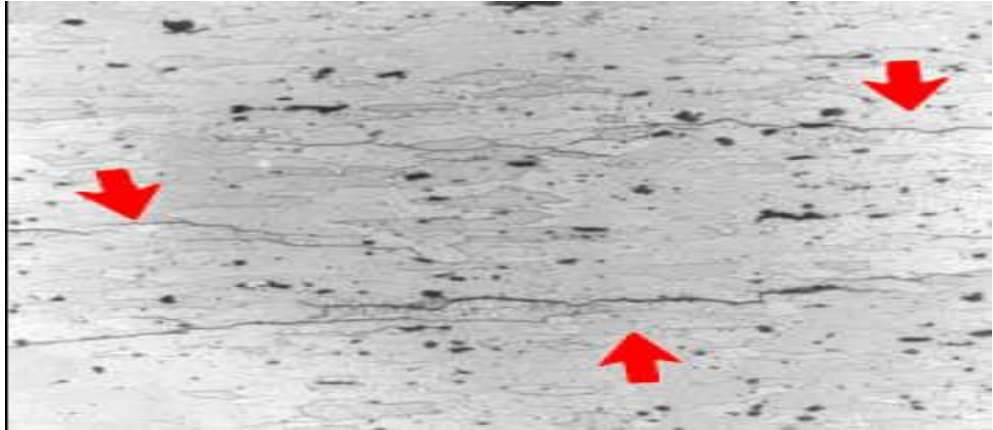
Korozyon olayının malzemenin tane sınırları yakınında yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türüdür. Tane sınırlarının amorf yapıda olması nedeniyle, tane sınırlarının potansiyel enerjisi tane içine göre daha büyük olduğundan, daha soy yapıda olan tane içi korunur ve tane sınırı korozyona uğrar (Mermer 2009).

Bu korozyonun mekanizması elektrokimyasaldır. Bir alaşım, taneleri ve tane sınırı olmak üzere, birbiriyle temas halinde olan iki farklı yapıya sahiptir. Tane sınırları taneciklere göre daha anodiktir ve bu nedenle tane sınırları korozyona uğrar. Alaşımın mukavemeti büyük ölçüde tanecikler arasındaki bağ ile sağlanır. Bu bağ bir kere tahrip edilirse, tanecikler birbirleriyle mekanik olarak bağlı gibi görünse de aralarındaki kimyasal bağ kopmuş olur. Çukurcuk korozyonundaki gibi bu tür korozyon hasarında da, tahrip edilen metal miktarına oranla malzemede çok büyük mukavemet ve süneklik

kaybı olur (Gövcce 2005).



Şekil 1.7. Taneler arası korozyonun şematik görünümü (Mermer 2009)



Şekil 1.8. Alüminyumda taneler arası korozyon (Gövcce 2005)

1.3.11. Erozyon korozyonu

Ortam akışkanı ile metal malzeme arasındaki bağıl hızın yüksek olduğu durumlarda oluşan korozyona denir. Özellikle boru sistemlerinde ve limanlarda çok rastlanan bu tür korozyonda metal ile korozif ortam arasındaki bağıl hareket nedeniyle metalin aşınma hızı artar. Metal yüzeyinde delikler, hendekler ve oluklar oluşur ve özellikle su içinde hareket halindeki birçok yapıda ortaya çıkar. Korozyon hızının artmasında ortamdaki katı parçacıkların varlığı önemli bir sebeptir (Mermer 2009).

Erozyonlu korozyonun rastlandığı haller çok yaygındır. Örnek olarak sıcak su ve buhar hazırlama tesisleri, gaz ve sıvıların pompalanması ve uzun mesafelere taşınmasında kullanılan boru hatları verilebilir. Pompa gövdesi ve kanatları, valf yuvaları ve valfler, kondenser ve kazan boruları, türbin kanatları erozyonlu korozyona uğrayan parçalardır (Anonim 2007). Şekil 1.9'da erozyon korozyonuna uğramış parça resimleri gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Erozyon korozyonuna uğramış parça resimleri (Aksoy vd 2010)

Erozyon korozyonu ile karşılaşılabilecek başlıca yerler:

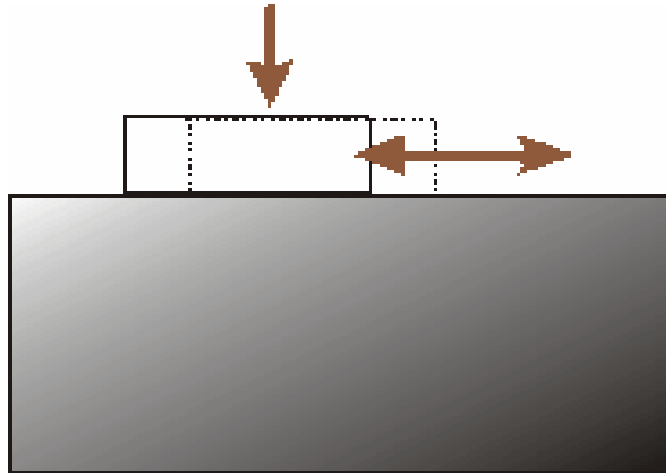
- 1) Akışın daraldığı veya yön değiştirdiği mekanlar.
- 2) Gaz akıntılarının küçük miktarlarda da olsa katıyı ve sıvıyı sürüklediği durumlar ve türbülans oluşan yerler.
- 3) Pompa gövdeleri

4) Vana oturma yüzeyleri

5) Boru ağızları, yoğuşturucular, fırın tüplerinin girişleri, boru eklenti parçaları (Anonim 2007).

1.3.12. Fretting korozyonu

Birbirine sürtünen bağlantı parçaları arasında görülen bir tür korozyondur. Yük altındaki sürtünme nedeniyle metallerin birinde veya her ikisinde de korozif ataklar görülebilir. Bu tür korozyonun oluşmasındaki en büyük sebep, titreşim ve küçük boşluklardaki kayma hareketleridir. Titreşim ve kayma hareketleri metal yüzeyindeki boya, conta veya yağlayıcı gibi koruyucu bölgelere hasar verebilir. Bu bölgelerde oluşan galvanik durum sebebiyle, fretting korozyonu oluşur. Şekil 1.10’da fretting korozyonunun şematik resmi verilmiştir (Gövce 2005).



Şekil 1.10. Fretting korozyonunun şematik resmi (Gövce 2005)

1.3.13. Mikrobiyolojik korozyon

Mikrobiyolojik korozyon mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. Bu durum, dökme demirde fark edilen ve genellikle grafitlenme olayı ile açıklanan hızlı korozyonun da başlıca sebeplerindendir. 100 yıldan

fazla bir süre önce ortaya çıkarılan mikrobiyolojik korozyonun, modern endüstriyel sistemler için ciddi bir problem olduğunun farkına son 30 yılda varılmıştır. Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir. Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda, mikrobiyolojik korozyon olayına nadiren rastlanır. Başka sebeplerle meydana gelen korozyon olaylarına ayrıca mikrobiyolojik korozyon olayları da katılarak korozyon hızını artırıcı etki yapar. Bakteriler içerisinde en tehlikeli olanı, yetersiz havalandırılmış ortamlarda yaşayan sülfat indirgeyen bakterilerdir. Bu bakteriler, topraktaki sülfatları indirgeyerek, demir alaşımlarını çok çabuk etkilediği bilinen H_2S 'ı serbest hale geçirirler. Bozunma genellikle çukurcuk korozyonu türündedir. Biyolojik korozyon, zeminde kullanılan çelik boruların hızla bozunmasına ve çalışma ömrünün önemli ölçüde kısılmasına neden olur. Bu tür korozyonun etkinliği, koruyucu yüzey kaplamalarının zamanla veya yer yer bozunması ile artar (Göyce 2005).

1.4. Korozyona Sebep Olan Başlıca Etkenler

Ortamın etkisi:

Korozyona uğrama hızı metallerde büyük bir oranda, çalışılan ortama bağlıdır. Ortamdaki nem miktarı, asitlik-baziklik durumu, oksijenin ve havanın su ortamı tarafından geçirilebilme kabiliyeti, kaçak akımlar ve çeşitli bakteriler korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı etken olarak ortaya çıkmaktadır.

Sıcaklığın etkisi:

Ortam sıcaklığının artması, iyon hareketini artırarak korozyon hızını artırır. Örneğin, ortam sıcaklığı $-50^{\circ}C$ ile $+50^{\circ}C$ arasında değişen toprak, sıfır derecede donar ve iyon hareket hızı minimuma düşer. Sıcaklığın artmasının oksijen konsantrasyonunu düşürücü ve dolayısıyla korozyon hızını azaltıcı etkisi de vardır. Ancak bu etki, iyon hareketinin etkisinin yanında oldukça zayıf kalmaktadır.

Malzeme türünün etkisi:

Korozyonda etkili olan parametrelerin biri, potansiyeli birbirinden farklı metaller kullanmaktır. Örneğin çok rastlanan hatalardan birisi, çelik sactan yapılan panoların üzerine konulan paslanmaz çelik cıvatalar ve contaların kullanıldığı bölgede galvanik korozyonun ortaya çıkmasıdır. Bu tip sorunları çözmek için ana yüzey üzerinde, plastik contalar ya da cıvatalar kullanılmalıdır.

Taneler arası özellik farkları:

Metallerin tane boyutları arasındaki farklar ve iki tanedeki farklı bileşimler neticesinde iki tanenin sınırı korozyon başlangıcı için uygun ortam oluşturur. Çok düşülen bir hata olarak, paslanmaz çelik malzemeden imal edilen tanklar ve benzeri yapılardaki kaynak bölgeleri, üretici tarafından hiç beklenmediği halde korozyona uğramaktadır. Bu korozyonun önüne geçmenin yolu ya elektrodlu kaynak kullanmamak ya da önleyici olarak galvanik anotlu katodik koruma sistemi uygulamaktır.

Sistemin bulunduğu ortamın oksijen konsantrasyonu:

Mesela, aynı tip toprak içerisinde çözünmüş hava konsantrasyonu her yerde aynı olmayabilir. Farklı havalandırma koşullarındaki sistemlerde, yan yana duran bir bölge anot iken hemen yanındaki bölge katot görevi görebilir. Bu durum, elektrokimyasal korozyona sebep olabilir.

Zeminin elektriksel özgül direncinin etkisi:

Düşük elektriksel özgül dirençli bölgelerde iletkenliğin yüksek olması, iyonik ortamın aktifleşmesine ve o esnada korozyon mekanizmasının hızlanmasına neden olmaktadır (Erden ve Değertekin 2004).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Shahin (2002) çalışmasında, uydun fiziksel ve mekanik özelliklere, iyi şekillendirilebilme ve kolay temin edilebilme gibi üstün özelliklere sahip olmasına rağmen yüksek aktifliği nedeniyle düşük korozyon direncine ve düşük aşınma direncine sahip olan magnezyum alaşımları üzerine elektriksiz nikel kaplamaların başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için kritik öneme sahip işlem adımlarını müzakere etmiştir (Shahin 2002).

Ambat and Zhou (2003) çalışmalarında, AZ91D magnezyum alaşımı üzerine yapılan akımsız nikel kaplamada, taban malzemenin mikroyapısının ve kaplama parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. Kaplamanın taban malzeme üzerindeki ilk büyüme aşamasında taban malzemenin içyapısının çok etkili olduğunu belirlemişlerdir. Muhtemelen β ve ötektik α fazları arasındaki galvanik eşleşme nedeniyle kaplamanın önce β faz taneleri üzerinde oluşmaya başladığını ve sonra β fazının kaplama ile örtüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca florürün, 7,5 g/l'lik optimum bir değerle AZ91 alaşımını kaplamak için banyonun esas bileşeni olduğunu vurgulamışlardır (Ambat *et al.* 2003).

