

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMAL PÜSKÜRTME TEKNİĞİ İLE YÜKSEK
PERFORMANSLI Zn/Al (85/15) KAPLAMALARIN
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Ahmet GÜLEÇ

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fatih ÜSTEL

Ağustos 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMAL PÜSKÜRTME TEKNİĞİ İLE YÜKSEK
PERFORMANSLI Zn/Al (85/15) KAPLAMALARIN ÜRETİMİ ve
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Ahmet GÜLEÇ

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı :Doç. Dr. Fatih ÜSTEL

Ağustos 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMAL PÜSKÜRTME TEKNİĞİ İLE YÜKSEK
PERFORMANSLI Zn/Al (85/15) KAPLAMALARIN
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Ahmet GÜLEÇ

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fatih ÜSTEL

Bu tez 14 / 08 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Fatih ÜSTEL
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Fevzi YILMAZ
Üye

Yrd. Doç Dr. Ramazan KAYIKÇI
Üye

ÖNSÖZ

Çalışmanın titizlikle yönetilmesi ve sonuçlandırılmasında hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan değerli hocam Doç. Dr. Fatih ÜSTEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Engin bilgisi ile beni aydınlatan, bilgisini ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Fevzi YILMAZ' a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Deney sonuçlarının yorumlanmasında desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd Doç. Dr. Ahmet TÜRK'e, her koşulda bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarım Met. Müh. Özgür CEVHER' e ve Yük. Met. Müh. Oğuz GÜLER' e, teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarımı gerçekleştirdiğim SAÜ Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne, bu çalışmadaki deneyleri gerçekleştirmemde kullanılan cihazların temininde 105M061 nolu proje kapsamındaki desteği için TÜBİTAK MAG'a, deney numunelerin temini için her türlü malzeme desteği veren İSKİ' ye ve işletmelerinde sundukları imkânlar için Sayın Turgut HALAMOĞLU, Gürkal BOZOVA ve SENKRON METAL çalışanlarına ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana, her zaman her konuda yardımcı olan ve hayat boyu en büyük desteği sağlayan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2006

Met. Müh. Ahmet GÜLEÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xvi
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
DÜKTİL DEMİRLERİN KOROZYONU.....	1
2.1. Giriş.....	3
2.2. Korozyonun Tanımı.....	3
2.3. Elektrokimyasal Korozyonun Temelleri	4
2.4. Korozyon Teorisi	6
2.4.1. Galvanik korozyon.....	6
2.4.2. Elektrolitik korozyon.....	7
2.5. Korozif Koşullar.....	8
2.5.1. Su.....	9
2.5.2. Kimyasallar.....	9
2.5.3. Atmosfer.....	9
2.5.4. Toprak.....	10
2.6. Toprak İçerisinde Düktil Demir Boruların Korozyon Mekanizmaları.....	12

2.6.1. Grafitleşme.....	13
2.6.2. Oyuklu (pitting) korozyonu.....	13
2.6.3. Kaçak akım korozyonu.....	14
2.6.4. İnterferans korozyonu.....	15
2.6.5. Biyolojik korozyon.....	16
2.7 Toprakta Korozyona Etki Eden Faktörler.....	17
2.7.1. Toprak özdirenci.....	17
2.7.2. Toprak pH'nın etkisi.....	19
2.7.3. Suyun etkisi.....	19
2.7.4. Toprağın oksijen konsantrasyonunun etkisi.....	20
2.7.5. Toprağın sıcaklığı ve biyolojik yapısının etkisi.....	20
2.8. Düktil Demir Borularda Korozyon Koruma Uygulamaları ve Korozyon Kontrolü.....	21
2.8.1 Polietilen (PE) giydirme.....	22
2.8.2. Kaplama uygulamaları(çinko kaplama).....	23
2.8.3. Katodik koruma.....	24
BÖLÜM 3.	
KOROZYON TESTLERİ.....	25
3.1. Giriş.....	25
3.2. Alan Testleri.....	25
3.3. Çalışma Ortamına Benzetilmiş Servis Testleri.....	25
3.4. Tuz Püskürtme Testleri.....	26
3.4.1. Nötr tuz püskürtme testi.....	26
3.4.2 Asetik asit tuz püskürtme testi.....	27
3.4.3. Bakır-hızlandırılmış asetik asit tuz püskürtme testi.....	27
3.5. Nem Kabin Testleri.....	27
3.6. Elektrokimyasal Testler.....	28
3.6.1. Elektrokimyasal empedans spektrometresi	28

BÖLÜM 4

TERMAL PÜSKÜRTME KAPLAMA TEKNİKLERİ.....	29
4.1. Giriş.....	29
4.2. Tarihçe.....	29
4.3. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri.....	30
4.4.1 Alev püskürtme yöntemi.....	31
4.4.2. Plazma püskürtme yöntemi.....	32
4.4.3. Elektrik ark püskürtme yöntemi.....	33
4.4.4. Yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme sistemi (HVOF).....	34
4.5. Termal Püskürtme Kaplamalar.....	35

BÖLÜM 5.....

ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME	38
5.1. Giriş.....	38
5.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi.....	39
5.3 Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği.....	42
5.4. Elektrik Ark Püskürtme Kaplamalar ve Kaplamalara Etki Edene Faktörler.....	47
5.4.1. Püskürtme mesafesinin etkisi.....	49
5.4.2. Voltaj ve amperin etkisi.....	49
5.4.3. Atomize gaz tipinin ve atomize gaz basıncının etkisi.....	50
5.5. Elektrik Ark Püskürtme Kaplama Malzemeleri.....	51
5.6. Elektrik Ark Püskürtme ve Endüstriyel Kullanım Alanları.....	52
5.6.1 Korozyon koruma uygulamaları.....	52
5.6.1.1. Zn ve Zn alaşımları.....	52
5.6.1.2. Al ve Al alaşımları.....	54
5.6.1.3. Ni ve Ni alaşımları.....	54
5.6.2. Elektrik ark püskürtme bağ kaplamalar.....	55
5.6.3. Aşınma dirençli kaplamalar.....	55
5.6.3.1. Korozif atmosferde aşınma dayanımlı kaplamalar...	56
5.6.4. Ark püskürtme kaplamalar ve onarım.....	56

5.6.5. Yüksek sıcaklık korozyonu korumasında ark püskürtme kaplamalar.....	56
BÖLÜM 6.	
ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE KOROZYON KORUYUCU KAPLAMALAR (METALİZASYON).....	58
6.1. Giriş	58
6.2. Korozyon Koruma için Koruyucu Kaplamalar.....	59
6.3. Zn kaplamalar ve özellikleri.....	60
6.4. Al kaplamalar ve özellikleri.....	62
6.5. Zn/Al (85/15) kaplamalar ve özellikleri.....	63
BÖLÜM 7.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	65
7.1. Deney Numuneleri.....	65
7.2. Tuz Püskürtme Korozyon Test Kabini.....	67
7.3. Mikroyapısal Çalışmalar	68
7.4. Deney Prosedürü.....	68
7.4.1. Numune hazırlama.....	68
7.4.2. Metalografik çalışma.....	69
7.4.3. Tuz püskürtme korozyon testi.....	69
BÖLÜM 8.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	70
8.1. Zn/Al 85/15 alaşım telinin optik mikroyapı görüntüleri.....	70
8.2. Zn/Al 85/15 Alaşım teli ile ilgili SEM çalışmaları.....	73
8.3. Zn kaplamalı numunenin optik mikroyapı görüntüsü.....	78
8.4. Zn kaplamalı numunenin SEM görüntüsü.....	80
8.5. Zn/Al 85/15 Kaplamalı numunenin optik mikroyapı görüntüleri....	86
8.6. Zn/Al 85/15 kaplamalı numunenin SEM görüntüleri.....	88

8.7. Isıl İşlem Uygulanmış Boru Numunesinin Yüzeyinde Oluşturulmuş Yüzey Oksit Tabakalarının Optik Mikroyapı Görüntüleri.....	94
8.8.Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları.....	95
8.9.Kaplama Kalınlığı Ölçüm Sonuçları.....	97
8.9.1. Zn + bitüm kaplamalı numune.....	97
8.9.2. Zn/Al 85/15 + mavi epoksi kaplamalı numune.....	98
8.10. Hızlandırılmış Korozyon Testi (Tuz Püskürtme Testi) Sonuçları..	99
8.10.1. Zn kaplamalı numuneler.....	100
8.10.1.1. Zn+bitüm-sadece kaplama çizilmiş.....	100
8.10.1.2. Zn+bitüm-altlığa kadar ulaşan çizik.....	101
8.10.1.3. Zn kaplama-yüzeyde çizik yok.....	101
8.10.1.4. Zn kaplama-kaplama çizilmiş.....	102
8.10.1.5. Zn kaplama- altlığa kadar ulaşan çizik.....	103
8.10.2. Zn/Al 85/15 kaplamalı numuneler.....	104
8.10.2.1. Zn/Al 85/15 + mavi epoksi kaplama-kaplama yüzeyi çizilmiş.....	104
8.10.2.2. Zn/Al 85/15 + mavi epoksi kaplama-altlığa kadar ulaşan çizik.....	104
8.10.2.3. Zn/Al 85/15 kaplama-çizik yok.....	105
8.10.2.4. Zn/Al 85/15 kaplama-kaplama yüzeyi çizilmiş.....	106
8.10.2.5. Zn/Al 85/15 kaplama-altlığa kadar ulaşan çizik.....	106
8.10.3 Yüzey oksitli numune.....	107
8.11. Ağırlık Ölçüm Sonuçları.....	108
8.12. Stereo Mikroskop Görüntüleri.....	109
8.13.XRD Analizi.....	111
8.14. Deneysel Sonuçların İrdelenmesi.....	112

BÖLÜM 9	
TARTIŞMALAR.....	114
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	122

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Zn	Çinko
Al	: Alüminyum
H	Hidrojen
Fe	: Demir
OH	: Hidroksit
SO ₄	: Sülfat
H ₂ O	: Su
ac	: Alternatif akım
dc	Doğru akım
amp	amper
V	Volt
I	Akım
NaCl	Sodyum klorür
GSMH	Gayri safi milli hasıla
KGDD	: Küresel grafitli dökme demir
DIPRA	Ductile Iron Pipe Research Association
EAP	Elektrik ark püskürtme

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	a) ABD sektörel korozyon maliyet grafiği, b) ABD korozyon maliyetlerinin GSMH'daki payı.....	1
Şekil 1.2.	ABD'deki hizmet sektöründeki korozyon maliyeti grafiği	2
Şekil 2.1.	Korozyon için gerekli olan bileşenlerin bulunduğu basit bir elektrokimyasal hücre.....	5
Şekil 2.2.	Zemin içerisindeki galvanik pil oluşumu.....	7
Şekil 2.3.	Toprak içindeki metal bir borudaki anot ve katot oluşumu.....	7
Şekil 2.4.	Nemli toprak içine gömülen bir boruda meydana gelen korozyon hücresi. Farklı oksijen konsantrasyonu olan bölgelerden oluşan potansiyel farktan dolayı anodik ve katodik alanlar meydana gelerek korozyon oluşup ilerleyecektir.....	10
Şekil 2.5.	a)Toprağın heterojen yapısına bağlı olarak korozyonun oluşması, b)Kısa mesafede toprak heterojenliğinin oluşturduğu korozyon hücreleri.....	11
Şekil 2.6.	Çözülmüş tuz konsantrasyonunun farklı oluşundan ileri gelen korozyon.....	11
Şekil 2.7.	Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon.....	12
Şekil 2.8.	Farklı havalanma nedeniyle borun tabanında oluşan korozyon	12
Şekil 2.9.	Oyuklu (Pitting) korozyon oluşumu.....	14
Şekil 2.10.	dc ile çalışan demiryolunun boru hattı üzerinde kaçak akımın etkisi	15
Şekil 2.11.	Kesişen iki borunun interferans etkisiyle korozyon oluşturması.....	15
Şekil 2.12.	Çukurlaşma hızı ile toprak özdirenç ilişkisi (15 yıl altında kullanılmış borular için).....	16
Şekil 2.12.	a) Dış akımlı katodik koruma, b) Galvanik anotla katodik koruma	24
Şekil 4.4.	Alev püskürtme prosesinin şematik görünümü.....	31
Şekil 4.5.	Plazma püskürtme prosesinin şematik görünümü.....	32