Huo *et al.* (2003) çalışmalarında, AZ91D alaşımına, korozyon direncini artırmak için bir kimyasal konversiyon işlemi ve bir akımsız nikel kaplama uygulamışlardır. Bazik stannat çözeltisinde uyguladıkları konversiyon işlemi ile pH'ı 7 olan %3,5 ağırlık oranındaki NaCl çözeltisi içinde yaptıkları daldırma testi ve potansiyodinamik polarizasyon testi, korozyon direncinde bir miktar artış sağlandığını belirlemişlerdir. %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisindeki anodic polarizasyon sırasında, nikel kaplama için açık bir pasifleşme meydana geldiğini vurgulamışlardır (Huo *et al.* 2003).

Gu *et al.* (2004) çalışmalarında, sülfat nikel içeren bir kaplama banyosundan AZ91D magnezyum alaşımı üzerine, direkt olarak akımsız Ni-P kaplamayı araştırılmıştır. AZ91D magnezyum alaşımı üzerine olan Ni-P kaplamalarının çekirdekleşme mekanizmasını XRD ve SEM kullanarak incelemişlerdir. Akımsız Ni-P kaplamalarının

β -Mg₁₇Al₁₂ fazı üzerinde tercihli olarak çekirdeklediğini ve AZ91D magnezyum alaşımının primer ve ötektik α fazlarına doğru uzadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca asitle temizleme işlem süresi arttığında akımsız Ni-P kaplama kümelerinin daha küçük olduğunu, kaplamaların daha sıkı olduğunu ve kaplama hızının arttığını belirlemişlerdir. Kaplama sertliğinin uygulanan kaplama öncesi uygulanan işlemlerden etkilenmediğini de belirtmişlerdir (Gu *et al.* 2004).

Li *et al.* (2005) çalışmalarında, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elektrokimyasal potansiyodinamik polarizasyondan yararlanarak kaplama tabakalarının gözenekliliğine (poroziteye) kaplama çözeltisinin etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta, magnezyum alaşımları üzerine yapılan kaplamalar için hangi indikatörün daha etkin olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca magnezyum alaşımları üzerine yapılan akımsız nikel kaplamalarda porozitenin hem tane yüzeyinde ve hem de tane sınırlarında mevcut olduğunu tespit etmişler ve kaplamaların gözenekliliğine kaplama banyosu parametrelerinin önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir (Li *et al.* 2005).

Zhang *et al.* (2006) çalışmalarında, bazik-sitrat-esaslı banyoları kullanarak AZ91D magnezyum alaşımı üzerine direkt olarak üçlü Ni-W-P alaşım kaplaması yapmışlardır. Kaplamanın yapısını, morfolojisini, sertliğini ve korozyon özelliklerini karakterize etmişlerdir. SEM gözlemlerinde üçlü kaplamada, yoğun ve kaba nodüllerin varlığını tespit etmişlerdir. %10 HCl çözeltisi içinde yaptıkları daldırma testi ve elektrokimyasal analiz ile, bu üçlü Ni-W-P kaplamanın AZ91D magnezyum alaşımının korunması için iyi korozyon direnci özellikleri sergilediğini belirlemişlerdir (Zhang *et al.* 2006).

Zhang *et al.* (2006) çalışmalarında, Ni-P kaplama ve AZ91D magnezyum alaşım tabakası arasında ön işlem tabakası olarak, geleneksel ön işlemler yerine bir fosfat-mangan konversiyon filminin kullanımını araştırmışlardır. Taban malzeme üzerindeki ön işlem tabakasının; Ni-P kaplama işlemi sırasındaki magnezyum korozyonunu azaltmanın yanısıra, matris ile ikinci faz arasındaki potansiyel farkını da azalttığını tespit etmişlerdir. Böylece de, AZ91D magnezyum alaşımı üzerinde bu yöntemle elde edilen ince ve yoğun yapıları Ni-P kaplamanın, geleneksel krom oksitli ön işlemlerle elde

edilen Ni-P kaplamadan daha iyi korozyon direnci sergilediğini belirtmişlerdir (Zhang *et al.* 2006).

Zhenmin *et al.* (2006) çalışmalarında, AZ91 magnezyum alaşımını elektriksiz kaplama yöntemiyle ağırlıkça % 2.3-12.6 P içerecek şekilde Ni-P tabakası ile kaplamışlar ve tuz sprej testi ile elektrokimyasal ölçüm testini kullanarak P miktarı, kaplama kalınlığı ve kaplama yapısının korozyon davranışına etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları neticesinde polarizasyon eğrilerinde önemli bir farkla karşılaşmamakla birlikte, orta ve düşük miktarda P içeren Ni kaplamalarda porozitenin daha az olması nedeniyle, bu kaplamaların daha parlak bir görünümde kaldığını ve çukurcuk (pitting) oluşmadığını gözlemlemişlerdir (Zhenmin *et al.* 2006).

Song *et al.* (2007) çalışmalarında, elektronik ürünler için optimum dış kaplama malzemesi olduğunu söyledikleri magnezyum alaşımı üzerine yaptıkları akımsız Ni-P kaplamaların, magnezyum dış kaplama tabakalarına koruyuculuk sağladığını belirtmişlerdir. Yapay ter çözeltisi içindeki AZ91D magnezyum alaşımları üzerinde biriktirilen Ni-P kaplamaların korozyon davranışlarını elektrokimyasal testler ve SEM gözlemleri ile araştırmışlardır. Sonuçta yapay ter içindeki ürenin bir korozyon önleyici olarak etki gösterdiğini, bunun yanında NaCl ile laktik asitin ise asıl korozif ortamlar olduğunu ve Ni-P kaplamaların korozyonunu önemli derecede hızlandırdıklarını tespit etmişlerdir (Song *et al.* 2007).

Song *et al.* (2007) çalışmalarında, yeni geliştirdiklerini belirttikleri akımsız kaplama yöntemi ile AZ91D magnezyum alaşımları üzerine Ni-P ve Ni-P-ZrO₂ kaplama yapmışlar ve korozyon davranışlarını daldırma, tuz sprej ve elektrokimyasal korozyon testlerini kullanarak araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda, Ni-P-ZrO₂ kompozit kaplamaların NaCl çözeltisi içinde fazlaca korozyona maruz kaldığını, ancak NaOH ve Na₂SO₄ çözeltilerinde pasifleşme özelliği gösterdiklerini belirtmişlerdir. Ni-P-ZrO₂ kaplamaların korozyon direncinin, ZrO₂ nano parçacıkları sayesinde, Ni-P kaplamalardan daha üstün olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca taban malzemeden yüzeye doğru Ni-P-ZrO₂ / elektokaplanmış nikel / Ni-P çok tabakalı kaplamaların, tuz

püskürtme testi için magnezyum alaşımlarına 1000 saatten fazla koruma sağlayabildiklerini belirtmişlerdir (Song *et al.* 2007).

Zhang *et al.* (2007) çalışmalarında, akımsız kaplama yöntemini kullanarak AZ91D magnezyum alaşımı üzerine Ni-Sn-P kaplama yapmışlardır. Kaplamanın faz yapısının amorf olduğunu ve üçlü kaplamanın yoğun ve üniform nüdüller içerdiğini gözlemlemişlerdir. %10 hidroklorik asit çözeltisi içinde yaptıkları daldırma testi ve elektrokimyasal analiz ile, AZ91D magnezyum alaşımı üzerine yaptıkları bu üçlü Ni-S-P kaplamanın Ni-P kaplamalara göre daha yüksek korozyon direnci sergilediğini tespit etmişlerdir (Zhang *et al.* 2007).

Song *et al.* (2007) çalışmalarında, AZ91D magnezyum alaşımı üzerine akımsız Ni-P-ZrO₂ ve Ni-P kaplamalar hazırlamışlar ve bunların korozyondan koruma özelliklerini karşılaştırmışlardır. %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde yaptıkları korozyon deneyleri sonucunda, Ni-P-ZrO₂ kompozit kaplamanın Ni-P kaplamaya göre daha üstün korozyon performansı sergilediğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak Ni-P-ZrO₂ kompozit kaplamasının Ni-P kaplamalara göre magnezyum alaşımı taban malzemesine korozyona karşı daha iyi koruyuculuk yapacağını vurgulamışlardır (Song *et al.* 2007).

Zhang *et al.* (2008) çalışmalarında, akımsız kaplama yöntemini kullanarak AZ91D magnezyum alaşımı üzerine Ni-P/Ni-B dubleks kaplama yapmışlar ve bunların yapısını, morfolojisini, sertliğini ve korozyon direncini araştırmışlardır. Dubleks kaplamaları, ikili banyolar kullanarak hazırlamışlardır. Kaplamalar kaplanmış durumda amorf iken ve ısıtılma işlemiyle nikel borürü kristalize etmiş ve üretmişlerdir. SEM gözlemleri ile magnezyum alaşımı üzerindeki dubleks arayüzeyin üniform olduğunu ve tabakalar arasında iyi bir uyum olduğunu belirlemişlerdir. Dış tabakası Ni-B kaplama olan Ni-P/Ni-B dubleks kaplamaların, Ni-P kaplamalara göre daha yüksek sertlik ve korozyon direnci gösterdiğini tespit etmişlerdir (Zhang *et al.* 2008).

Zhong *et al.* (2008) çalışmalarında, AZ91D magnezyum alaşımı üzerine, korozyon ve aşınma direncini geliştirmek için direkt akımsız Ni-P kaplama işlemi uygulamışlardır.

Ni-P kaplamaların korozyon direncini, %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisinde potansiyodinamik polarizasyon ve daldırma deneyleri yapılarak değerlendirmişlerdir. Kaplamaların aşınma direncini ise, aşınma izi ve ball-on-disk deneyinden sonraki kütle kaybı ile araştırmışlardır. Sonuçta da, AZ91D magnezyum alaşımının korozyon ve aşınma direncinin direkt akımsız Ni-P kaplama işlemi ile önemli ölçüde geliştiğini belirlemişlerdir. %3,5 NaCl çözeltisi içinde 4 günlük daldırma sonunda herhangi bir renk değişikliğine rastlanmadığı belirtilmiştir. Ayrıca kaplama sonrası uygulanan temperleme işleminin korozyon direncinde çok az bir düşmeye sebep olmasına rağmen aşınma direncinde önemli derecede bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir (Zhong *et al.* 2008).

Zhang *et al.* (2009) çalışmalarında, akımsız ve elektrolitik kaplama yöntemlerinin kombinasyonunu kullanarak, alt tabakası akımsız olarak yapılmış Ni kaplama ve üst tabakası elektrolitik olarak yapılmış Ni-TiO₂ kaplama tabakalarından oluşan birçok tabakalı koruyucu kaplamayı AZ91D magnezyum alaşımının üzerinde başarılı olarak oluşturmuşlardır. Yapmış oldukları farklı türdeki korozyon testleri sonucunda, Ni-TiO₂ kompozit kaplamanın tek akımsız Ni kaplamaya göre AZ91D magnezyum alaşımı için korozyon ve mekanik açıdan daha iyi koruma sağlayabildiklerini tespit etmişlerdir (Zhang *et al.* 2009).

Araghi and Paydar (2010) çalışmalarında, Bir akımsız kaplama banyosuyla AZ91D magnezyum alaşımının üzerine üçlü Ni-P-B₄C kompozit kaplama yapmışlar ve yapılan kaplamanın, bu alaşımın korozyon ve aşınma direncine etkisini araştırmışlardır. SEM incelemeleri sonucu üçlü kompozit kaplamanın içinde yoğun ve kaba nodüllerin bulunduğunu ve Ni-P-B₄C kaplamanın kesiti incelendiğinde B₄C parçacıkların kaplama içinde iyi bir şekilde dağılmış olduğunu belirlemişlerdir. Ni-P-B₄C kompozit kaplamaların sertliğinin, Ni-P kaplamalara göre yaklaşık %70 daha olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca pin-on-disk düzeneği ile yaptıkları aşınma testleri sonucu Ni-P-B₄C kompozit kaplamaların iyi ve Ni-P kaplamadan daha üstün aşınma direncine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Üçlü Ni-P-B₄C kompozit kaplama için polarizasyon testleri yaparak, AZ91D magnezyum alaşımının korumansında iyi bir korozyon direncine

neden olduklarını, ancak sağlanan bu korozyon direncinin Ni-P kaplamasına göre daha az olduğunu tespit etmişlerdir (Araghi *et al.* 2010).