Şekil 4.6.	Elektrik ark püskürtme prosesinin şematik görünümü.....	33
Şekil 4.7.	HVOF prosesinin şematik görünümü.....	34
Şekil 4.8.	Termal Püskürtme Prosesinin Şematik Görünümü.....	35
Şekil 4.9.	Kuvvetli çarpma kuvvetine bağlı olarak ergimiş partikülün yüzeyde levha şeklini alması.....	36
Şekil 4.10.	Termal Püskürtme Kaplama Yapısı.....	36
Şekil 5.1.	Elektrik Ark Püskürtme Prosesi.....	39
Şekil 5.2.	a) Sistem gereksinimleri, b) elektrik ark sprej sistemi.....	40
Şekil 5.3.	a) Elektrik ark sprej transformatör sistemi (güç sağlayıcı), b) AC motor sürücülü tel besleme sistemi.....	40
Şekil 5.4.	a) Gücü tellere ileten temas tüpü, b) Atomizasyon sisteminin ve temas tüplerinin şematik görünümü.....	41
Şekil 5.5.	dc elektrik deşarjında akım-voltaj karakteri.....	43
Şekil 5.6.	Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu.....	43
Şekil 5.7.	Lineer bir arkın bölgelerinin şematik olarak gösterimi.....	45
Şekil 5.8.	Yayılan ve büzülmüş anot ve katot bileşenleri. Üst tel katot, alt tel anot a) Ark tamamen genişlemiş ve genişlemiş anot kabuğuna doğru yayılmış, b) anotta yayılan bileşen telin ucundan anot kabuğuna doğru ilerlemiş.....	46
Şekil 5.9.	EAP' de anot ile katot arasında oluşan asimetric ergime davranışı	46
Şekil 5.10.	a) Elektrik ark sprej kaplama yapı bileşenleri, b) 13 Cr'lu çelik kaplama mikroyapısı.....	47
Şekil 5.11.	Ark voltajının sprej hızı ve sıcaklığına etkisi.....	49
Şekil 5.12.	. a) Düşük hava basıncındaki kaplama mikroyapısı (94 m ³ /saat), b) yüksek hava basıncındaki kaplama mikroyapısı (130 m ³ /saat)....	50
Şekil 5.13.	a) Hava akış oranı ve mikrosertlik ilişkisi, b) hava akış oranı ve porozite miktarı ilişkisi.....	50
Şekil 5.14.	a) Elektrik ark sprej Zn kaplama mikroyapısı, b) Sıcak daldırma Zn kaplama mikroyapısı.....	53
Şekil 5.15.	Ark sprej Zn kaplama uygulamaları.....	53
Şekil 5.16.	Ark sprej kaplamalar ile taşıt krank şaftlarda ve baskı silindirlerindeki onarım uygulamaları.....	56
Şekil 6.1.	Zn ve Al için pH değeri ile korozyon oranı grafiği.....	60

Şekil 6.2.	(a) termal spreycinko kaplama prosesi (b) çinko kaplanmış dökme demir.....	60
Şekil 7.1.	Boru malzemelerden kesilen deney numuneleri.....	66
Şekil 7.2.	Yapısı incelenmiş olan 85/15 Zn/Al alaşımı ark püskürtme kaplama teli.....	67
Şekil 7.3.	Tuz Püskürtme Korozyon Deneyi Test Kabini.....	
Şekil 8.1.	Zn/Al 85/15 kaplama tel malzemesinin çekme yönündeki mikroyapısı.....	71
Şekil 8.2.	Zn/Al 85/15 kaplama tel malzemesinin kesit yüzeyindeki mikroyapı görüntüsü.....	71
Şekil 8.3.	Zn/Al 85/15 döküm yapısının mikroyapı görüntüsü.....	72
Şekil 8.4.	Zn/Al 85/15 döküm yapısının yüksek büyütmedeki mikroyapısı....	72
Şekil 8.5.	Zn/Al 85/15 döküm yapısının yüksek büyütmedeki mikroyapısı....	73
Şekil 8.6.	Zn/Al 85/15 kaplama telinin kesit yüzeyden SEM görüntüsü, b) Zn/Al 85/15 alaşım telinin kesit yüzeyden SEM görüntüsü ve EDS analizinin yapıldığı 3 bölge (1 nolu bölge, 2 nolu bölge, 3 nolu bölge).....	74
Şekil 8.7.	85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 1 nolu bölgenin EDS analizi.	74
Şekil 8.8.	85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 1 nolu bölgenin EDS analizi.	75
Şekil 8.9.	85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 2 nolu bölgenin EDS analizi.	75
Şekil 8.10.	85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 3 nolu bölgenin EDS analizi.	75
Şekil 8.11.	Zn/Al 85/15 döküm numunesinin SEM backscatter görüntüleri.....	76
Şekil 8.12.	Zn/Al 85/15 döküm numunesinin SEM fotoğrafı ve EDS analizinin alındığı 3 bölge.....	77
Şekil 8.13.	85/15 Zn/Al döküm yapısının 1nolu bölgesinden alınan EDS analizi.....	77
Şekil 8.14.	85/15 Zn/Al döküm yapısının 2nolu bölgesinden alınan EDS analizi.....	77
Şekil 8.15.	85/15 Zn/Al döküm yapısının 3nolu bölgesinden alınan EDS analizi.....	78
Şekil 8.16.	Düktil demir boru malzemesindeki kaplama yapıları.....	79
Şekil 8.17.	Düktil demir malzemesi kesit yüzeyindeki Zn kaplama yapıları; 1,2,3,4 (200x).....	79

Şekil 8.18. Düktil demir malzemesi kesit yüzeyindeki Zn kaplama yapıları; 1,2 (500x).....	80
Şekil 8.19. Düktil demir boru numunesinde Zn kaplama bulunmayan kesit yüzey görüntüleri; 1,2, (200x).....	80
Şekil 8.20. Zn kaplama ve çinko kaplama yapısı.....	82
Şekil 8.21. Zn kaplamalı düktil demir boru malzemesindeki Zn kaplama yapısı ve kaplama-altlık ara yüzey EDS analizi.....	82
Şekil 8.22. Zn kaplamalı numunenin 1 nolu bölgesinden alınan EDS analizi....	82
Şekil 8.23. Zn kaplamalı numunenin 2 nolu bölgesinden alınan EDS analizi....	83
Şekil 8.24. Zn kaplamalı numunenin 3 nolu bölgesinden alınan EDS analizi....	83
Şekil 8.25. Zn kaplamalı numunenin 4 nolu bölgesinden alınan EDS analizi....	83
Şekil 8.26. Zn kaplama kesit yapısının yüksek büyütmedeki görüntüsü ve EDS analizin alındığı 3 bölge.....	85
Şekil 8.27. Zn kaplama yapısının 1 nolu bölgesindeki EDS analizi.....	85
Şekil 8.28. Zn kaplama yapısının 2 nolu bölgesindeki EDS analizi.....	85
Şekil 8.29. Zn kaplama yapısının 3 nolu bölgesindeki EDS analizi.....	86
Şekil 8.30. Düktil demir boru malzemesindeki 85/15 Zn/Al kaplama yapısı (100x).....	87
Şekil 8.31. Düktil demir boru malzemesindeki 85/15 Zn/Al kaplama yapısı (100x).....	87
Şekil 8.32. Kaplama-altlık arayüzeyi yüksek büyütmedeki görüntüsü (200x)....	88
Şekil 8.33. Düktil demir boru malzemesi üzerindeki Zn/Al 85/15 kaplamanın SEM backscatter fotoğrafları a) genel görüntü, b) detay görüntü....	89
Şekil 8.34. Zn/Al 85/15 kaplamada ve kaplama-altlık ara yüzeyindeki boşlukların görüntüleri.....	90
Şekil 8.35. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısı ve kaplama-altlık ara yüzey EDS analizi.....	90
Şekil 8.36. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısındaki 1 nolu bölgeden alınan EDS analizi.....	90
Şekil 8.37. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısındaki 2 nolu bölgeden alınan EDS analizi.....	91
Şekil 8.38. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısındaki 3 nolu bölgeden alınan EDS analizi.....	91

Şekil 8.39. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama-altlık arayüzeyinin 4 nolu bölgeden alınan EDS analizi.....	91
Şekil 8.40. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama-altlık arayüzeyinin 5 nolu bölgeden alınan EDS analizi.....	92
Şekil 8.41. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama-altlık arayüzeyinin 6 nolu bölgeden alınan EDS analizi.....	92
Şekil 8.42. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının kesit SEM görüntüsü ve EDS analizinin yapıldığı 4 bölge.....	93
Şekil 8.43. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 1 nolu bölgesinden alınana EDS analizi.....	93
Şekil 8.44. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 2 nolu bölgesinde alınan EDS analizi.....	94
Şekil 8.45. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 3 nolu bölgesinde alınan EDS analizi.....	94
Şekil 8.46. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 4 nolu bölgesinde alınan EDS analizi.....	94
Şekil 8.47. Isıl işlem uygulanmış düktil demir malzemenin yüzeyinde oluşan yüzey-oksit tabakalarının görüntüleri; a) 50x, b)200x.....	95
Şekil 8.48. 85/15 Zn/Al kaplama üzerindeki mikro sertlik ölçüm yük izleri (a, b, c-200x, d-500x).....	96
Şekil 8.49. Yüzey oksit tabakaların mikrosertlik ölçüm yük izleri (a,b-200x)...	96
Şekil 8.50. Zn+polimer (bitüm) kaplamalı numunenin kaplama kalınlıkları ölçümleri (200x).....	98
Şekil 8.51. Zn/Al 85/15+polimer (mavi epoksi) kaplamalı numunenin kaplama kalınlıkları ölçümleri.....	99
Şekil 8.52. Zn + polimer (bitüm) kaplamalı-sadece kaplama çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	100
Şekil 8.53. Zn + polimer (bitüm) kaplamalı-altlığa kadar çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	101
Şekil 8.54. Zn kaplamalı-çizik bulunmayan düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-	

	200. saat, d-300 saat).....	102
Şekil 8.55.	Zn kaplamalı-kaplamaya kadar çizilmiş düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	103
Şekil 8.56.	Zn kaplamalı-altlığa kadar çizilmiş düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	103
Şekil 8.57.	Zn/Al 85/15 + polimer (mavi epoksi) kaplamalı-sadece kaplama çizilmiş düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	104
Şekil 8.58.	Zn/Al 85/15 + polimer (mavi epoksi) kaplamalı-altlığa kadar çizilmiş düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	105
Şekil 8.59.	Zn /Al kaplamalı-çizik bulunmayan düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	105
Şekil 8.60.	Zn/Al 85/15 kaplamalı-sadece kaplama yüzeyi çizilmiş düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	106
Şekil 8.61	Zn/Al 85/15 kaplamalı-altlığa kadar çizilmiş düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat).....	107
Şekil 8.62.	Kaplamaya bulunmayan sadece yüzey oksit tabakalı düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları.....	107
Şekil 8.63.	Test süresine bağlı olarak kaplama numunelerinde kırmızı pasın görülmesi ve korozyon performansı grafiği.....	108
Şekil 8.64.	Yüzey oyuk oluşumları.....	110
Şekil 8.65.	Yüzey topografyasının korozyon nedenli değişimi.....	110
Şekil 8.66.	Zn korozyon ürünlerinin X- ışınları analizi.....	111
Şekil 9.1.	Zn ve Zn/Al 85/15 kaplamaların koruma mekanizmaları korozyona hızı ve zaman arasındaki ilişki.....	114
Şekil 9.2.	Tuz püskürtme testinde kırmızı pas oluşum zaman aralıkları.....	116

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Düktil demir borular için toprak özdirenç- korozyon ilişkisi.....	9
Tablo 2.2	Düktil demir boru için toprak test değerlendirmeleri (10-puan sistemi).....	14
Tablo 2.3	Toprak karakteri ve tavsiye edilen kaplama uygulamaları.....	29
Tablo 5.1	Elektrik ark sprej proses parametre aralıkları.....	37
Tablo 5.2	Endüstriyel uygulamalar için bazı tel malzemeleri.....	38
Tablo 5.3	Elektrik ark sprej ile özlü tel kaplamalar ve uygulama alanları.....	52
Tablo 5.4	Çeşitli korozyon koruyucu kaplamalar ve uygulamalar.....	54
Tablo 6.1	Kaplama kalınlığı ve 20 ila 40 yıl arasında değişen kullanım ömürleri.....	59
Tablo 6.2	Termal sprej metal kaplamada korozyona karşı kullanılan anot malzemelerin özellikleri.....	57
Tablo 7.1	Tuz Püskürtme Korozyon Deneyi için hazırlanan numune sayısı ve yüzey profilleri.....	69
Tablo 8.1	85/15 Zn/Al kaplama ve yüzey oksit tabakaların mikrosertlik ölçüm değerleri.....	
Tablo 8.2	Korozyon testine tabi tutulan kaplanmış düktil demir numuneler ve yüzey durumları.....	

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Elektrik ark püskürtme, 85/15 çinko/alüminyum, kaplama, korozyon

Elektrik ark püskürtme metalik malzemelerin bir altlık yüzeyine biriktirilmesi prosesidir. Türkiye’de çok az bilinmesine rağmen elektrik ark püskürtme prosesi korozyon ve abrazyona dayanımlı kaplama üretmek için çok geniş bir uygulama alanlarına sahiptir. Özellikle korozyon uygulamalarında çok geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Çinko, alüminyum ve yüksek performanslı 85/15 çinko/alüminyum alaşımları bu yöntem ile özellikleri büyük çelik yapılardaki korozyona dirençli kaplama olarak uygulayabilmektedir.

Bu çalışmada çinko ve 85/15 çinko/alüminyum kaplamaların elektrik ark püskürtme yöntemi ile üretilmesi ve SEM, EDS ve optik mikroskopla incelenmesi amaçlanmıştır. Hızlandırılmış korozyon testi olan Tuz Püskürtme Testi ile de korozyon davranışları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, 85/15 çinko/alüminyum alaşımının korozyon dirençlerinin diğer metalik kaplamalara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

INVESTIGATION OF HIGH PERFORMANCE Zn/Al (85/15) COATING PRODUCED BY THERMAL SPRAY TECHNIQUE

SUMMARY

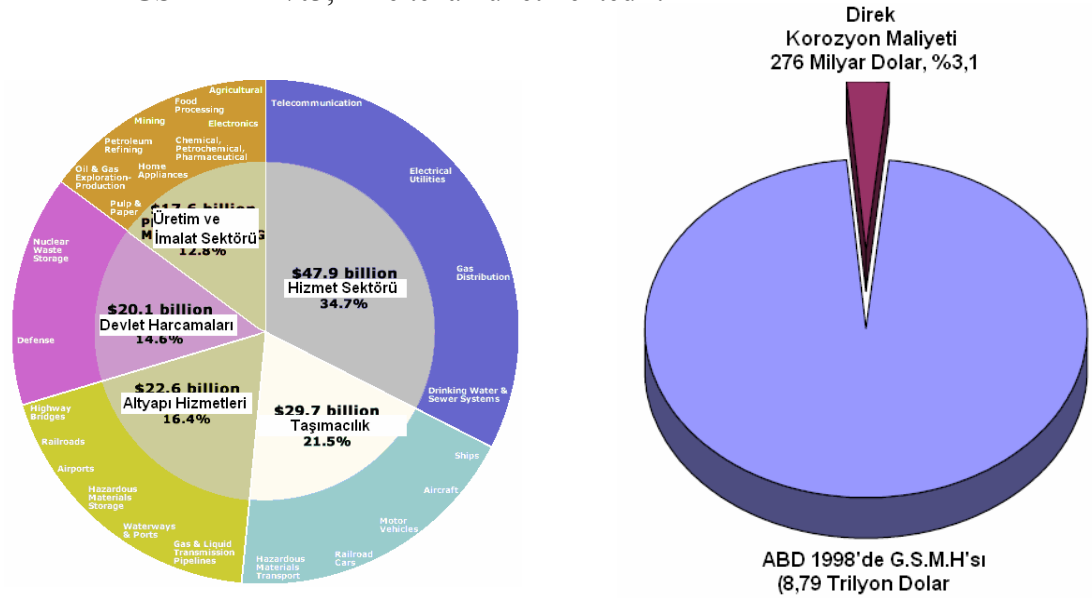
Keywords: electric arc spraying, zinc/aluminum 85/15, coating, corrosion

Electric arc spraying is a process of depositing metallic materials on a substrate. However, this process is less known in Turkey. Electric arc spray process has a variety of applications for corrosion and abrasion resistance coatings. Especially, this process has a variety of applications for corrosion protection. Zinc, aluminum, and zinc/aluminum 85/15 alloy coatings are easily on electric arc spraying.

In this study, zinc, and zinc/aluminum 85/15 alloy coatings were produced with electric arc spray process, coated samples were investigated optical microscopy, SEM, and EDS analysis. The samples were also tested to reveal corrosion protection. Accelerated corrosion test “Salt Spray Testing” was applied to evaluate coating performance as well as coating materials performance. The results showed good performance.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

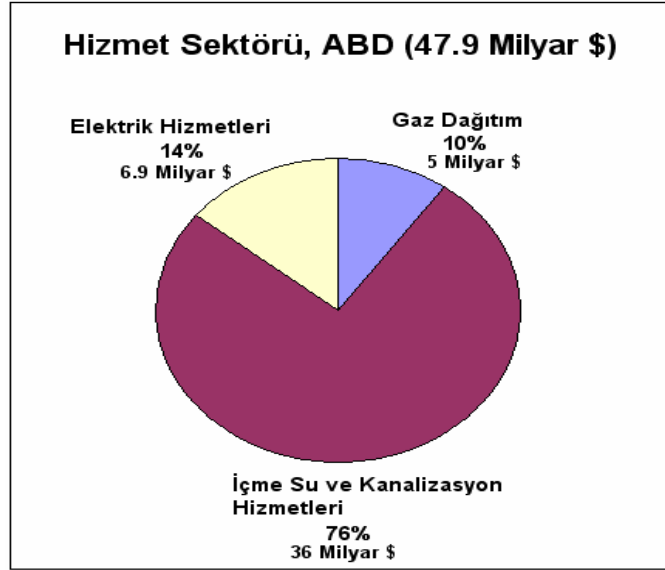
Korozyon, aşınma veya bu hasar mekanizmalarının metalik malzemeler üzerindeki kombine etkileri her yıl endüstriyel ekonomilerde milyarlarca dolar kayba neden olmaktadır. Özellikle korozyon hasarı, metalik malzemelerde en sık görülen hasar mekanizmasıdır. Ulusların gayri safi milli hâsıllarının (GSMH) %7'ye yakın kısmının aşınma ve korozyon nedenli hasarlara gittiği düşünülürse bu problemin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Geçen 22 sene boyunca ABD 52 temel hava felaketlerinden-hortum, fırtına, kasırga, tropikal yağmurlar, kuraklık ve aşırı soğuklar gibi-zarar görmüştür. Bu zararın toplam maliyeti 380 milyar dolar iken, ABD'de 1998'de yapılan korozyon maliyet araştırması çalışmasında metalik malzemelerin direkt korozyon maliyeti 276 milyar dolar/yıl olarak bulunmuştur. Bu rakam ABD'nin GSMH'nın %3,1'ine tekâmül etmektedir.



Şekil 1.1 a) ABD sektörel korozyon maliyet grafiği, b) ABD korozyon maliyetlerinin GSMH'daki payı

Amerika'da yapılan bu çalışmadaki toplam korozyon maliyetini oluşturan segmentler; hizmet sektörü, taşımacılık sektörü, altyapı hizmetler, hükümet harcamaları, üretim-imalat sanayi'dir. Şekil 1,1'deki tabloda görüldüğü gibi

korozyon maliyetlerini oluşturan sektörler arasındaki en büyük paydayı hizmet sektörü almaktadır. Hizmet sektörünü de oluşturan alt segmentler Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 1.2. ABD’deki hizmet sektöründeki korozyon maliyeti grafiği

Hizmet sektöründeki bu yüksek korozyon maliyetini oluşturan en büyük paydayı içme su ve atık su hizmetleri oluşturmaktadır. İçme su ve atık su sistemlerinde kullanılan metalik malzemeler için korozyon doğal bir fenomendir.

Düktil Demirler, dökme demirler ailesinin en yeni (1948) üyesi olup çeliklerin mukavemet özellikleri ile gri (pik) demirlerin kolay dökülebilme özelliklerini bütünlerler. Küresel grafitli dökme demir (KGDD) olarak da anılan düktül demir; iyi işlenme, dökülebilme, güvenilirlik, titreşim söndürme, elastik modül, darbe direnci, aşınma direnci, mukavemet ve korozyon direnci gösterir. Bu avantajları ile beraber özellikle içme su boru hatlarında düktül demir borular giderek gri dökme demir boruların yerini almıştır. Toprak altındaki içme su hatlarında kullanılan düktül demir boruların korozyon kontrolünün sağlanması için uygulana çeşitli koruyucu yöntemlerden birisi de elektrik ark püskürtme Zn ve Zn/Al kaplamalardır.

Elektrik ark püskürtme prosesi, termal püskürtme ailesinin bir üyesinde olup bu aile arasındaki en fiyat avantajlı kaplama yöntemidir. Elektrik ark püskürtme il özellikle

yüksek saflıkta metalik kaplamalar üretilebilmektedir. Kaplama malzemesi olarak tel formunda olup elektrik ark püskürtme ile yüksek verimli kaplamalar üretilebilmektedir. Ayrıca sistemin mobilite olması özellikle saha uygulamaları için de kullanılabilen bir kaplama prosesidir.