Liao *et al.* (2011) çalışmalarında, akımsız Ni-P ve Ni-W-P kaplamalarını kromsuz ön işlem ve dehidrojenasyon son işlemi ile AZ91D magnezyum alaşımı üzerine başarıyla kaplamışlar ve NaCl, HCl ve H₂SO₄ çözeltisi içinde korozyon davranışlarını incelenmişlerdir. Hem polarizasyon ve hem de daldırma testleri sonucunda, akımsız Ni-W-P kaplamanın Ni-P kaplamasına göre daha iyi korozyon direnci gösterdiğini belirlemişlerdir (Liao *et al.* 2011).

Masoumi *et al.* (2011) çalışmalarında, sert bir AISI 52100 çelik pin karşısında kayan akımsız Ni-%10P kaplamasının aşınma karakteristiklerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışma sonucunda, pin ve diskin temas eden yüzeylerinde sürekli bir oksit filminin oluştuğunu ve bu oksit filminin, akımsız Ni-%10P kaplamanın aşınma direncini geliştirdiğini ve sürtünme katsayısını azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca akımsız Ni-%10P kaplamanın aşınma direncinin ısıl işlemle arttığını ve ancak yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem yapılmadan daha iyi aşınma direnci elde edildiğini belirtmişlerdir (Masoumi *et al.* 2011).

Araghi and Paydar (2012) çalışmalarında, AZ91D magnezyum alaşımı üzerine yapılan dörtlü Ni-W-P-B₄C kompozit kaplamalarının akımsız depozisyonunu araştırmışlardır. Ni-W-P-B₄C kompozit kaplamaların sertliğinin, Ni-P ve Ni-P-B₄C kaplamalardan daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, polarizasyon testi sonuçlarına göre, Ni-W-P-B₄C kompozit kaplamasında Ni-P-B₄C kaplamasından daha az ve Ni-P kaplamasından daha fazla korozyon hızı sergilendiğini belirlemişlerdir (Araghi *et al.* 2012).

Wang *et al.* (2012) çalışmalarında, asetik asitle temizlenmiş AZ91D üzerine direkt olarak akımsız Ni-B kaplama yapmışlardır. Kaplama hızının sıcaklık, pH ve banyo bileşiminden etkilendiği bulmuşlardır. Akımsız Ni-B kaplamanın üniform bir yüzey ve amorf bir yapı gösterdiğini belirlemişlerdir. %3,5'lik sodyum klorür sulu çözeltisi içindeki polarizasyon eğrisi ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümlerinin,

yapılan kaplamaların magnezyum alaşımı taban malzemesini korozyona karşı koruyabileceğini vurgulamışlardır (Wang *et al.* 2012).

Ranganatha and Venkatesha (2012) çalışmalarında akımsız kaplama tekniğini kullanarak düşük karbonlu çelik üzerine akımsız Ni-W-P üçlü alaşımını ve Ni-W-P-MoS₂ kompozit filmini başarıyla elde etmişlerdir. Farklı W ve P miktarlarını içeren Ni-W-P kaplamalarını elde etmek için banyodaki sodyum tungsten konsantrasyonunu değiştirmişlerdir. Kaplamaların korozyon davranışını %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisinde yaptıkları potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal impedans spektrokopi yöntemleriyle araştırmışlardır. Yapılan alaşımlamanın, kaplamaların yapısını ve morfolojisini değiştirdiğini ve korozyon direncini artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca tungsten metalinin artan miktarları ile Ni-W-P kaplamaların daha yüksek mikrosertlik ve sürtünme katsayısı sergilediklerini bulmuşlardır (Ranganatha and Vankatesha 2012).

Kılıçarslan *et al.* (2012) çalışmalarında, ortalama partikül büyüklükleri 93 ve 32 µm olan bor karbür (B₄C) parçacıklar üzerine akımsız Ni-P kaplamasını hedeflemişlerdir. Kaplama tabakalarının morfolojisini ve kimyasal bileşimini SEM ve EDS analizlerini kullanarak belirlemişler ve B₄C partikül yüzeylerinin homojen ve sürekli bir Ni-P tabakası ile başarılı bir şekilde kaplandığı sonucuna ulaşmışlardır (Kılıçarslan *et al.* 2012).

Sudagar *et al.* (2012) çalışmalarında, AZ91D magnezyum alaşımı üzerine yapılan kromsuz elektriksiz Ni kaplamanın korozyon özelliklerine yüzey aktifleştirici maddelerin etkisini araştırmışlardır. Korozyon deneylerini daldırma testi (1 M HCl) ve elektrokimyasal polarizasyon testi (3.5 wt% NaCl) metotlarıyla yapmışlardır. Elektriksiz nikel banyosuna yüzey aktifleştirici maddelerin ilavesinin, magnezyum alaşımı üzerindeki kaplamanın korozyon direnci özelliklerini artırdığını belirlemişlerdir. Buna ilaveten, pürüzsüzlük ve amorf olan nano kristal yapıları da korozyon direncini artırdığını belirtmişlerdir (Sudagar *et al.* 2012).

Xiu *et al.* (2012) çalışmalarında, akımsız kaplama yöntemiyle amorf yapıları Ni-P

kaplama yapmışlardır. Cl-/H₂S ortamdaki Ni-P kaplamanın elektrokimyasal davranışını ve korozyon direncini, elektrokimyasal cihaz ve otoklav kullanarak araştırmışlardır. SEM ve TEM analizleri ile Ni-P kaplamanın amorf yapıda olduğunu yüzeyinde çok az miktarda mikro gözenekler içerdiğini tespit etmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, ürettikleri Ni-P kaplamanın korozyon direncinin, amorf haldeki yapısı ve düşük gözenekliliği nedeniyle 316L paslanmaz çeliğine göre daha üstün olduğunu belirtmişlerdir (Xiu *et al.* 2012).

2.1. Magnezyum ve Alaşımları

Magnezyum, doğada serbest halde bulunmayan, yerkabuğunda sekizinci çoklukta olan, gümüş beyazlığında ve çok parlak bir metaldir. Ayrıca gümüş beyazlığında ve parlak bir metal olarak algılanmaktadır. Atom numarası 12, atom ağırlığı 24,32'dir. Kristal kafes yapısı açısından hekzagonal yapıya sahip olduğu için, çok az soğuk şekil değiştirme oranında bile mukavemeti artmaktadır. Magnezyum alaşımları iki harf ve ardından iki veya üç haneli rakamlar şeklinde kodlanarak gösterilmektedir. Harfler ana alaşım elementlerini göstermekte ve devamındaki rakam haneleri de, bu elementlerin yüzdeleri belirtmektedir. Yüzdeleri, en yakın tam sayıya yuvarlanarak yazılmaktadır. Sonra gelen tek hanelik son harf eki ise alaşımın en son kalite durumunu göstermektedir. Örneğin AZ91A gösterimi, ana alaşımlama elementleri olarak %9 (ortalama değer) alüminyum, %1 (ortalama değer) çinkoyu göstermektedir. Çeşitli alaşım elementlerinde kullanılan harfler şunlardır: A: Alüminyum, E: Nadir Toprak elementleri, H: Toryum, K: Zirkonyum, M: Manganez, Z: Çinko, Q: Gümüş (Öztürk ve Kaçar 2012).

2.1.1. Magnezyum alaşımlarının üstünlükler ve dezavantajları

Magnezyum alaşımları, hafiflik ve yüksek özgül mukavemetlerinden dolayı (mukavemet /yoğunluk) savunma sanayi ve taşımacılık sektöründe özel yer almaktadır. Saf olarak mukavemet ve tokluğu düşük olan magnezyumun alaşımları sanayi alanında kullanılmaktadır. Magnezyum ayrıca yüksek termal iletkenlik, iyi elektromanyetik

koruma, yüksek boyutsal kararlılık, yüksek sönklik oranı, işlenebilme kabiliyeti ve kolay geri dönüşüm özellikleri de taşımaktadır. Bu özelliklerden dolayı magnezyum alaşımları otomotiv, havacılık, spor malzemeleri gibi pek çok endüstride kullanılır. Ayrıca düşük ağırlığı ve metabolizmaya uyumu açısından implant malzemesi olarak da bilinir. Son yıllarda, otomotiv sanayisinde yakıt sarfiyatını azaltmak hedefi ile araçların daha hafif olması yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Öztürk ve Kaçar 2012).

a. Şekillendirilebilirlik

Havacılık ve otomotiv sanayisinde magnezyum büyük ölçekte kullanım potansiyel değerine sahiptir. Magnezyum alaşımları çoğunlukla basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir. Magnezyum uygulamalarının büyük bir çoğunluğu bir döküm alaşımı olan AZ91 tarafından karşılanmaktadır. Ancak bu alaşım, 130°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çoğu uygulamalar için yetersiz sürünme direncine sahiptir. Mg-Al-X'in gelişimi, süper hafif alaşımların gelişimidir. Li ilavesi mukavemeti azaltmakta fakat tokluğu artırmaktadır.

Son yıllarda oda sıcaklığında kafes yapısı nedeniyle şekillendirilebilme özelliği düşük olan AZ31, AZ61 ve AZ91 alaşımlarının ılık şekillendirilebilme özelliklerinin artırılabilmesi araştırılmaktadır. Bu malzemeler havacılık açısından önemli alaşımlardır. Genel olarak günümüzde yaygın kullanıma sahip olan basınçlı dökümün aksine, magnezyumun dövülerek şekillendirilebilme özelliği ilgi çekmektedir (Öztürk ve Kaçar 2012).

b. Korozyon direnci

Bu malzemenin düşük aşınma, sürünme ve korozyon direnci ile yüksek kimyasal aktifliği pek çok alanda kullanım alanını kısıtlamaktadır. Özellikle dış ortamlardaki magnezyumun kullanımındaki dezavantajlarından biri zayıf korozyon direncidir. Yağmur suyu veya yoğunlaşma suyu gibi suların, malzemelerden iyon çekmesi neticesinde elektrolit haline gelmesi ile anodik eleman korozyona uğramaktadır. Bu da havacılık

gibi kritik uygulamalarda hayati rol oynamaktadır. Havacılık alanında kullanılmakta olan parçalar korozyona dayanıksız olduğundan oldukça sık kontrol altına tutulması gerekir. Magnezyum alaşımları, çukurlaşma korozyonuna karşı yüksek hassasiyete sahiplerdir ve oluşan korozyon kar tepecikleri biçiminde, beyaz toz şeklinde ve yüzey üzerinde beyaz noktacıklar biçimindedir. Magnezyum çok yüksek aktifliğe sahip bir metaldir. Bu yüzden başka birçok metal ile temasında galvanik korozyona neden olur. Korozyondan korunma için ise, tepkimeye müdahale veya koruyucu tabakalarla reaksiyona katılan kısımların ayrılması yoluyla azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılma yöntemleri kullanılır. Magnezyum ve alaşımları üzerinde kimyasal olarak değişmiş bir tabaka oluşturulması, korozyon direncini iyileştirmek amaçlı önemli yüzey işlemlerindendir. Pasivasyon gibi kaplamalar magnezyum alaşımlarının korozyon korumasında pek etkili değildir. Koruma amacıyla, ısı püskürtme (alevle, arkla, plazma ile) ile pasivasyon gibi örtücü kaplama yöntemleri de uygulanmaktadır. Ayrıca yüzeyden korozyonun kaldırılabilmesi için metal esaslı olmayan temizleyici elemanlar kullanılmaktadır (Öztürk ve Kaçar 2012).

c. Ağırlık kazancı

Ağırlık azaltma, yalnızca enerji kazanımı sağlamaz, aynı zamanda sera gazı salınımlarını da azaltır. Bu nedenle otomotiv sanayisinde, otomobillerin ağırlıklarını yapısal özelliklerde bir değişik yapmadan büyük oranda azaltabilmek amacıyla magnezyum alaşımlarının kullanımı da yaygınlaşma eğilimindedir. Alaşım elementlerinden Al, mukavemeti; Zn, tokluğu; Mn ise korozyona karşı dayanıklılığı arttırmaktadır (Öztürk ve Kaçar 2012).

2.2. Magnezyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Magnezyum kullanımı sert ve yumuşak maddeler olmak üzere iki alanda toplanabilirler. Metal içinde hiçbir yabancı maddenin bulunmadığı (saf) haldeyken sert madde yapımında kullanılmayacak kadar yumuşaktır. Ancak alüminyum, çinko ve zirkonyum gibi başka metallerle karıştırılarak alaşım yapıldığında sertleşir (Öztürk ve Kaçar 2012).

Magnezyum alaşımları, havacılık endüstrisinde (gövde, iniş takımları, motor parçaları), makine endüstrisinde, (hava soğutmalı Volkswagen motoru), silah endüstrisinde (füzelerde) ve hafif araç gereç endüstrisinde (taşınabilir eşya ve fotoğraf makineleri gibi opik araçlar) kullanılır. Yumuşak maddelerdeki kullanımı, magnezyumun bir eşyanın taşıyıcı iskelet yapısı dışındaki kullanımıdır. Yüksek tepkime gücü nedeniyle titanyum, zirkonyum, uranyum ve berilyum gibi metallerin üretiminde indirgeyici element olarak yararlanılır. Bir başka önemli kullanım alanı, demir ya da çelikten yapılmış toprak altı boru hatlarının tanklarının ve ısıtma kazanlarının korunmasıdır (Öztürk ve Kaçar 2012).

2.2.1. Havacılıkta magnezyum

Havacılık sanayinde kullanılan metallerden istenilen en önemli özellikler hafiflik, dayanıklılık, şok-titreşime karşı dayanıklılıktır. Hafiflik, yoğunluğunun azaltılması ile sağlanabilmektedir. Üretimde çoğunlukla alüminyum, çelik, titanyum, magnezyum ve bakır gibi metalik malzemeler kullanılmakta olup, metallerin saf hallerinin düşük mukavemet özellikleri nedeni ile havacılığın özel ihtiyaçlarının karşılanması neredeyse olanaksızdır. Günümüz araştırma ve geliştirme çalışmalarının esası daha kullanışlı malzemeler elde edebilmek için yeni ve daha önce denenmemiş alaşımların geliştirilmesi çalışmalarıdır. Sektörün yoğun olarak üzerinde iyileştirme yaptığı özellikler; yanıcı olmaları, yüzeyine herhangi bir koruyucu kaplama uygulanmadığında korozyon bir ortamda beyaz renkte kümecikler veya noktalar şeklinde korozyona uğramaları, alaşımlarının yüzeylerinde oluşan oksit-karbonat filminin korozyon olmayan ortamlar da dahil yeterli derecede korozyondan korunma sağlayamamasıdır. Hafif parça kullanımı, yakıt tüketimini azaltmaya neden olur. Hız ve güç gereksiniminin artması sebebiyle de hafiflik yanında daha dayanıklı malzeme kullanımı gerekliliği vardır. Hava araçlarında magnezyum alaşımları, üzerine yük binmeyen parçalarda aktif olarak kullanılmaktadır (hidrolik depolar, yakıt depoları, vs). Depolar hidrolik akışkanı depolayıp, çalışma şartlarına uygun şekilde hazırlayan tanklardır. Isınan hidrolik akışkanın kolayca soğutulmasını sağlamalıdır. Bu özellikleri ise AZ91 alaşımı gayet iyi bir şekilde sağlamaktadır. MD500, Eurocopter EC120, NH90 ve Sikorsky S92 gibi birçok helikopterin dişli kutularında ZE41 alaşımı, uydu parçaları için de AZ31, AZM

ve AZ61 dövme alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de yapımında toplam 8.600kg magnezyum kullanılan Convair B-36 uzun menzilli bombardıman uçağı görülmektedir (Öztürk ve Kaçar 2012).



Şekil 2.1. Yapımında toplam 8.600kg magnezyum kullanılan Convair B-36 uzun menzilli bombardıman uçağı (Ostrovsky and Henn 2007)

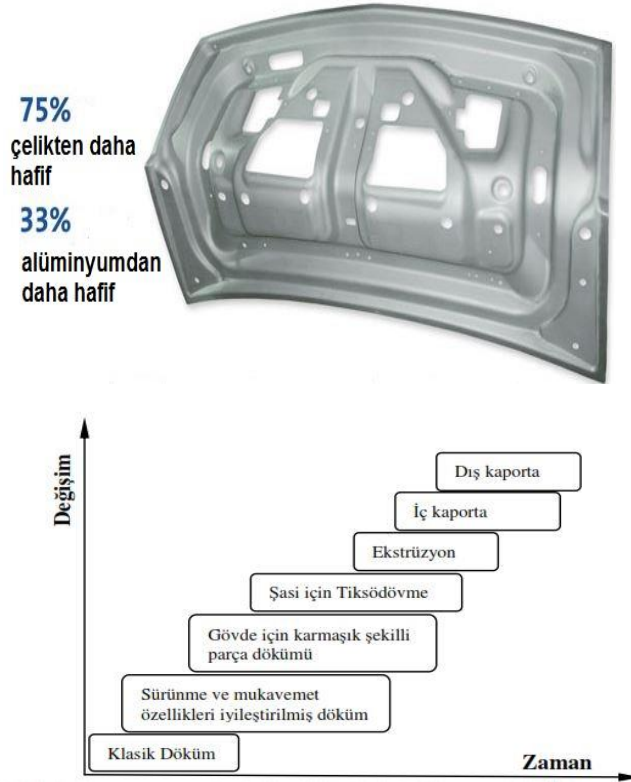
2.2.2. Otomotiv sektöründe magnezyum

Otomobil üreticileri de üstün ve tercih edilebilir özelliklerinden dolayı magnezyum alaşımlı parçalar üretmeye başlamışlardır. BMW firması AZ91 alaşımlı motor bloğu üretmiş ve ticari olarak kullanıma başlamıştır. R6 adını verdikleri motorda, krank kutusu, kam kapağı alüminyum alaşımlı magnezyumdan imal edilmiş olup, emsal motora göre 10 kg daha hafiflik sağlamaktadır. Volkswagen’in farklı otomobil parçalarının imalatı için kullandıkları çeşitli işlemler Şekil 2.2’de verilmistir. Bu şekil, firmanın araçlarında sıcak metal şekillendirme ve döküm gibi çeşitli yöntemler kullanılarak üretilmiş parçalar kullanma niyetinde olduğunu göstermektedir. Bu gibi alaşım kullanımı genelde üç bölüme ayrılmaktadır:

- a) Kısa vadede, kullanılabilir magnezyum alaşımları ve döküm işlerinin geçerli teknolojilerini yükseltmektir.
- b) Orta vadede, yarı katı döküm ve ekstrüzyon gibi özel döküm tekniklerinin

geliştirilmesidir.

c) Uzun vadede ise, yeni alaşım ve yeni imalat teknikleri olarak adlandırılabilen dövme alaşımlarının geliştirilmesi aşamasıdır. Şekil 2.2, magnezyum teknoloji gelişimi için VW stratejisini göstermektedir (Öztürk ve Kaçar 2012).



Şekil 2.2. Magnezyum teknoloji gelişimi için VW stratejisi (Öztürk ve Kaçar 2012)

2.2.3. Savunma sanayisinde magnezyum

Talaşlı imalatta düşük sünekliğe sahip magnezyum talaşlı işlenmeye uygun olmasına rağmen, kolay tutuşabilirliği nedeni ile tehlike arz etmektedir. Bununla birlikte bu özelliği ile magnezyum, savunma sanayisinde önemli ve kritik kullanım alanlarına sahip olmaktadır. Büyük tahrip gücüne sahip mühimmatlarda, radar donanımlarında, portative yer donanımlarında ve stingray torpidolarında alevlendirme amaçlı kullanılmaktadır. Çubuk şeklinde ekstrüze edilmiş magnezyum ise, anti tank mühimmatı olarak kullanılmaktadır.

Standart 120mm veya 100mm'lik mermileri ateşlemede, mühimmata destekleyici olarak magnezyum katılmaktadır. Bu amaçla AZ80, AZ61 ve AZM alaşımlarının tozlarından faydalanılmaktadır. Ayrıca magnezyum yandığında beyaz ışık ve yoğun ısı ortaya çıkarır. İnce ve atomize tozlar alevlendirici ve ordu donatım malzemesi olarak özellikle tehlike işareti ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır. Askeri helikopterler ve uçakların korunmasında hedef yanıltma amaçlı olarak magnezyum esaslı aygıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca paraşütle atlayışlarda yerin görselleştirilmesinde bu aydınlatmalardan faydalanılmaktadır (Öztürk ve Kaçar 2012).

2.3. Yüzey Kaplama Teknikleri

Yaygın olarak kullanılan kaplama tekniklerinden bazıları, termokimyasal kaplama, galvanizleme, emaye kaplama, termal spreyci prosesi, sol-jel kaplama, kimyasal buhar çökeltme (CVD), fiziksel buhar çökeltme (PVD), polimer kaplama, elektrolitik kaplama ve elektriksiz kaplamadır (Bülbul vd 2013).

2.3.1. Elektriksiz (electroless) Ni-B kaplamalar

Elektriksiz (electroless) kaplama, diğeri elektrolitik kaplama (elektrokaplama) olmakla beraber, iki temel sulu çözeltiyle metal kaplama tekniğinden biridir. Elektrolitik kaplama işleminde; elektriksel güç tertibatı, anot ve katot elemanlarının kullanılması gerekmektedir ve elektrik akımının çözeltinin her tarafına homojen olarak dağıtılamaması sebebiyle, üretilen kaplamaların kalınlıklarında farklılıklar olmaktadır. Şöyle ki, karmaşık şekilli parçaların kaplanması farklı kesit kalınlıklarında kaplamaların ortaya çıkması kaçınılmaz olmakta, bu da film kalitesini düşürmektedir. Elektriksiz metal kaplama işleminde ise, taban malzeme üzerine kaplama yapmak için dışardan herhangi bir akım kaynağı gerekmemektedir. Elektriksiz kaplama, metalik iyon kaynağı, indirgeyici madde, dengeleyici (stabilizer) ve diğeri unsurları içeren bir banyo (elektriksiz kaplama çözeltisi) içerisine bir taban malzeme daldırıldığında, bir potansiyelin oluşturulduğu otokatalitik bir işlemdir. Oluşan potansiyelden dolayı, hem (+), hem de (-) iyonlar, taban malzeme yüzeyine çekilir ve yük taşınım olayı ile enerji