BÖLÜM 2. DÜKTİL DEMİRLER BORULARDA KOROZYON

2.1. Giriş

Özellikle içme su boru hatlarında kullanılan metalik malzemelerin korozyonu doğal bir fenomendir. Toprak altında servis veren düktil demir borular üstün mekanik özellikleri ve sahip olduğu yüksek korozyon direnci ile gri dökme boruların yerini almaktadır. Fakat özellikle değişken toprak yapısına bağlı olarak düktil demirlerde belli servis ömürlerinden sonra korozyona uğramakta ve servis dışı kalmaktadırlar. Bu yüzden içme su boru hatlarında kullanılan düktil demir boru malzemelerin servis ömürlerini uzatmak için bu malzemelerin korozyon davranışlarının bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Bu bölümde düktil demirlerin korozyon, korozyon türleri, korozyonu oluşturan faktörleri, koruyucu yöntemler irdelenecektir.

2.2. Korozyonun Tanımı

Bir metalin korozyon, bir metalin yüzey atomlarının bulunduğu ve/veya maruz kaldığı bir maddenin (katı, sıvı ve gaz) temas alanındaki reaksiyonu şeklinde tanımlanan kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlarının tümüdür[1]. Korozyonun nedeni metalinde bileşik halinde olma eğilimidir. Metal kararlı hale geçmek için durum değiştirir ve reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucu korozyon oluşur. Kısaca tarif etmek gerekirse korozyon, metallerin doğal durumlarına dönme eğilimlerinin sonucunda ortaya çıkar[2]. Daha genel bir ifade ile korozyon, metallerin kimyasal olarak bozunması olarak da tarif edilebilir[3]. Genellikle korozif ortamı sıvı maddeler oluştururlar. Fakat gazlar ve hatta katılarda korozif özellik gösterebilirler. Örnek olarak katı bir akışkan, bir film, bir damlacık, yüzeydeki absorbe olmuş veya başka bir yüzeyde absorbe olmuş bir madde korozyon meydana getirebilir. Korozyon sonucunda demir veya demir esaslı alaşımlarda suyun etkisiyle “pas” denilen korozyon ürünü oluşur.

Bütün metal yapılar belli bir zaman zarfında doğal ortamlarda (atmosfer, toprak ve su) korozyona uğrarlar. Bronz, pirinç, birçok paslanmaz çelik, çinko ve saf alüminyum servis koşullarında çok yavaş korozyona uğrayarak koruyucu kaplama olmadan servis ömürlerinin uzun olması beklenir[1].

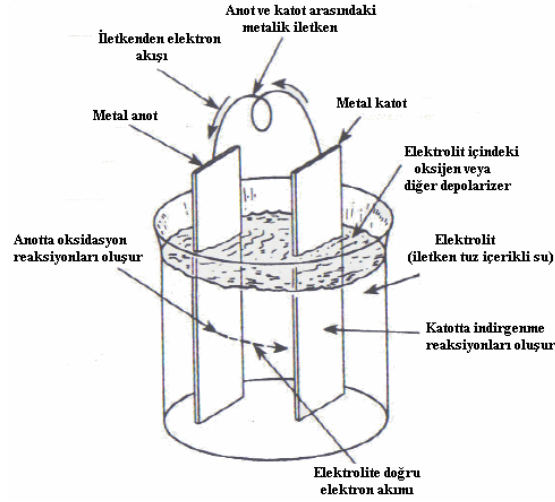
2.3. Elektrokimyasal Korozyonun Temelleri

Elektrokimyasal korozyon, doğal ortamı içinde (atmosfer, su ve toprak) bulunan metallerin sebep olduğu, bir metalden diğer metale veya bir metalin yüzeyindeki bir bölümden diğer yüzeydeki başka bir bölüme akan bir elektrik akımıdır. Elektroliz, bir maddenin içerisinden elektrik akımı geçirmek suretiyle bileşenlerine ayrışması işlemidir. Elektrik akımını elektrolite ileten iki tele yada plakalara elektrod denir. Doğru akım için, akımın elektrolite girdiği elektroda anot, çıktığı elektroda katot denir. Benzer şekilde, bir pil hücresinden elektrik akımı geçtiğinde katoda hareket eden pozitif yüklü iyonlar (Örn. H^+ , Fe^{++}) “katyon”, anoda doğru hareket eden negatif yüklü iyonlara da (Örn. Cl^- , OH^- , SO_4^{--}) “anyon” denir.

Bir korozyon hücresinin oluşması için gerekli şartlar şunlardır:

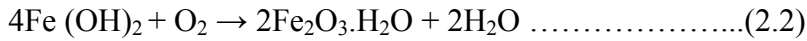
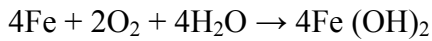
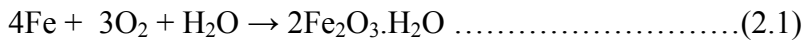
- a) Ortamda bir anot ve katot,
- b) Anot ve katot arasında bir elektrik potansiyeli,
- c) Anot ve katot arasında metalik bir bağ,
- d) Anot ve katot içinde bulunduğu bir elektrolit.

Şekil 2.1’de gösterilen hücre en basit korozyon prosesidir. Bu hücrede korozyonun oluşması için gerekli her şart mevcuttur. Bir metal anot, bir metal katot, anot ile katot arasında bir metal iletken ve bir elektrolit. Elektrolit, iyon içeren, sulu çözeltilerdir. Yüklü iyonlar asidik, alkali ve tuzlu çözeltilerde gösterilir. Su, özellikle de tuzlu su mükemmel bir elektrolittir. Elektrolit içerisine daldırılmış bir metalin korozyonu metal-elektrolit ara yüzeyinde elektron transferi ile birlikte yürür. Çeşitli nedenlerle metal yüzeyinde değişik potansiyellere sahip alanlar meydana gelir. Bunun sonucu olarak mikro ve makro büyüklükte korozyon hücreleri oluşur. Elektronlar metal bünyesi içinden potansiyelin daha negatif olduğu bölgelere doğru akar.



Şekil 2.1. Korozyon için gerekli olan bileşenlerin bulunduğu basit bir elektrokimyasal hücre[1]

Pozitif potansiyele sahip bölgeler anot, negatif potansiyele sahip bölgeler katot olarak rol oynar. Böylece katot bölgesinde biriken elektronlar, katotta meydana gelen redüksiyon reaksiyonu ile harcanır. Anotta ise oksidasyon reaksiyonu sonucu elektron açığa çıkar. Anot ve katotta bu iki reaksiyon bir arada yürür ve anot ve katottan eşdeğer miktarda akım geçişine neden olur.



Metalik korozyon boyunca, oksidasyon oranı redüksiyon oranına eşittir. Böylece, hasar verici olmayan bir kimyasal reaksiyon, indirgenme, katotta eşzamanlı bir şekilde ilerler. Bu durumda katottan hidrojen gazı üretilir. Gaz tabakası bütün katotu sardığında akım durur ve hücre polarize olur. Yine de oksijen ve diğer depolarasyon etmenler genellikle hidrojen ile reaksiyona girerler. Böylece bu polarizasyon etkisi düşürülür ve hücredeki hareketlilik devam eder. Faraday kanununa göre devreden 96500 coulomb akım geçtiğinde anot ve katotta 1 equivalent-gram madde kimyasal değişime uğrar.

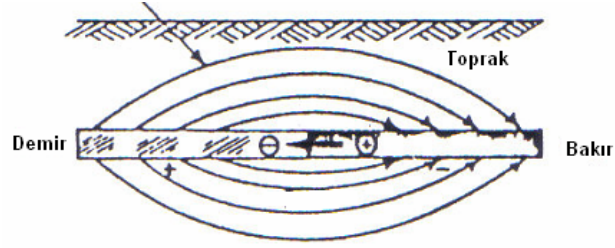
Çözelti konsantrasyon içindeki farklılıklar veya farklı metalik iletkenler arasındaki temas potansiyel farkından dolayı elektrik akımının oluşmasına sebep olur. Metal yüzeyindeki veya çevresindeki homojensizlikler potansiyel farktan dolayı korozyon reaksiyonlarının başlamasına neden olup lokal korozyona oluşturabilir.

2.4. Korozyon Teorisi

Demir esaslı malzemelerde iki tür temel korozyon oluşumu mevcuttur. Galvanik korozyon ve elektrolitik korozyondur. Özellikle toprak altında servis veren düktil demir boruların korozyonu bu iki temel korozyon oluşumu ile açıklanmaktadır.

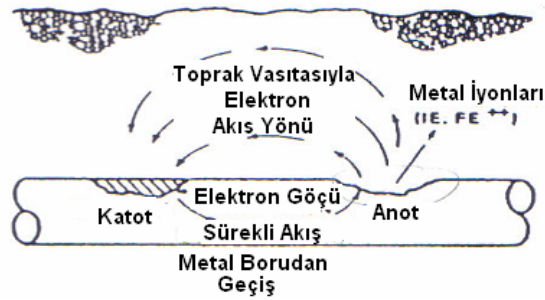
2.4.1. Galvanik korozyon

Galvanik korozyon bir elektrolit (toprak) içindeki iki farklı metalin etkileşiminden galvanik akım oluşumundan kaynaklanan bir pil etkisidir. Bu doğal direk akım veya galvanik akım, bir elektrolit içinde, bir iletkenin birbirini bağlaması ile iki farklı metalin bir galvanik çift oluşturduğu, bazı zamanlarda bir elektrokimyasal hücre olarak da tanımlanan bu temel korozyon hücresinde oluşturulur. Birçok toprak mineral tuzlar ve nem karışımları içerirler ve bundan dolayı iyi bir elektrolittir. Eğer bakır bir bağlantı parçası ile düktil demir veya çelik borunun bir bölümü toprak içerisinde bir şekilde elektriksel olarak bağlanmış olursa, doğal elektrolit olan toprak içerisinde bakır parçanın katot, düktil demir veya çelik borunun anot olarak davranacağı bir galvanik çift oluştururlar. Bu galvanik hareketten doğan elektrolit çevrimi tamamlanır ve çelik bakıra doğru bir direk akım oluşur. Bu oluşan akım düktil demir veya çelik boruyu toprağa doğru deşarj olarak terk eder ve bunun sonucu olarak da korozyon oyukları meydana gelir. İşte bu mekanizmaya düktil demir veya çelik borunun anot olarak davrandığı ve bakır bağlantının katot olarak davrandığı galvanik korozyon denmektedir.



Şekil 2.2.. Zemin içerisindeki galvanik pil oluşumu [5]

Farklı metallerin birbiri arasında galvanik akım oluşturmasına ek olarak aynı metalik malzemenin bazı bölümlerinde lokal galvanik akımlarda oluşabilmektedir. Bunun nedeni malzemenin metalurjik yapısında bulunan farklılıklar veya kullanım ortamdaki farklılıkların olmasıdır. Örnek olarak toprak yapısında farklı bölgelerin bulunması veya aynı metal üzerindeki nem farklılıklarının olmasından dolayı galvanik çift oluşabilmekte ve galvanik korozyon meydana gelmektedir.



Şekil 2.3. Toprak içindeki metal bir borudaki anot ve katot oluşumu [5]

Bu durum özellikle düktil demirlerde görülen korozyon mekanizmalarından biridir. Grafitleşme veya demirsizleşme olarak tanımlanan bu olay, düktil demir yapısında bulunan grafitlerin katot şeklinde davranıp demiri korozyona uğratması ile demirin korozyon ürünü olarak bünyeden ayrılmasıdır. Ayrıca toprak altında servis veren düktil demir boruların topraktaki farklı bölgeler nedeni ile galvanik etkinin oluşması ve bunun sonucu olarak korozyon oyuklarının (pitting) görülmesidir.