açığa çıkarırlar. Her bir işlem parametresi, kaplama işlemi ve işlem tepki değişkenleri üzerine özel role sahiptir. Sıcaklık, çözelti içerisindeki iyonizasyonu ve kaynaktan taban malzemeye olan yük taşınım sürecini kontrol eden tepkime mekanizmasını başlatır. Bunun yanı sıra, taban malzeme elektriksiz banyoya daldırılmadan önce etkin hale ve yük taşınım işlemini başlatmak için duyarlı hale getirilir. Ayrıca elektriksiz kaplama işlemi, delikli, girintili, karmaşık geometriye sahip parçalar üzerinde üniform bir film yüzeyi oluşturabilmekte ve kaplama işleminden sonra ayrıca bir yüzey işlemi gerektirmemektedir. Elektriksiz kaplama işlemi, 1946'da Brenner ve Riddell'in bu işlemi icadından bu yana, çok çeşitli sanayi uygulamalarında karşılaşılan talepleri karşılamak için önemli ölçüde değişimler geçirmiştir. Birçok elektriksiz kaplama türleri arasında, elektriksiz nikel kaplama, sert, aşınma ve korozyona dirençli bir yüzey sunduğu için, büyük bir rağbet görmüştür. Şöyle ki, çok iyi korozyon ve aşınma direncine sahip olmaları nedeniyle, elektriksiz nikel (EN) kaplamalar petrokimya, kimyasal, plastik, optik, havacılık, nükleer, elektronik, bilgisayar, dokuma vs. sanayide çok geniş sahada kullanım alanı bulmuştur. Elektriksiz Ni-P kaplama ise, elektriksiz kaplama türleri arasında en çok kullanılan kaplamalar olmuştur. Son yıllarda ise elektriksiz nikel kaplamalar üzerine yapılan çalışmalar, Ni-B kaplamalara kaymıştır. Çünkü elektrikli ve elektriksiz üretilen Ni-P kaplamaların üretimi ve özellikleri üzerine çok sayıda çalışma yapılmış, fakat Ni-B kaplamalar üzerindeki çalışmalar çok asgari düzeyde kalmıştır. Elektriksiz nikel kaplama işlemleri için yapılan ön işlemler, elektrokaplama yapılan ön işlemlere benzer, yalnız daha çok titizlik gerektirir. Elektriksiz olarak üretilen (electroless) Ni-B kaplamaların, takım çeliği ve sert krom kaplamalardan aşınmaya çok daha dirençli olduğu ve elektronik sanayide çok önemli bir yer işgal edebileceği beyan edilmiştir. Ayrıca Ni-B kaplamaların kolonlu yapısının, adezif aşınma şartlarında çalışan yağlayıcılar içerisinde faydalı olacağı belirtilmiştir (Bülbül vd 2013).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneylerde kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1’de verilen AZ31, AZ61 ve AZ91 magnezyum alaşımları kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri

Alaşım	Al	Cu	Si	Zn	Mn	Ni
AZ31	2.83	0.08	0.09	0.92	0.16	0.009
AZ61	5.92	0.06	0.10	0.86	0.13	0.008
AZ91	8.46	0.07	0.08	0.83	0.09	0.01

3.2. Numune Hazırlaması

Taban malzemeler olarak kullanılan 25mm çapındaki AZ31, AZ61 ve AZ91 magnezyum alaşımları, kesme cihazı ile 6 mm kalınlığında kesilmiştir. Kesilen numuneler, sırayla 400, 800 ve 1200 nolu SiC zımparalar ile zımparalanmış ve alümina ile parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyi, kalıntıları gidermek amacıyla su ve aseton ile temizlenmiştir. Numuneleri hazırladıktan sonra elektriksiz kaplama yöntemiyle Ni-B ile kaplanmıştır. Kaplama koşulları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Kaplama işleminden sonra numuneler, alkol ve saf su ile temizlenmiştir.

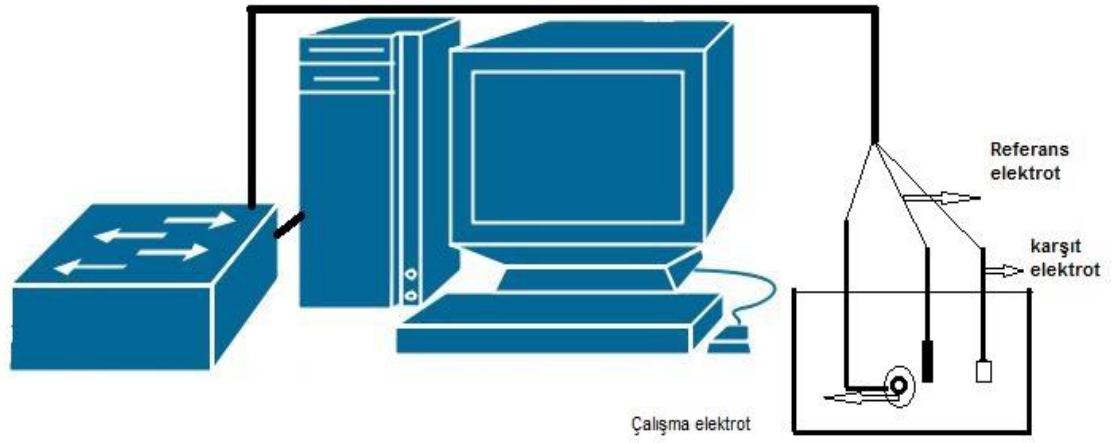
Çizelge 3.2. Elektriksiz Ni-B kaplama banyosunun bileşenleri ve kaplama parametreleri

Kaplama parametreleri	Banyo bileşimi	g/l
	Sodyum borhidrür (NaBH_4)	1.2
	Kurşun nitrat Pb^{2+} (PbNO_3)	0.0145
	Nikel Klorür hegzahidrat ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	10
	Sodyum hidroksit (NaOH)	90
	Etilen diamin ($\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$)	90
	Çalışma şartları	
	Kaplama süresi, dakika	90
	Sıcaklık, °C	95
	pH	13.5

3.3. Elektrokimyasal Deney

Elektrokimyasal korozyon deneylerinde, çalışma elektrodu olan kaplanmamış ve kaplanmış AZ31, AZ61 ve AZ91 alaşımlarının yaklaşık 1cm^2 'lik yüzey alanı çözeltiye temas ettirilmiştir. Deney çözeltisi olarak %3,5'lik NaCl ve Na_2SO_4 çözeltileri kullanılmıştır. Elektrokimyasal korozyon deneylerinde bilgisayar kontrollü bir potansiyostat/galvonostat cihazı kullanılmıştır. Korozyon hücresi $6\text{x}8\text{x}12\text{cm}$ boyutunda olup, korozyona uğramayan ve elektriksel olarak yalıtkan olan fiberglastan imal edilmiştir. Deney hücresi içerisine, çalışma elektrotu olarak deney numuneleri, karşıt elektrot olan platin levha (%99,99 saflıkta) ve referans elektrot olarak da doygun Ag/AgCl elektrodu yerleştirilmiştir. Korozyon hücresinin şematik görünüşü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Elektrokimyasal deneylerin tümünde başlangıçta önce denge potansiyeline (E_{kor}) ulaşılması beklenmiş, denge potansiyeline ulaşıldıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Bunun için denge potansiyelinin -0,25 V aşağısından 1,6 V yukarısına kadar yaklaşık 1 mV/s tarama hızıyla katodikten anodik yöne doğru polarizasyon yapılmış ve polarizasyon diyagramları oluşturulmuştur.

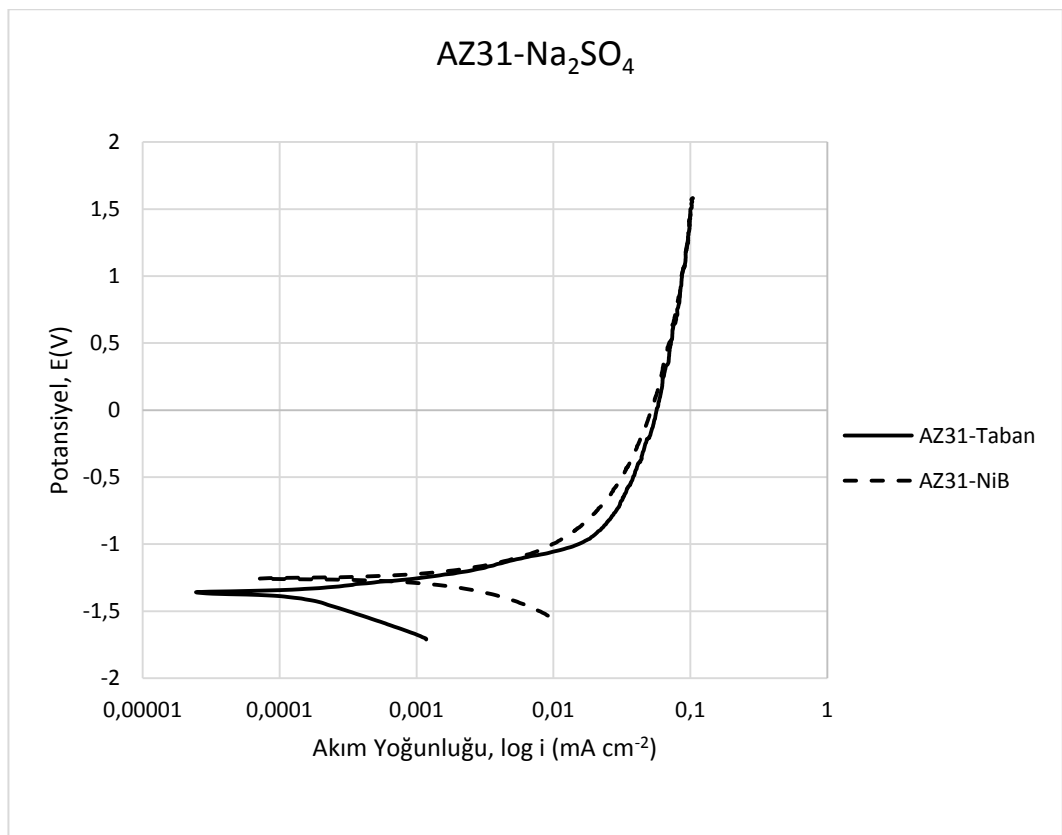


Şekil 3.1. Elektrokimyasal korozyon deney düzeneğinin şematik resmi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

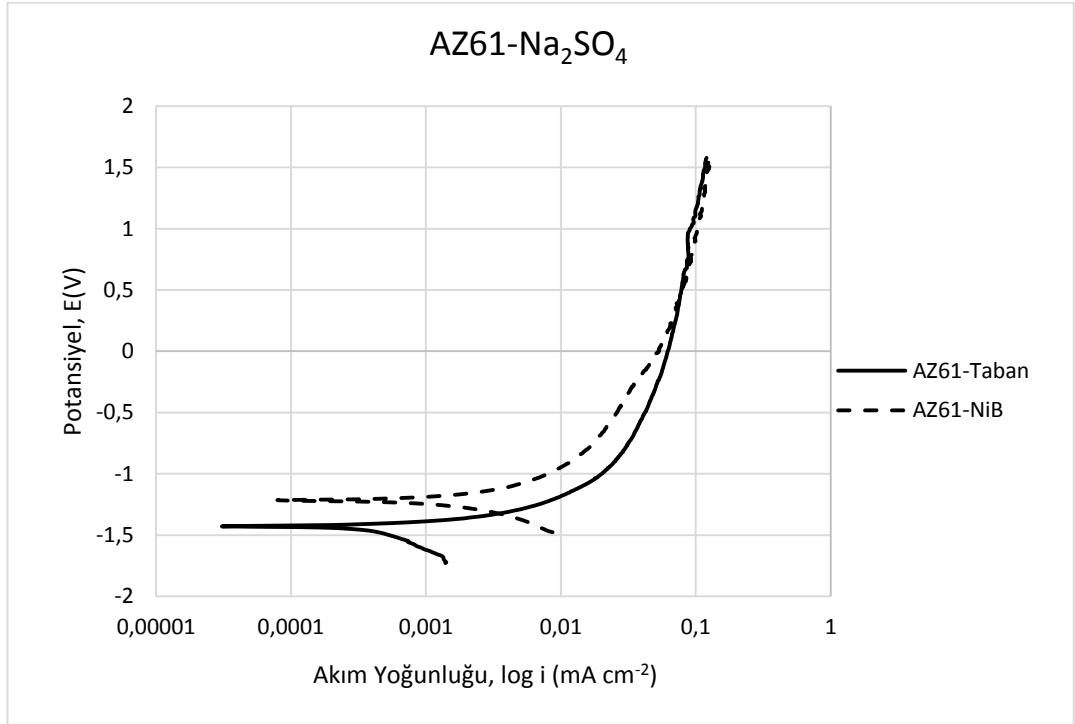
4.1. Elektrokimyasal Korozyon Deneyleri

4.1.1. Na₂SO₄ çözeltisi içerisindeki elektrokimyasal korozyon deneyleri



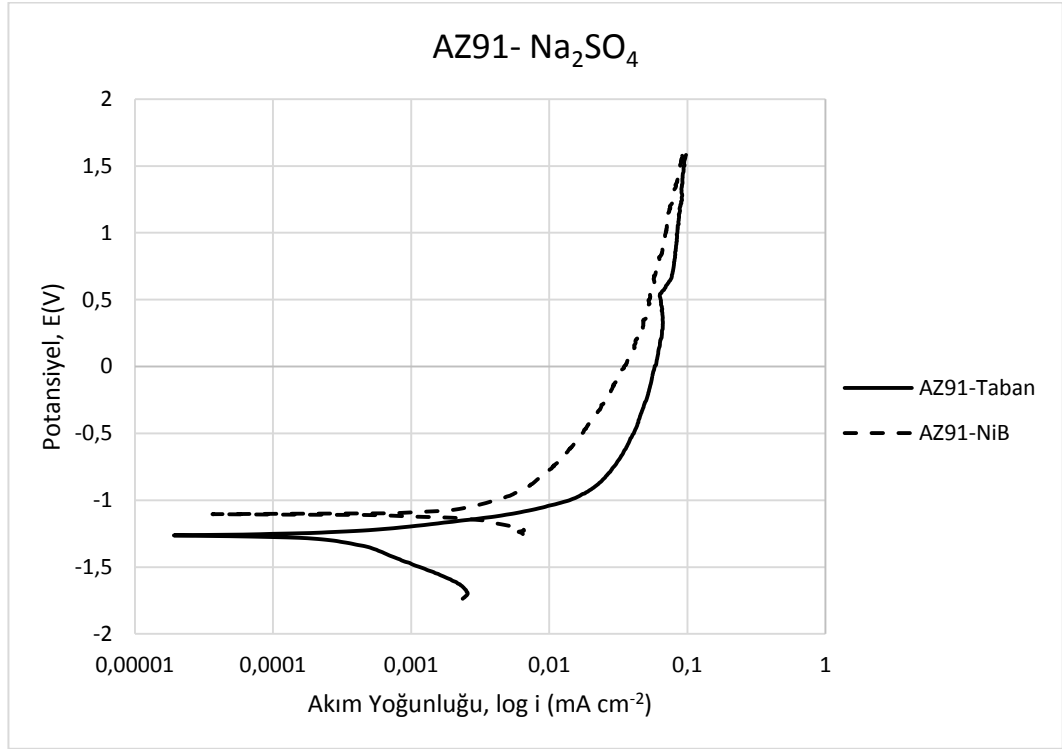
Şekil 4.1. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ31 alaşımının %3,5 Na₂SO₄ çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

Şekil 4.1'de, kaplanmış ve kaplanmamış AZ31 alaşımının %3,5 Na₂SO₄ çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, Ni-B kaplanmış alaşımın anodik akım yoğunluğu değerlerinin kaplanmamış alaşıma göre çok az miktarda azaldığı görülmüştür. Ayrıca Ni-B kaplamanın korozyon potansiyelini pozitif değerlere doğru kaydırıldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ61 alaşımının %3,5 Na_2SO_4 çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

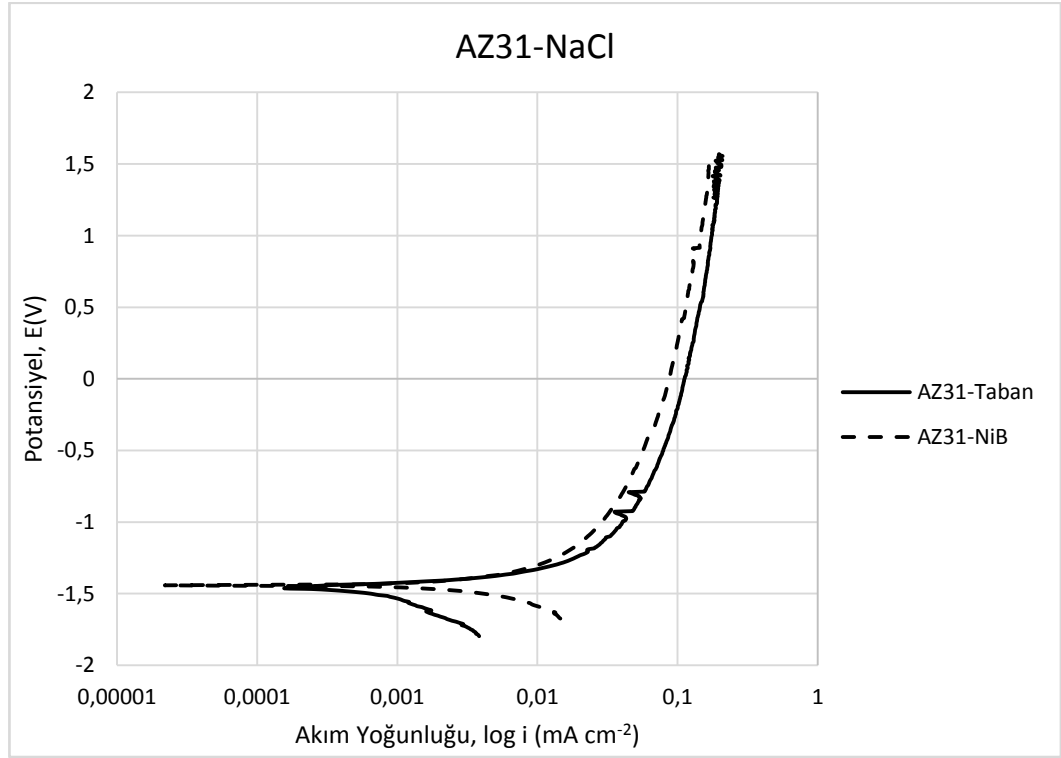
Şekil 4.2'de, kaplanmış ve kaplanmamış AZ61 alaşımının %3,5 Na_2SO_4 çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, Ni-B kaplanmış alaşımın anodik akım yoğunluğu değerlerinin kaplanmamış alaşıma göre belli bir miktar azaldığı görülmüştür. Ayrıca Ni-B kaplamanın korozyon potansiyelini pozitif değerlere doğru kaydırıldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.3. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ91 alaşımının %3,5 Na₂SO₄ çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

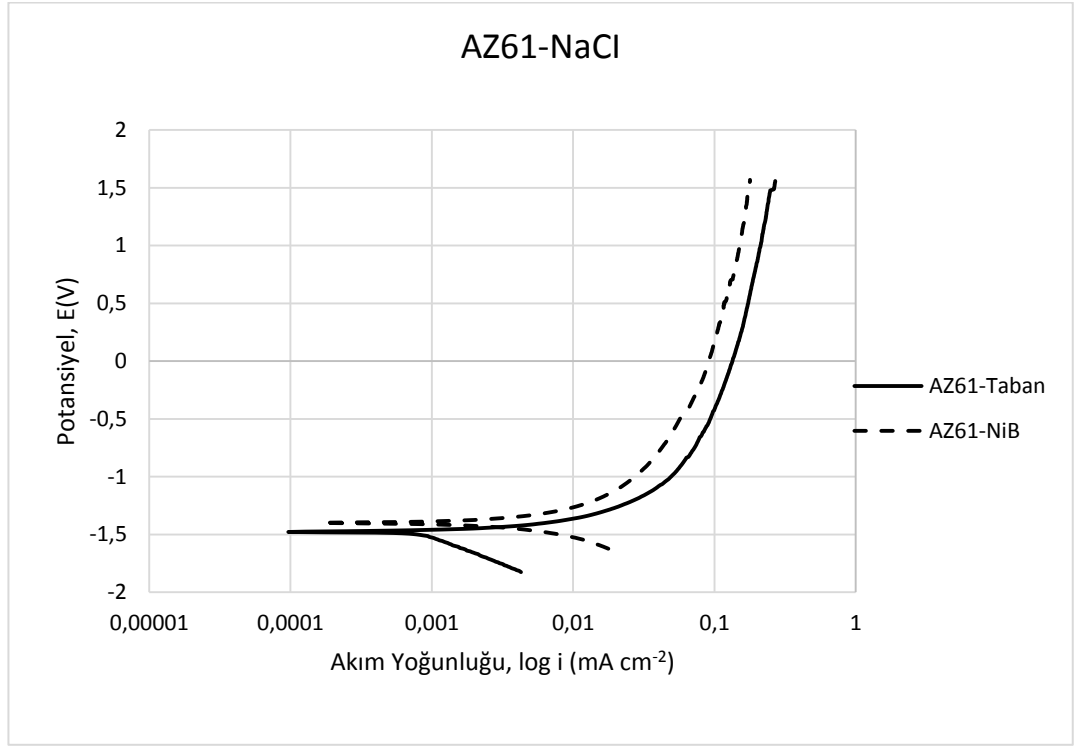
Şekil 4.3'te, kaplanmış ve kaplanmamış AZ91 alaşımının %3,5 Na₂SO₄ çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, Ni-B kaplanmış alaşımın anodik akım yoğunluğu değerlerinin kaplanmamış alaşıma göre belli bir miktar azaldığı görülmüştür. Ayrıca Ni-B kaplamanın korozyon potansiyelini pozitif değerlere doğru kaydırması gözlenmiştir.

4.1.2. NaCl çözeltisi içerisindeki elektrokimyasal korozyon deneyleri



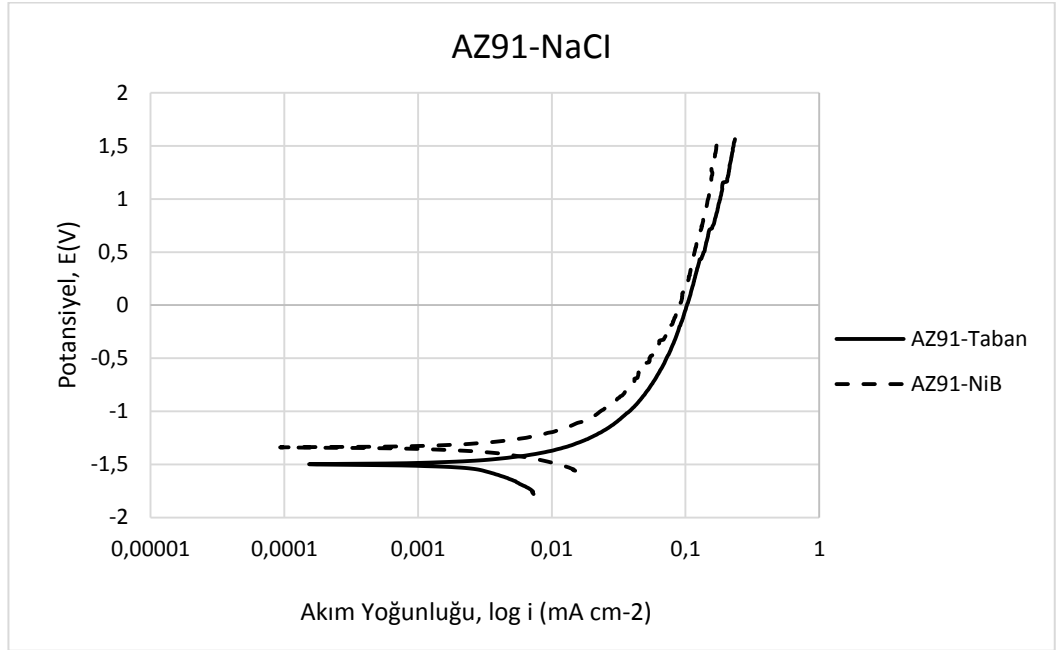
Şekil 4.4. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ31 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

Şekil 4.4'te kaplanmış ve kaplanmamış AZ31 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, Ni-B kaplanmış alaşımın anodik akım yoğunluğu değerlerinin kaplanmamış alaşıma göre çok az miktarda azaldığı görülmüştür. Ayrıca Ni-B kaplama sonucu korozyon kaydedilir bir değişiklik olmamıştır.