2.4.2. Elektrolitik korozyon

Elektrolitik korozyon, dış kaynaktan gelen akımın elektrolit vasıtasıyla, metal bir yapıya girmesi ve sonra yapıdan ayrılması sonucu oluşan korozyondur. Akımın

yapıya giriş yaptığı yerde yapı genellikle koruma derecesine bağlı olarak korunur. Akımın yapıdan ayrıldığı yerde korozyon oluşur. Toprak altında servis veren yapılarda bu tip korozyon kaçak akım korozyonu şeklinde tarif edilmektedir.

Alternatif akım (ac) yol açtığı korozyon zararı direk akımın (dc) korozyon zararına göre daha düşük olmasına rağmen, korozyon oluşumu düşük frekanslar için büyük, yüksek frekanslar için düşüktür. Buna bağlı olarak düktil demir, çelik, bakır ve kurşun gibi metaller için 60-Hz ac oluşan hasar, eşdeğerliği olan dc akıma ile oluşan hasarın %1'den daha az olduğu tahmin edilmektedir.

Birçok endüstriyel donanım eğer kontrolünü sağlamaz ise birçok çeşit kaçak akım problemi yaşacaktır. Bu dc akım kaynakları, kaynak ekipmanı, elektrokaplama prosesleri, pil doldurma aparatları, motor jeneratörleri, dc kontrol devreleri, akımı kesilmiş veya kesilmemiş güç sistemleri, dış akımlı katodik koruma yakın bölgeleri, dc geçiş sistemleri gibi endüstriyel donanımlar olabilmektedirler[5].

2.5. Koroziyon Koşulları

Eğer oksijen ve su her ikisi bir arada bulunuyorsa demir ve çelikte normal olarak korozyon meydana gelecektir. Hızlı korozyon su içinde yer alabilmektedir. Korozyon oranı birkaç faktör ile hesaplanmaktadır; (a) suyun pH, (b) metalin çalışma şekli, (c) suyun sıcaklığındaki ve hava konsantrasyonundaki artış, (d) belirli bakterilerin bulunması. Korozyon koruyucu tabakalar veya korozyon ürünlerinin veya absorblanan oksijenin film oluşturması ile yavaşlatılabilir. Suyun alkali seviyesinin yüksek olması da çelik yüzeyindeki korozyon hızını yavaşlatmaktadır., korozyon miktarı genellikle bir veya diğeri ile kontrol edilmesine karşın su ve oksijen korozyon oluşumundaki başlıca faktörlerdir. Örnek olarak havanın nemi normalden %30 aşağıda ve düşük sıcaklıkta hava kuru ve veya nem miktarı kayda değer oranda değilse çeliklerde korozyon meydana gelmez. Buda nemsizleştirme ile korozyon korumasının temelidir.

2.5.1. Su

Su kolayca atmosferden küçük miktarlarda oksijeni çözebilmektedir ve böylece çok korozif bir ortam olmaktadır. Suyun içindeki çözülmüş serbest oksijenler kaldırıldığında su asidik olmayıp anaerobik bakteri içermiyorsa pratik olarak korozif değildir. Ayrıca eğer oksijen serbest su nötr bir pH da kalırsa veya düşük alkali içeriğine sahipse pratik olarak yapı çeliğini korozyona uğratmaz.

2.5.2. Kimyasallar

Asidik bir ortam içinde, hatta oksijen olmaksızın hızlı bir şekilde korozyon reaksiyonları oluşur. Katotta, atomik hidrojen devamlı bir şekilde serbest kalır ve hidrojen gazı açığa çıkar. Bir asit ile korozyon, yavaş reaksiyon hızlı bir tuz oluşumu sonuçlanabilir. Yüzeyde oluşan bu tuz korozyonu sonradan hızlandıracaktır.

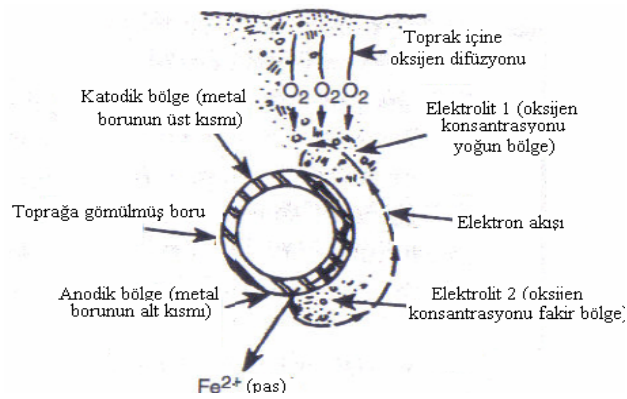
Direk kimyasal etki ile korozyon, çelik yüzeylerine karşı en hasar verici güçtür. Malzeme klorürlerine veya onun kompozisyonundaki özellikle çok agresif olan halojenlerine sahip olabilir. Bulunduğu atmosferde daima florürleri içeren alüminyum ingot üretim alanındaki yapılarda kullanılan galvanizli çatılar, sekiz aylık bir kullanım içinde korozyona uğradıkları bilinmektedir. Bu nedenle galvanizli çelik bu alanlarda uygulanmamalıdır.

2.5.3. Atmosfer

Atmosferik korozyon su ve toprakta meydana gelen korozyon oluşumundan farklıdır. Çünkü yeterli oksijen her zaman mevcuttur. Atmosferik korozyonda çözünmeyen film oluşumu ve atmosferden gelen nem mevcudiyeti ile yüzeyde birikmesi korozyon hızını kontrol etmektedir. Sülfür bileşikleri ve tu partikülleri gibi içerikler korozyon oranını artırır. Yine de atmosferik korozyon birincil olarak elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşur. Yani direk olarak bir kimyasal atak değildir. Anodik ve katodik alanlar özellikle oldukça küçük ve birbirine yakın olmakla beraber korozyon üniformdur.

2.5.2. Toprak

Metalik partiküllerin dağılması veya bakteri keselerinin toprak içinde gömülmüş olmaları metaller için doğal bir elektrik yolu sağlayabilmektedir. Eğer bir elektrolit mevcut olup negatif toprak yüke sahip olursa metalden toprağa bir elektriksel yol oluşacak ve bunun sonucu olarak da metal korozyona uğrayacaktır. Toprak içindeki nem içeriği, özdirenç gibi bölge farklılıkları boru yüzeylerinde anodik ve katodik alanlar oluşturarak korozyon meydana getireceklerdir[1]. Toprakta bünyesindeki sudaki oksijen konsantrasyonundaki farklılıklar ve topraktaki nem farklılıklarının olduğu yerlerle temas eden metal borularda yüksek konsantrasyona sahip bölgeler katot, düşük konsantrasyona sahip bölgeler anot olarak davranarak korozyon meydana gelirler[4].

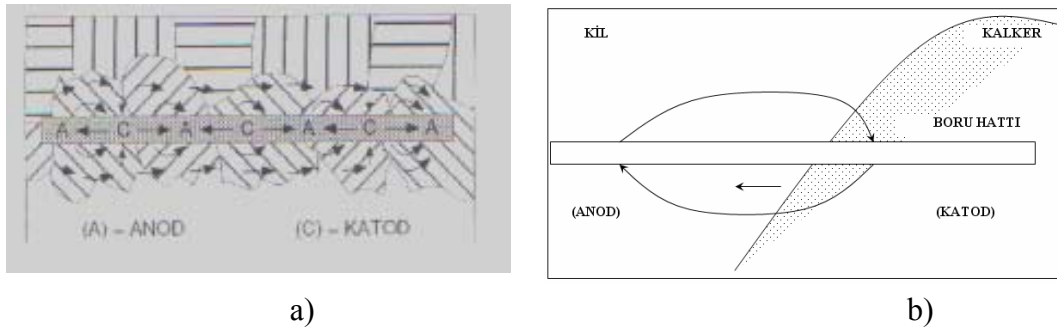


Şekil 2.4. Nemli toprak içine gömülen bir boruda meydana gelen korozyon hücresi. Farklı oksijen konsantrasyonu olan bölgelerden oluşan potansiyel farktan dolayı anodik ve katodik alanlar meydana gelerek korozyon oluşup ilerleyecektir[1].

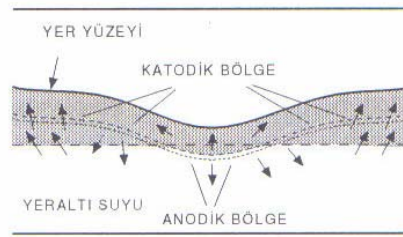
Düktül demir boruların toprak altındaki kullanımında da toprak yapısı ile ilgili aynı unsurlar geçerli olmaktadır. Sonuçta toprak taş, kum, kil, su gibi çeşitli malzemelerin karışımından oluşan heterojen yapıda bir elektrottur. Bu nedenle kısa mesafeler içinde bile büyük farklılıklar gösterebilir. Çözünmüş tuz cinsi ve konsantrasyonu da değişebilmektedir. Zemin yapısındaki farklılık düktül demir boru hattı üzerinde korozyon hücrelerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Şekil 2.5. a'da kısa mesafelerde toprak yapısındaki farklılığa bağlı olarak meydana gelmiş korozyon hücresinin oluşumu şematik olarak görülmektedir. Bu tip korozyon, düktül boru

hattının değişik jeolojik yapılar da zemin içinden geçmesi halinde korozyon hücreleri oluşması şeklinde dir. Buda şekil 2.5. b’ de şematik olarak ifade edilmektedir.

Bazı halde zemin yapısı aynı kaldığı halde zemin içinde çözünmüş olan tuz cinsi ve konsantrasyonu değişebilir. Bu durumda da düktil demir boru hattı boyunca bölgeler arasında potansiyel fark doğabilir. Çözünmüş tuz konsantrasyonunun daha yüksek, yani zemin elektrik direncinin daha düşük olduğu bölgeler anot olarak korozyona uğrar. şekil 2.6’ de çözünmüş tuz konsantrasyonunun farklı olmasından ileri gelen korozyon şematik olarak gösterilmektedir.



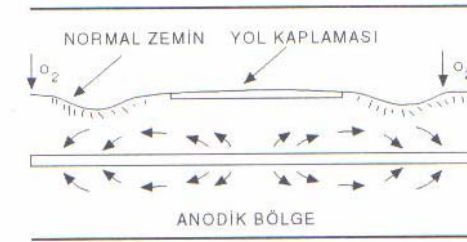
şekil 2.5 a)Toprağın heterojen yapısına bağlı olarak korozyonun oluşması, b) Kısa mesafede toprak heterojenliğinin oluşturduğu korozyon hücreleri [2]



şekil 2.6. Çözünmüş tuz konsantrasyonunun farklı oluşundan ileri gelen korozyon[2]

Yukarıda açıklanmış olduğu gibi, nötür sulu çözeltiler içinde katodik olayın devamı için katot bölgesine oksijen difüzyonu gereklidir. Atmosferden zemin içine doğrudan oksijen taşınması oldukça güç bir olaydır. Zemin yapısı ve porozitesine bağlı olarak ancak 1-2 m. derinliğe kadar oksijen girebilir. Daha derinlere oksijen taşınması, içinde çözünmüş oksijen bulunan satıh sularının akışı ile mümkün olabilir.

Farklı havalandırma nedeniyle hücre oluşumu olayına yeraltı borularında ve özellikle içme su boru hatlarında kullanılan düktil demir borularda çok sık rastlanan bir durumdur. Bir boru hattının üst kısmı hava almayacak şekilde kaplanmış (örneğin asfalt ile kaplanmış durumda ise, bu bölge borunun diğer kısımlarına göre daha az hava alacağından anot olacaktır. Bu durumda Şekil 2.7da gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Farklı havalanma sonucu oluşan korozyon[2]

Düktil demir boru hatları yeraltına yerleştirildikten sonra boru üst kısmı yeniden toprak ile doldurulur. Bu dolgunun oksijen geçirgenliği, doğal zemine göre farklıdır. Bu durum borunun üst ve alt kısımlarında farklı havalanmaya neden olur. Borunun atmosfere yakın olan ve oksijen alabilen üst kısmı katot, borunun zemine oturduğu ve oksijen alamayan veya az oksijen alabilen alt kısmı anot olur. Şekil 2.8'de bu nedenle oluşmuş korozyonun şematik olarak gösterimi verilmektedir[2].



Şekil 2.8. Farklı havalanma nedeniyle borun tabanında oluşan korozyon[2]

2.6. Toprak İçerisindeki Düktil Demir Boruların Korozyon Mekanizmaları

Genellikle düktil demir boruların korozyon mekanizmalarının ve karakteristiklerinin çelikler ile benzer olduğuna inanılır. Yine de düktil demirler başka malzemelerden

yapılmış borular ile aynı yolla veya aynı oranda korozyon hasarına uğramaz[6]. Düktil demir borular tipik olarak iki mekanizma ile korozyona uğrarlar: grafitleşme ve oyuklanmadır (pitting).

2.6.1. Grafitleşme

Grafitleşme gri dökme demirlerin hasarındaki en temel etkidir. Yapılan laboratuvar çalışmaları ve alan testleri de düktil demirler için de durumun aynı olabileceği düşünülmüş fakat sonradan yapılan araştırmalar ve olay çalışmalar önceden düşülen gibi bir grafitleşme olmayabileceğini göstermiştir[6].

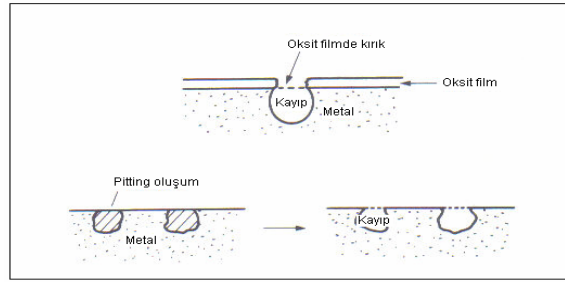
Grafitleşmede; düktil demirin yapısında bulunan grafitlerin katot olarak davranmasına bağlı olarak yapı içerisinde galvanik hücre oluşturmaya neden olur ve demir zengin ferritik bölgedeki demir anot olarak seçimli olarak korozyona uğrar ve korozyon ürünü şeklinde yapıdan ayrılır. Bunun sonucunda siyah, poroz ve mukavemeti çok düşük grafit zengin bir bölge oluşur[4]. Su basıncındaki değişim, dış yükler veya don gibi etkiler ile bu zayıf bölge eski yapısal mukavemetini gösteremediğinden hemen hasara uğrar[6]. Özellikle asidik ve tuz çözeltisi yoğun bölgelerde hızlı bir şekilde oluşan korozyon tipidir.

2.6.2. Oyuklu (pitting) korozyonu

Oyuklu korozyon, düktil boru yüzeyinde lokal korozyon bölgelerinin oyuklar oluşturmalarıdır. Bu oluşan korozyonla toplam metale göre pas şeklinde yapıdan ayrılan kısmı % 5 olmasına karşın, bu oyuklar düktil borunun iç veya dış yüzeyinden tamamen delerek su kaçaklarına sebebiyet verir ve sonuç olarak da düktil demir boru servis dışı kalır[1-8]. Korozyon sonucu oluşan bu oyuklar, bütün borunun sağlam kaldığı düşünülürse lokalize bir zayıflık ve mukavemetsizlik gösterir. Oyuklar (pitting), anodik veya korozyona uğrayan bölgenin katodik veya korunan bölgeye göre çok küçük olduğu zaman gelişir[1].

Oyuklu (pitting) korozyonu düktil demir borular için birincil hasar mekanizması olarak rapor edilmiştir. Kanada Ulusal Araştırma Kurumu (The National Research

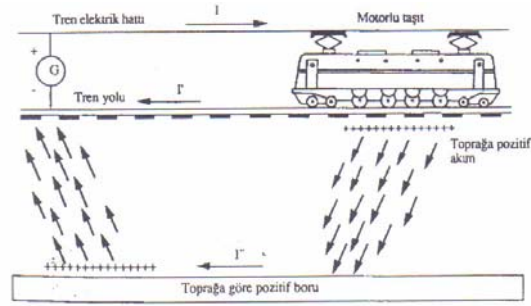
Council of Canada) tarafından 21 Kanada şehrinde 1992 ve 1993 yılları arasında su hatlarındaki kesilemeler rapor edilip toplanmış ve bu bir rapor halinde sunulmuştur. Bu raporda su dağıtım ağının %24'ü olan düktil demir boru hattı ve bu bölgedeki su kesilme oranları 1992 ve 1993 yılları arasında sırasıyla, 100 km/yılda 9.3 kesinti ve 100/yılda 9.8 kesinti rapor edildiğini göstermiştir. Buradan da düktil demir boru hasarının %76 ve %78'inin delik veya oyuklardan meydana geldiği rapor edilmiş. Bunun tersi olarak gri dökme demir boru için %20 olarak rapor edilmiştir[6].



Şekil 2.9. Oyuklu (Pitting) korozyon oluşumu[9]

2.6.3. Kaçak akım korozyonu

Toprak zemin içerisinde tren, tramvay ve metro gibi raylı taşıtların kaçak akımı yer altı borularında çok şiddetli ve hızlı bir korozyona sebep olur. Hattın her noktasında toprağa doğru bir akım oluşur ve boru metalini Faraday Kanununa göre korozyona uğrar. Eğer metalin korozyonu borunun bütün yüzeyine yayılsaydı korozyon homojen olarak yayılacak ve tehlike az olacaktı. Ancak akım küçük bir yüzey üzerinden aktığında akım yoğunluğu artacak ve korozyonun şiddetli olmasına yol açacaktır. Korozyonun şiddeti, korozyon akımının yoğunluğuna bağlıdır. Yani toprakla temas halindeki metal yüzeyindeki birim metal yüzeyinden geçen akım şiddeti önemlidir. Çok iyi iletken olan kaynaklı borular kaçak akımlara karşı çok hassastırlar. Kauçuk conta v.b. bağlantılarla elektriksel olarak süreksizlik gösteren dökme demir borular kaçak akımlara karşı daha az hassastırlar. Bazen izole conta civarında devrenin elektriksel süreksizlik göstermesi, kaçak akımın contanın civarında çok küçük bir yüzeyden toprağa geçmesine ve borunun korozyonuna sebep olabilirler. Bilhassa ısıtıcı yolu ile birbirine bağlanan gaz ve su borularında kaçak akımlara çok sık rastlanmaktadır. Şekil 2.10.'da bu durum görülmektedir.



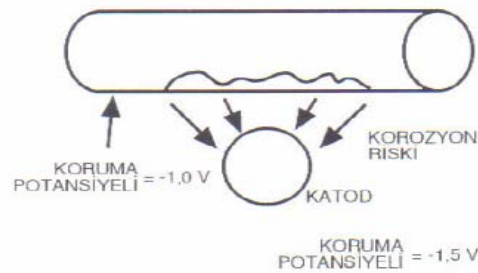
Şekil 2.10. dc ile çalışan demiryolunun boru hattı üzerinde kaçak akımın etkisi[2]

Şekil 16'da gösterilen I akımı (50–100 amp.) toprağa göre daha düşük dirençteki boru üzerinden tekrar drenaj noktasına geri dönecek drenaj civarında korozyon riski taşıyan anot bölgesi oluşturacaktır. Faraday Kanunu'na göre korozyona uğraya metal miktarı hesaplanabilir.

2.6.4. İnterferans korozyonu

Yeraltında yakın mesafede kesişen veya birbirine paralel olarak giden boruların katodik koruma potansiyellerinin farklı olması halinde, bu borular arasında zeminden geçerek kaçak akım oluşturması yolu ile ortaya çıkan korozyona interferans (girişim) korozyonu denir.

Şekil 2.11' da farklı potansiyellere sahip yakın mesafede kesişen iki borunun birinden diğerine akım çıkması yoluyla korozyon oluşumum görülmektedir. Daha düşük potansiyele sahip boru anot, diğeri katot olmaktadır. Anot boru, korozyon riski taşır.



Şekil 2.11. Kesişen iki borunun interferans etkisiyle korozyon oluşturması[2]

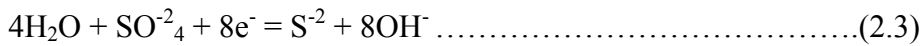
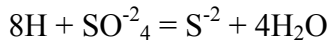
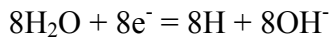
2.6.5. Biyolojik korozyon

Bazı topraklarda metalleri kimyasal veya elektrokimyasal olarak etkileyen bakteri ve mikroplar bulunabilir. Bu durum, düktil demirde fark edilen ve genellikle grafitlenme olayı ile açıklanan hızlı korozyonunda başlıca sebeplerindendir.

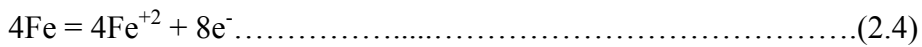
Bakteriler içerisinde en tehlikeli olanı, sülfat indirgeyen bakterilerdir. Bu bakteriler, topraktaki sülfatları indirgeyerek, demir alaşımını çok çabuk etkilediği bilinen H_2S 'i serbest hale geçirirler. Anot ve katot reaksiyon sonucu oluşan hidroksit iyonları çevrede bulunan karbon ve silikat iyonları ile yer değiştirerek karbonat veya hidroksit çökeltilerini oluşturabilir. Böylece demir yüzeyinde sert bir kabuk oluşur. Biyolojik korozyonun etkili olduğu hallerde, demir yüzeyine yapışmış korozyon ürünleri içinde daima bir miktar FeS bileşiğine rastlanır. Genellikle $Fe(OH)_2/FeS$ oranı 2,4 – 3,4 arasında değişir[2].

Ayrıca anaerobik ortamlarda yaşayan ve sülfat redükleyici bakteri olarak bilinen *Desulfovibrio desulfirican* türü bakteriler de demirin korozyonuna yardımcı olur. Sülfat redükleyici bakteriler esas itibarı ile zemin içinde bulunan sülfat yonun redükleyerek H_2S oluştururlar H_2S ise demire etki yaparak, demir sülfür oluşturur[3].

Katot reaksiyonu;



Anot reaksiyonu;



Toplam korozyon reaksiyonu;



2.7. Toprakta Korozyona Etki Eden Faktörler

Toprak, bileşimi ve diğer çevresel faktörlerle etkileşimi nedeniyle kompleks yapıya sahiptir. Yağmur, sıcaklık, hava hareketleri ve güneş ışığını alma gibi iklimsel faktörler toprakta önemli farklılıklara yol açar. Bu ise doğrudan toprakta gömülü olan metaller özellikle de düktil demir boru hatları üzerinde korozyon olayını etkin hale getirir. Toprakta korozyon olayı son derece değişkendir ve çok hızlı gelişebildiği gibi ihmal edilebilir seviyelerde de oluşabilir.