Şekil 4.5. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ61 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

Şekil 4.5’de kaplanmış ve kaplanmamış AZ61 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, Ni-B kaplanmış alaşımın anodik akım yoğunluğu değerlerinin kaplanmamış alaşıma göre bir miktar azaldığı görülmüştür. Ayrıca Ni-B kaplamanın korozyon potansiyelini pozitif değerlere doğru kaydırıldığı gözlenmiştir.

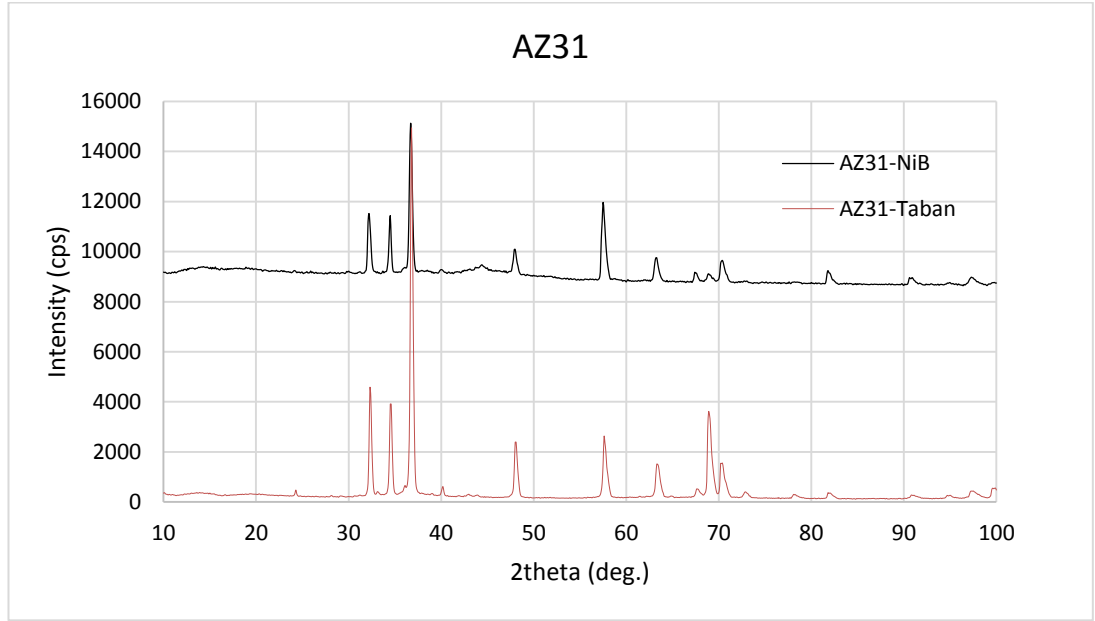


Şekil 4.6. Kaplanmış ve kaplanmamış AZ91 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

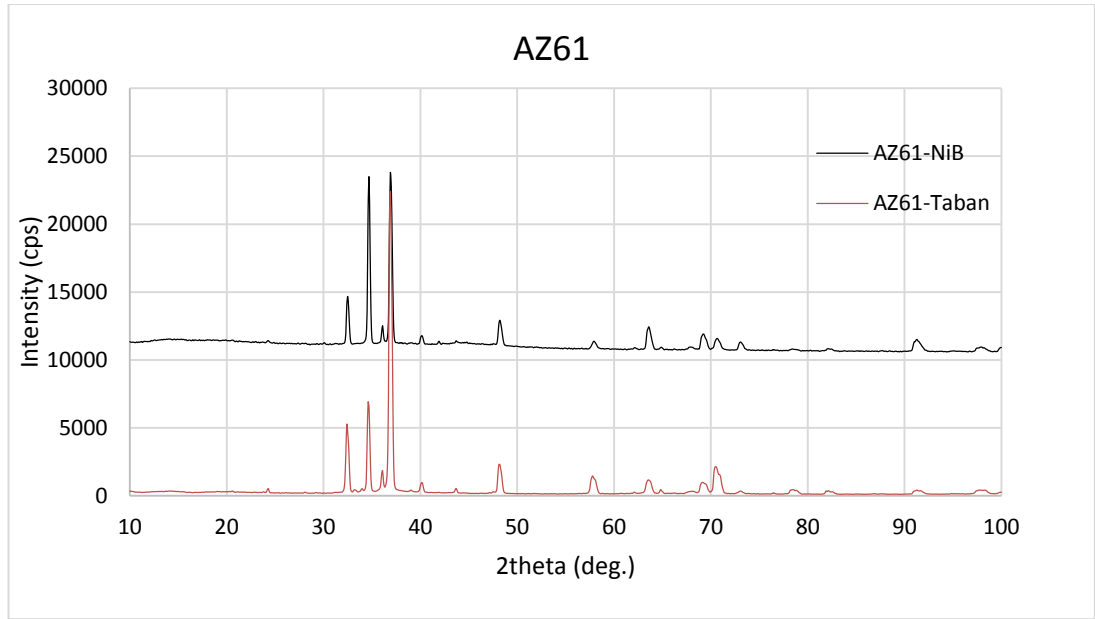
Şekil 4.6’de kaplanmış ve kaplanmamış AZ91 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, Ni-B kaplanmış alaşımın anodik akım yoğunluğu değerlerinin kaplanmamış alaşıma göre bir miktar azaldığı görülmüştür. Ayrıca Ni-B kaplamanın korozyon potansiyelini pozitif değerlere doğru kaydırıldığı gözlenmiştir.

4.2. XRD Analizleri

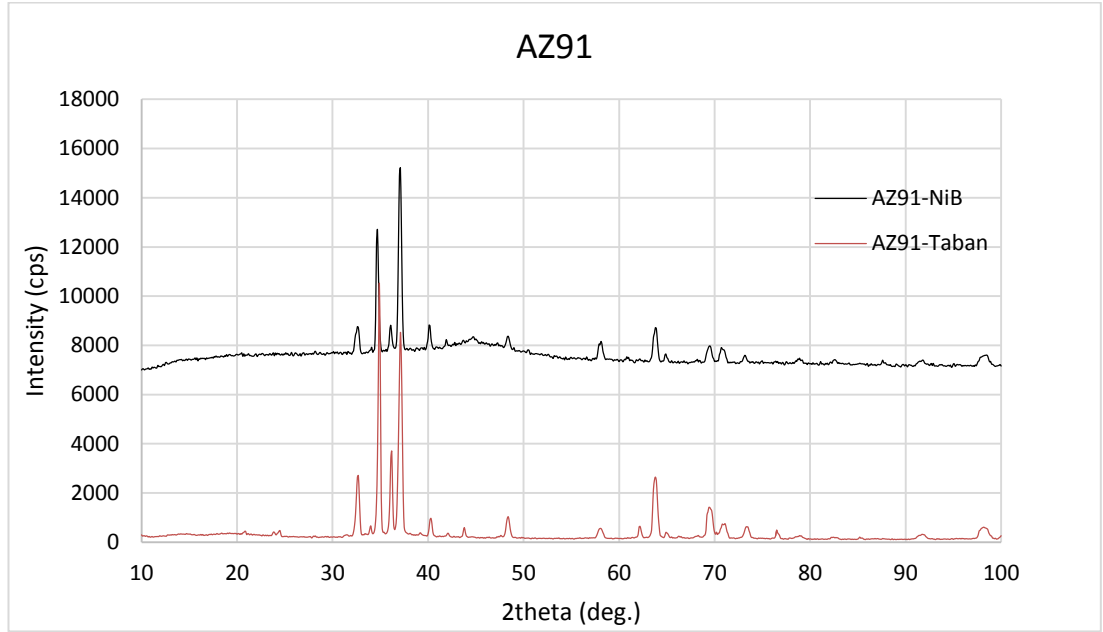
Kaplanmış magnezyum alaşımlarından elde edilen XRD grafiklerinde, tabandaki alaşımlardan gelen pikleri belirlemek için, kaplanmamış taban alaşımları için de XRD analizleri yapılmış ve grafikler verilmiştir. Şekiller 4.7, 4.8 ve 4.9 incelendiğinde, elektriksiz Ni-B kaplamaların AZ31, AZ61 ve AZ91 magnezyum alaşımları üzerinde kristal yapılı bir büyüme değil, amorf yapılı bir büyüme sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.7. Kaplanmamış ve Ni-B kaplanmış AZ31 magnezyum alaşımının XRD grafikleri



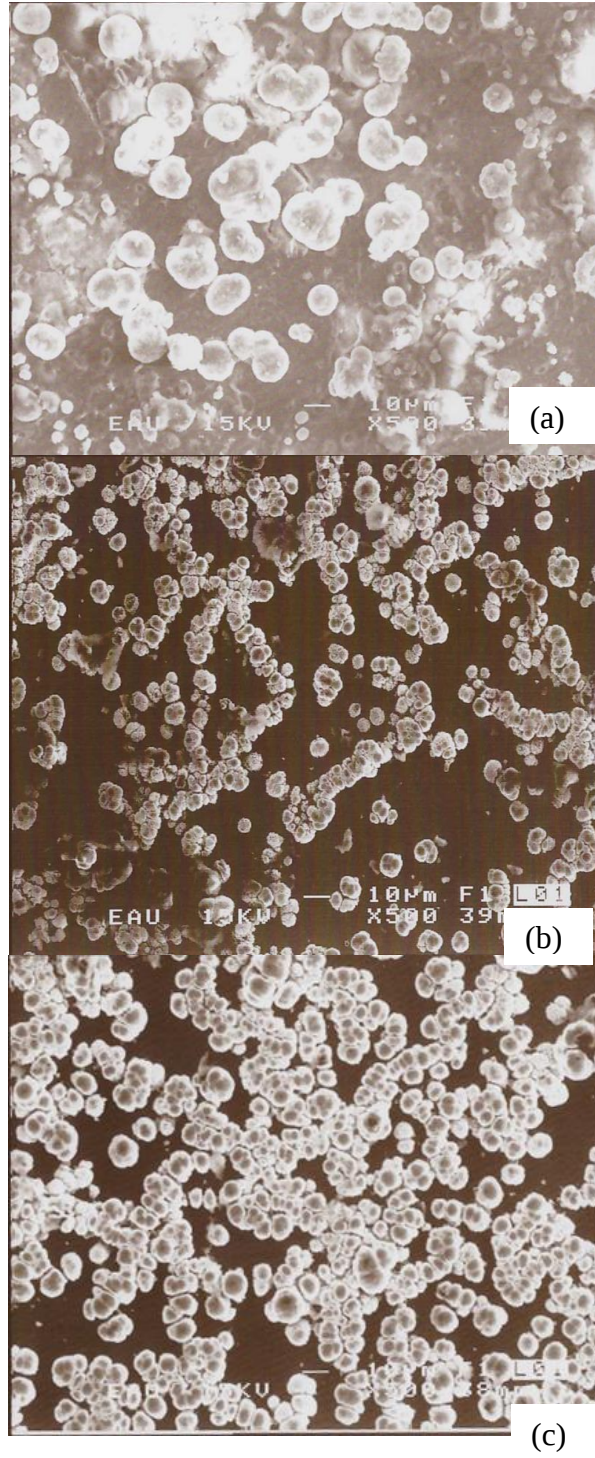
Şekil 4.8. Kaplanmamış ve Ni-B kaplanmış AZ61 magnezyum alaşımının XRD grafikleri



Şekil 4.9. Kaplanmamış ve Ni-B kaplanmış AZ91 magnezyum alaşımlarının XRD grafikleri

4.3. SEM Görüntüleri

Elektriksiz Ni-B kaplanmış magnezyum alaşımlarının SEM görüntüleri Şekil 4.10’da verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, alaşımların yüzeyinde kaplamaların oluştuğu, ancak kaplama tabakasının yüzeyi yeterince örtmediği görülmektedir. Dolayısıyla bu durumun, kaplama direncinde beklenen derecede iyileşme görülmemesinin ana nedeni olduğu söylenebilir. Buradan şu sonuca varabiliriz: Çalışılan magnezyum alaşımlarının yüzeyinde daha yoğun bir kaplama tabakası elde etmek ve dolayısıyla korozyon direncinde çok daha fazla iyileşme elde etmek için; banyo bileşimi, banyo sıcaklığı, kaplama süresi gibi kaplama parametrelerinin etkisinin detaylı bir şekilde araştırılması gerekmektedir.