Toprağın genel karakteristiği heterojen yapısıdır. Toprak bileşimindeki veya yapısındaki değişimler aynı metal yüzeyinin farklı kısımları üzerine farklı çevrelerin etkilemesine neden olur. Bu ise metal/toprak ara yüzeyinde farklı oksijen konsantrasyonundaki farklılıklar veya asitlik yada tuz konsantrasyonundaki farklılıklar düktil demir boru üzerinde korozyon hücrelerinin oluşmasına neden olur[3].

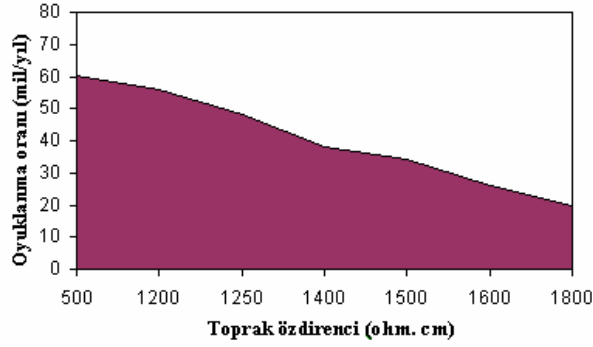
2.7.1. Toprak özdirenci

Toprak özdirenci, düktil demir boru hatlarının korozyon hesabında ve boru hattını ne kadar sürede servis vereceğinin hesaplanmasındaki en kritik faktördür[7]. Özdirenç faktörü toprak içindeki çözünür tuzlar ve su muhteviyatına bağlı olarak değişir. Çözeltideki oksijen ve tuz konsantrasyonu farklılığından doğan lokal potansiyel fark toprak içindeki düktil demir boru yüzeylerinde çukur (pitting) korozyonuna neden olur. Yüksek tuz konsantrasyonu elektriksel direnci azaltır ve elektrolitik hareketliliği artırır. Bu yüzden düşük özdirence sahip bölgelerde yüksek korozyon hızı söz konusudur. Özdirencin ölçülmesi diğer toprak karakteristikleri ile birlikte korozif bölgelerin bildirilmesine yararlı destek sağlar. Toprakta iletkenliğin kontrolünü sağlayan faktörlerin olduğu yerlerde, toprak iletkenliği ile oyuk (pitting) oluşumu ve derinliği arasında doğru bir ilişki olduğu saptanmıştır. Toprak özdirencinin 1000 ohm.cm civarında veya daha düşük olduğu yerlerde korozyonun yüksek olacağı bilinmektedir.

Tablo 2.1. Düktil demir borular için toprak özdirenç- korozyon ilişkisi[7]

Korozyon gurubu	Direnç (Ωcm)	Toprak korozipliği	Muhtemel hasar süresi (yıl)
1	<1000	Aşırı korozipli	<5
2	1000–5000	Çok korozipli	<15
3	5001–10000	Korozipli	<20
4	10001–25000	Göreceli korozipli	<25
5	>25000	Az korozipli	>25

Toprağın özdirenç, nem içeriğinden, farklı iyonların yoğunlaşmasından ve onların hareketlerinden saptanmaktadır. Farklı yoğunlukların toprak çözeltileri ve mineraller üzerindeki ara yüzey suyun hareketi tarafından üretilir. Toprak çözeltilisi orta yağışlı ılıman bir iklimde relatif olarak seyreltik (tuz içeriği 80-150 ppm) olabilir. Çok yağışlı bölgelerde ise tuz oranı daha derinlere doğru artış gösterir[3].



Şekil 2.12. Çukurlaşma hızı ile toprak özdirenç ilişkisi (15 yıl altında kullanılmış borular için)[6]

Önceden oluşan deniz yatakları veya gübrenin bol miktarda bulunduğu yerler, buz çözme tuzlarının olduğu bölgeler (özellikle kışın don olmasın diye dökülen tuzlar) v.b.... yüksek seviyeli tuz konsantrasyonunun olabileceği bölgelerdir. Özdirenç, sadece anot ve katot arasındaki mesafenin çok fazla olduğu, dolayısıyla da gerilim düşmesinin önemsiz olduğu durumlarda korozyon hücrelerindeki akıma etki eder. Bu tür bir hücre oluşumunun ön şartlarının mevcut olduğu yerlerde; toprak özdirenç <1000 ohm.cm ise anottaki bölgesel korozyon tehlikesi büyüktür, fakat toprak özdirenç >5000 ohm.cm ise korozyon riski daha küçüktür. Tablo 1'de toprak altındaki düktil demir borular için saptanan toprak özdirenç ve tahmini korozyon nedenli hasar oluşma süresi verilmektedir[10].

2.7.2. Toprak pH'nın etkisi

Toprağın pH değeri karbonik asit, mineraller, organik ve inorganik asitler (Örn. Mikrobiyolojik organizmalarca üretilen)'in içeriği, endüstriyel atıklar ve asit yağmurları tarafından belirlenir. Nadiren yüksek asitli topraklar (pH=4 ve daha düşük) haricinde pH genellikle 5 ve 8 arasında bir değerdir. pH<4 durumlarda ise toprak korozyonu pH'dan farklı faktörler tarafından kontrol edilir[10].

Düktil demir borular içinde durum aynı olmaktadır. pH<5 olduğunda korozyonun hızlı gerçekleşir. Toprak pH'ı 4'den küçük olduğunda ise en yüksek korozyon hızı görülmektedir. Toprak pH'ı 5'den büyük olduğunda ise nötr kabul edilir ve düktil demirin korozyonunu hızlandırmayacaktır[7].

2.7.3. Suyun etkisi

Suyun varlığı, korozyon hücrelerinin fonksiyonu için önceden gerekli olan etmendir. Böylece yeraltı su tabakaları ile ilgili olarak gömülü yapıların pozisyonları, korozyon için büyük önem arz etmektedir. Yeraltı su tabakalarının derinliği farklı bölgelerde geniş ölçüde değişebilir. Birçok ılıman iklim bölgelerinde, bununla beraber, su tabakası genellikle zemin seviyesinden 1-3 m. aşağıda bulunur. Öte yandan, kum ve çakıl gibi toprakta su geçirgen tabaka çok derin olabilir. Hatta yeraltı su tabakasının üstündeki toprakta kılcallardan ve gözeneklerden dolayı su tutulur. Toprak parçacıkları ve gözenekler daha inceyse, fazla su tutulur (örn. kil). Su, yağmur ve karın erimesi v.s. yoluyla da sağlanır. Su içeriği daha çok bölgesel iklim durumlarına bağlıdır.

Buharlaşma esas olarak sodyum sülfat ve sodyum klorid konsantrasyonunu etkiler. Oysa buharlaşmanın düşük sızma oranı ve su birikmesi; düşük redoks potansiyeline ve yüksek karbondioksit konsantrasyonuna yol açar. Topraktaki su ihtivasi, oksijen ve karbondioksit il beraber, başlıca saptama faktörleridir[10].

2.7.4. Toprağın oksijen konsantrasyonunun etkisi

Düktil demir boru şebekesinin geçtiği zemin homojen yapıda değildir. Aynı tip toprakta çözülmüş hava konsantrasyonu farklı miktarlarda olmaktadır. Bu durum oksijen miktarında da aynı oranda değişiklik göstermektedir. Bu konsantrasyon farkı bulunan bölgelerde korozyon hücreleri oluşarak korozyonu meydana getirirler.

2.7.5. Toprağın sıcaklığı ve biyolojik yapısının etkisi

Toprağın sıcaklığı -50°C ile $+50^{\circ}\text{C}$ arasında değişir. Toprak 0°C 'de donar, iletkenlik ve korozyon azalır. Biyolojik aktivite ve toprak içindeki korozyon hızı topraktaki bakterilerin etkisi ile değişir. Bunlar oksijenli ve oksijensiz ortamlarda büyüme yeteneklerine göre sınıflandırılırlar. Metabolizma olayını oksijenin yanında sürdürebilenlere "aerobik", oksijensiz veya az oksijenli ortamlarda sürdürebilenlere de "aneorobik" organizmalar denir. Aneorobik organizma, sülfatları sülfürlere indirger. Oluşan sülfür iyonları Fe ile birleşerek FeS meydana getirirler. Aerobik organizma, kükürtlü ve oksijenli ortamda H_2O ile birleşerek H_2SO_4 'e dönüşür. Böylece çok korozif bir ortam meydana gelir. Yukarıda belirtildiği gibi özellikle sülfat indirgeyen bakteriler (örn.: desulfovibrio, desulfiricans), anaerobik durumlar altında oluşan (örn. derin toprak katmanlarında), yer altı korozyonuna ilişkin olarak önemlidir. Bu bakteriler SO_4^{-2} iyonunu S^{-2} 'e indirgenmesine yardım eder ve bu indirgenme düktil demirin korozyona uğramasına neden olur.

- Bununla birlikte, diğer organizmalar veya biyolojik canlılar da yeraltı korozyonunda rol oynayabilirler.
- Demiri oksitleyebilen veya mineral asitler oluşturan aerobik bakteriler,
- Tortu oluşturan ve bölgesel korozyon hücresi oluşturan balçık üreten mikroorganizmalar
- Organik kaplamalara zarar verebilen mantarlar,
- Koruyucu kaplamanın içinde gelişebilen veya giren ve şiddetli hasar veren kökler. Bu nedenle yeraltı yapıları çalılarının ve ağaçların köklerinin ulaşmadığı bölgelerden geçirilmelidir.

Topraktaki bu faktörleri DIPRA tarafından 10 puan sistemine göre sayısallaştırılmış olup toprağın koroziflik özelliği ve düktil demire ilave koruma yapıp yapılamayacağını bu tabloya göre tespit edilebilir[8]. DIPRA 10 puan sistemi Tablo 2.2.'de verilmektedir.

Tablo 2.2. Düktül demir boru için toprak test değerlendirmeleri (10-puan sistemi)[11]

Toprak özellikleri			
Direnç(ohm.cm)	Puan	Sülfidler	Puan
<1500	10	çok	3,5
≥1500-1800	8	az	2
>1800-2100	5	yok	0
>2100-2500	2		
>2500-3000	1	Nem	
>3000	0	Zayıf akıntı, sürekli nemli	2
		Orta akıntı, genellikle nemli	1
		Güçlü akıntı, genellikle nemli	0
pH			
0-2	5		
2-4	3	Redoks Potansiyeli	
4-8,5	0	>+100mV	0
>8,5	3	+50+100mV	3,5
		0+50mV	4
		Negatif	5

2.8. Düktül Demir Borularda Korozyon Koruma Uygulamaları ve Korozyon Kontrolü

Düktül demir modern toplumlarda en çok kullanılan boru malzemesidir. Düktül demir borular giderek dökme demir ve çelik boruların yerini almaktadır. Fakat düktül demir boru hatlarının korozyon nedeniyle hasar uğramaları ve servis dışı kalmaları büyük kayıplara neden olmaktadır. Bu kayıplara birkaç örnek olarak;

Kanada'daki 21 şehirde 1992 ve 1993 yıllarındaki su kesintilerinin toplam sayısının yıllara göre sırasıyla 3601 ve 3773 olarak rapor edilmiştir. Açıklanan bu raporda kesinti nedeniyle tamiratlar için gereken tahmini birim maliyet 2500 \$ ve yapılan tamiratların toplam maliyetinin 9,2 milyon \$ olarak hesaplanmıştır.