Şekil 4.10. Elektriksiz Ni-B kaplanmış magnezyum alaşımlarının SEM görüntüleri
(a) AZ31, (b) AZ61, (c) AZ91

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

XRD grafikleri incelendiğinde AZ31, AZ61 ve AZ91 alaşımları üzerine yapılan elektriksiz Ni-B kaplamalarının amorf yapıda büyüdüğü tespit edilmiştir. Kaplanmamış ve sabit şartlarda elektriksiz Ni-B kaplanmış malzemelerden elde edilen potansiyodinamik polarizasyon deneylerinden elde edilen grafikler incelendiğinde, yapılan Ni-B kaplamaların çalışılan magnezyum alaşımlarının korozyon direncinde bir miktar iyileşme sağladığı tespit edilmiştir. Ancak SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi kaplama tabakası yüzeyi yeterince örtmediği için korozyon direncindeki iyileşmenin sınırlı bir derecede olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla yapılan çalışma neticesinde, kaplamayı etkileyen parametrelerde değişiklikler yapılarak, daha iyi kalitede ve dolayısıyla magnezyum alaşımlarını korozyona karşı daha koruyucu kaplamaların elde edilebileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abadias, G., Michel A., Tromas C. and Jaouen C. 2007 . Stress, interfacial effects and mechanical properties of nanoscale multilayered coatings. *Surface & Coatings Technology*, 202, 844–853.
- Akdoğan, A., 2009.Korozyon.Yıldız Teknik Üniversitesi,
http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/korozyonvekoruma/Korozyon_Koroz_yon_Mekanizmalari.pdf (18.05.2013).
- Aksoy, D., Aras, D and Batar, B., 2010, Korozyon. T.C. Marmara Üniversitesi,
http://xa.yimg.com/kq/groups/19170877/837062987/name/korozyon_Proje.doc.
- Akten, H., 2011. Korozyon. Anadolu Lisesi,
<http://uploadss.s3.amazonaws.com/korozyonhale-u-1301761225927-b-u.pptx> (25.05.2013).
- Altay, M., 2012. AZ91 Magnezyum alaşımasının mikro ark oksidasyon işleminde elektriksel parametrelerin etkisi.Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Altun, H., 2004. Magnezyum alaşımlarının korozyonu ve FBB kaplamaların korozyon davranışlarına etkisi. Doktora Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi.
- Ambat, R. and Zhou W., 2004. Electroless nickel-plating on AZ91D magnesium alloy: effect of substrate microstructure and plating parameters. *Journal of Surface and Coatings Technology*, 179, 124-134.
- Anonim ., 2007.Yüksek sıcaklık ve erozyon korozyonu. T.C.Milli Eğitim Bakanlığı,
<http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/kimya/moduller/YuksekSicaklikVeErozyonKorozyonu.pdf> (24.05.2013).
- Anonim., 2011. Mekanizmaya göre korozyonun sınıflandırılması. Kocaeli Üniversitesi,
<http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt309-020.pdf> (19.05.2013).
- Anonim., 2012. Çatlak korozyon.Thinking Buldings Univers,
http://cbs.grundfos.com/turkey/lexica/LIT_Crevise_corrosion.html# (12.05.2013).
- Anonim., 2013. Korozyonun elektrokimyasal temelleri. Sakarya Üniversitesi,
https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/318/80114380_3.pdf (18.05.2013).
- Araghi, A. and Paydar M.H., 2010. Electroless deposition of Ni–P–B₄C composite coating on AZ91D magnesium alloy and investigation on its wear and corrosion resistance. *Journal of Materials and Design*, 31, 3095-3099.
- Araghi, A. and Paydar M.H., 2012. Electroless deposition of Ni-W-P-B₄C nanocomposite coating on AZ91D magnesium alloy and investigation on its properties. *Journal of Vacuum*, 89, 67-70.
- Bülbül, F., Altun, H., Küçük, Ö. 2008. Elektriksiz Ni-B kaplamalar, *Metal Makine*, 355-360.
- Erden, S., Değertekin, M.C ., 2004. Korozyon ve Katodik Koruma. Kocaeli Emo Şubesi,
<http://malzemebilimi.net/dersnotlari/Korozyon/Korozyon%20ve%20Katodik%20Koruma.pdf> (15. 05.2013).
- Gövce, M., 2005. Uçak bakımında korozyon analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi.

- Gu, C. and Lian J., and Li G., and Niu L., and Jiang Z., 2004. Electroless Ni–P plating on AZ91D magnesium alloy from a sulfate solution. *Journal of Alloys and Compounds*, 391, 104-109.
- Gürlek, Z ., 2009. Asidik ve bazik akımsız nikel kaplamaların korozyon davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.
- Huo, H. and Li Y., and Wang F., 2004. Corrosion of AZ91D magnesium alloy with a chemical conversion coating and electroless nickel layer. *Journal of Corrosion Science*, 46, 1467-1477.
- Jianzhong, Li. And Yanwen T., and Zhenqi H., and Xin Z., 2006. Studies of the porosity in electroless nickel deposits on magnesium alloy. *Journal of Applied Surface Science*, 252, 2839- 2846.
- Kilicarslan, A. and Toptan F., and Kerti I., 2012. Electroless nickel–phosphorus coating on boron carbide particles. *Journal of Materials Letters*, 76, 11-14.
- Liao, Y. and Zhang S.T., and Dryfe R., 2011. A study of corrosion performance of electroless Ni–P and Ni–W–P coatings on AZ91D magnesium alloy. *Journal of Mat.-wiss. u. Werkstofftech*, 2011,42, No. 9
- Masoumi, F.and Ghasemi H.R., Ziaei A. A., and Shahriari D., 2012. Tribological characterization of electroless Ni–10% P coatings at elevated test temperature under dry conditions. *Journal of Int J Adv Manuf Technol*, 62,1063-1070.
- Mermer, M ., 2009. Açık devre mekanik tesisatlarda korozyon oluşumu ve kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Mert, F., Özdemir A., 2011. Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü ve otomotivdeki uygulamaları. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ.
- Muratoğlu, S., 2008. Pirinçin sulu çözeltilerdeki korozyon. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi. (11.05.2013).
- Ostrovsky, I., Henn Y., 2007. Present state and future of magnesium application in aerospace industry. *New challenges in aeronautics*, 19,22.
- Öztürk, F. and Kaçar İ., 2012. Magnezyum alaşımların ve kullanım alanlarının incelenmesi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 12-20.
- Ranganatha, S. and Venkatesha T V., 2012. Studies on the preparation and properties of electroless Ni–W–P alloy coatings and its nano-MoS₂ composite. *Journal of Phys. Scr*, 85, 035601.
- Salazar, A., Schneider, P., Stacy, K and Theil, G., 2013. http://Corrosion of Metals Materiyals_G16_corrosion_of_metals_v2.pdf
- Shahin, G. 2002. Corrosion and wear resistance of electroless nickel on magnesium alloys. *Journal of Magnesium Technology*, 263-267.
- Song, Y.W. and Shan D.Y., and Han E.H., 2008. High corrosion resistance of electroless composite plating coatings on AZ91D magnesium alloys. *Journal of Electrochimica Acta*, 53, 2135-2143.
- Song, Y.W. and Shan D.Y., Han E.H., 2007. Corrosion behaviors of electroless plating Ni–P coatings deposited on magnesium alloys in artificial sweat solution. *Journal of Electrochimica Acta*, 53, 2009-2015.
- Song, Y.W. and Shan D.Y., and Han E.H., 2007. Comparative study on corrosion protection properties of electroless Ni-P-ZrO₂ and Ni-P coatings on AZ91D magnesium alloy. *Journal of Materials and Corrosion*, 58, No. 7.

- Sudagar, J. and Ruan, DW., and Ruan D., and Liang YQ., and Elansezhian R., and Lian J., 2012. Influence of surfactants on the corrosion properties of chromium-free electroless nickel deposit on magnesium alloy. *Journal of Surface Review and Letters*, 19, 9 page.
- Şendenel, E., 2004. *Korozyon Katodik Koruma*. Bahar Yayınları.
- Wang, Z.C. and Jia F., and Yu L., and Qi Z.B., and Tang Y., and Song G.L., 2012. Direct electroless nickel–boron plating on AZ91D magnesium alloy. *Journal of Surface and Coatings Technology*, 206, 3676-3685.
- Xiu-qing, Xu. and Jian M., and Zhen-quan Bai., and Yao-rong Feng., and Qiu-rong Ma., and Wen- zhen Zhao., 2012. The corrosion behavior of electroless Ni–P coating in Cl⁻/H₂S environment. *Journal of Applied Surface Science*, 258, 8802-8806.
- Zhang, S. and Li Q., and Yang X., and Zhong X., and Dai Y., and Luo F., 2010. Corrosion resistance of AZ91D magnesium alloy with electroless plating pretreatment and Ni–TiO₂ composite coating. *Journal of Materials Characterization*, 61, 269-276.
- Zhang, W.X. and He J.G., and Jiang Z.H., and Jiang Q., and Lian J.S., 2007. Electroless Ni–P layer with a chromium-free pretreatment on AZ91D magnesium alloy. *Journal of Surface and Coatings Technology*, 201, 4594-4600.
- Zhang, W.X. and Jiang Z.H., and Li G.Y., and Jiang Q., and Lian J.S., 2008. Electroless Ni–P/Ni–B duplex coatings for improving the hardness and the corrosion resistance of AZ91D magnesium alloy. *Journal of Applied Surface Science*, 254, 4949-4955.
- Zhang, W.X. and Huang N., and He J.G., and Jiang Z.H., and Jiang Q., and Lian J.S., 2007. Electroless deposition of Ni–W–P coating on AZ91D magnesium alloy. *Journal of Applied Surface Science*, 253, 5116-5121.
- Zhang, W.X. and Jiang H., and Li G.Y., and Jiang Q., and Lian J.S., 2008. Electroless Ni–Sn–P coating on AZ91D magnesium alloy and its corrosion resistance. *Journal of Surface & Coatings Technology*, 202, 2570–2576.
- Zhenmin, L. and Wei Z., and Alec A. and Wei G. 2006. Corrosion behavior of electroless nickel plating on AZ91 magnesium alloy. *Annual meeting and exhibition*, 34, 38
- Zhong-h, LI. and Zhi-yong C., and Sha-sha L., 2008. Corrosion and wear properties of electroless Ni–P plating layer on AZ91D magnesium alloy. *Journal of Transactions of Nanferrous Metals Society of China*, 18, 819-824.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Salmas (İRAN) şehrinde doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Tebriz’de okudu. 2005 yılında Azad Khoy Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne başladı ve 2010 yılında bu bölümden mezun oldu. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.