Düktül demir boru İngiltere'ye ilk olarak 1960'lı yılların ortalarında girmiş ve 1970'li yılların ortalarında gri dökme demir boruların yerini alarak su iletim hatlarında kullanılmaya başlanmıştır. Su şirketleri 1965 ile 1984 yılları arasında zayıf korumalı bu düktül demir boru hatlarındaki 359'dan fazla beklenmeyen ve vakitsiz meydana

gelen karşı karşıya kalmışlardır. Bu hasarla beraber su sızıntı problemlerinde artma göstermiştir ve bu problemlerle birlikte su kesintilerinde artma göstermiştir. İngiltere su iletim ve dağıtım giren suyun %40'dan fazlası en son kullanıcıya ulaşmadan kaçak ve sızıntı nedenli kayıpların miktarıdır[6].

Bu kadar büyük kayıpların olduğu içme suyu hatlarında kullanılan düktil demir boruların korozyona karşı korunması çok büyük önem kazanmaktadır. Düktil demirlerin korozyon korumaları birkaç metot ile yapılmaktadır.

2.8.1. Polietilen (PE) giydirme

Diğer boru malzemeleri için kullanılsa da PE giydirme özel uygulama olarak için standart korozyon kontrolünde kullanılan bir uygulamadır ve bu uygulama DIPRA tarafından dolgulu topraklarda ve benzer korozif ortamlarda tavsiye edilen bir koruma metodudur[6]. Özellikle kuzey Amerika'da gevşek sargılanmış PE giydirme 1950'li yıllardan beri agresif dış ortamlardan metalik boruların isole edilmesinde kullanılan bir yöntemdir.

PE giydirme elektriksel olarak izole etmediğinden dolayı diğer kullanılan kaplamalara göre farklıdır. Gevşek sargılamanın bütünüyle bir yalıtkanlık sağlamadığı, homojen olmayan toprak yapısında lokal korozyon hücrelerinin oluşmasından koruyan çevreleyen pasifleşen su tabakası ile çevrelenmiş bir ortam yarattığı gerçeği kabul edilmektedir. Boruda ilk paslanma oluşur fakat çevreleyen sudaki oksijen sonuç olarak katodik reaksiyonla tükenecek ve böylece korozyon ilerlemesini engeller.

PE giydirme uygulaması ucuz bir uygulama olup ve borunun tutulması, depolanması ve taşınması sırasında hasar görme riski düşüktür. Yinede bir kaya veya taş parçası ile yırtılabilir. Özellikle hendek uygulamalarında sıklıkla kullanılırlar.

2.8.2. Kaplama uygulamaları (çinko kaplama)

Su hatlarındaki dökme demirlerin çinko ile kaplanması Avrupa 1960'lı yılların başlarından itibaren kullanılmaya başlanmakla beraber günümüzde Avrupa ve Japonya'da en yaygın kullanılan koruma metodudur.

Çinko kaplamalar ile ilgili olay çalışmalarda özellikle Fransa'daki uygulamalarda çok başarılı bir şekilde düktil demir boruyu koruduğu rapor edilmiştir. Çinko kaplama düktil demir boruyu katodik olarak korur ve kendisi anot olarak tercihli korozyona uğrar. Çinko kaplamalar düktil demir borulara sıcak daldırma veya elektrik ark püskürtme yöntemleri ile uygulanmaktadır. Ekstra koruma sağlamak için bitüm, soğuk asfalt vernik, sentetik reçine, epoksi ve PE sargılama gibi polimer üst kaplama uygulanır. Çinko kaplamalı boruların yıllar sonra yüksek korozyon özellik taşıyan topraktan çıkarıldıklarında bir koruyucu beyaz pas olan çinko korozyon ürünlerinin oluşturduğu tabaka ile çevrelendiği gözlenmiştir. Korozyon ile çinko kaplaması bütünüyle tükenmiş boruların hala korunduğu da gözlenmiştir.

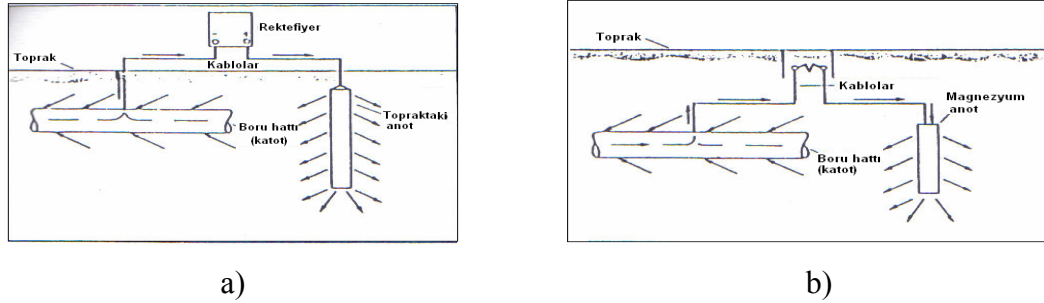
Fakat bu koruyucu tabakanın asidik karakterli topraklarda oluşmamakta ve çinko koruma sağlayamamaktadır[8]. Bu nedenle asidik topraklarda da koruma sağlayabilmek ve daha yüksek korozyon direnci sağlamak için elektrik ark püskürtme Zn/Al 85/15 kaplama uygulamaları önem kazanmıştır. Zn/Al 85/15 kaplamalar özellikle asidik balçık topraklarda, çöp, kül, cüruf ve endüstriyel atıkların bulunduğu topraklarda ve atık ve kirlilik gibi endüstriyel etkilerin bulunduğu topraklarda kullanılmaktadır. Zn ve Zn/Al 85/15 kaplama uygulamaları ve kaplama kalınlıkları EN 545: 2002 (E) standardında verilmektedir. EN 545: 2002 (E)'ye göre standart kaplama; Zn kalınlığı 200 gr/m^2 ve $100 \text{ }\mu\text{m}$ bitüm veya epoksi son kaplama şeklinde uygulanır. İleri koruma sağlayan kaplama; Zn/Al 85/15 kalınlığı 400 gr/m^2 ve $150 \text{ }\mu\text{m}$ epoksi üst kaplama şeklinde uygulanmaktadır. Tablo 2.3'de toprak içi ortam özelliği ile tavsiye edilen kaplama uygulamaları verilmektedir[12].

Tablo 2.3. Toprak karakteri ve tavsiye edilen kaplama uygulamaları [12]

Dış ortam	Dış kaplama ile koruma
Normal topraklar	Metalik Zn + bitüm kaplama
Korozif topraklar	1) Metalik Zn + bitüm +PE giydirme veya 2) Zn/Al 85/15 + epoksi kaplama

2.8.3. Katodik koruma

Korozyona karşı düktil demirlerde uygulanan en güçlü koruma yöntemi “katodik koruma” dır. Katodik korumanın temel ilkeleri elektrokimyasal – termodinamik korozyon teorisine dayanmaktadır. Bu teoriye göre korunacak metal yapı, oluşturulacak elektrokimyasal pilin katodu haline getirilmesidir. Bu yöntem iki türlü olup birincisi korunacak yapıya göre daha aktif bir metalin (galvanik anot) bağlanması ve bu metalin korozyona uğraması sağlanarak yapının korunması prensibi (Şekil 2.12 a), diğeri ise dışardan bir akım uygulanması ile yapının korunması prensibi şeklindedir(Şekil 2.12 b)[3].



Şekil 2.13. a) Dış akımlı katodik koruma, b) Galvanik anotla katodik koruma[5]

BÖLÜM 3. KOROZYON TESTLERİ

3.1. Giriş

Birçok korozyon testi metal yüzeyindeki koruyucu kaplamaların güvenilirliğinin kanıtlanması için oluşturulmuştur. Bu oluşturulan testler ve standartlar devamlı gelişmekte ve yeni test yöntemleri de bu gelişimlere paralel olarak dizayn edilmektedirler. ASTM, NACE International, The Society of Automotive Engineers (SAE), The National Coil Coaters Association (NCCA), The International Standard Organization (ISO) ve diğer uluslararası organizasyonlar bu konu ile ilgili çalışmalara halen devam etmekte ve yeni gelişimleri uygulamaktadır. En çok uygulanan test yöntemleri;

- i. Alan testleri
- ii. Çalışma ortamlarına benzetilmiş servis testleri
- iii. Hızlandırılmış laboratuvar testleri (tuz püskürtme testi, nem testleri ve elektrokimyasal testler gibi)

3.2. Alan Testleri

En çok güvenilirliği olan performans dataları alan testleri ile elde edilir. Önemsiz bir avlunun üzerine konmuş küçük plakaların korozyon testi ve bunları görüntülenmesi alan testlerine bir örnek olabilir. Servis testlerindeki bir diğer örnekte bir tutma aracı filusunun içindeki malzemelerin davranışının gözlenmesidir.

3.3. Çalışma Ortamına Benzetilmiş Servis Testleri

Statik atmosfer testleri için en çok kullanılan servis testi ASTM G 50 standardında açıklanmıştır. Çeşitli açık hava uygulamaları için kaplanmış çelik test levhaları

kullanılır. Test malzemeleri, bir test askısı içine kurulan düz test panelleridir. Böylelikle, laboratuvar testleriyle güvenilir olmayabilen atmosferin, coğrafik etkilerin ve bakteriyolojik etkiler tespit edilebilir. Test süresi birkaç ya ile birkaç yıl arasında değişebilmektedir. Bazı çinko kaplı çelik kuponlar 30 yıldan fazla teste tabi tutulmuşlardır

3.4. Tuz Püskürtme Testleri

Tuz püskürtme testleri koruyucu kaplamalar korozyon performanslarının belirlenmesinde kullanılan en popüler testlerdir. Bu testler metalik bir altlık üzerinde bulunan organik ve inorganik kaplamaların her ikisinin de koruyuculuk süresinin karar verilmesi için 90 yıldan beri kullanılan metottur.

3.4.1. Nötr tuz püskürtme testi (ATSM B 117-Method 811.1 of Federal Test Method 151b)

Nötr tuz püskürtme testi kaplamaların korozyon performanslarının belirlenmesinde en çok kullanılan test metodudur. Test süresi kaplamanın cinsine bağlı olarak 8 ila 3000 saat arasında değişebilmektedir. ASTM B 117 standardına bağlı olarak katı çözeltisi 200 ppm'den fazla olmayan ve 6.5–7.2 arasındaki pH değeri ile deiyonize su içinde %5'lik bir sodyum klorür (NaCl) çözeltisi kabin içine püskürtülerek deniz atmosferi benzeri bir korozif ortam oluşturulur. Aynı standarda göre tuz püskürtme test kabininin sıcaklığı kapalı olan kabin içinin test ortamına maruz kalan bölgenin $35 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ ' de sabit tutulması gereklidir.

ASTM B 117 nötr tuz püskürtme testi metal altlık ile boya veya kaplamaların bağ hasarlarını hızlandıran bir testtir. Bunun için kaplamaları yüzeyine çizik açılarak test kabini içerisindeki korozif ortama maruz bırakılırlar. Bu test ile birçok kaplama ve malzemenin korozyon davranışları karşılaştırılabilir ve servis ömürleri hakkında tahmini bilgilere ulaşılabilir[13].

3.4.2. Asetik asit tuz püskürtme testi (ASTM G 85, Annex A1; Former Method B 287)

Bu test yöntemi ayrıca inorganik ve organik kaplamaların testleri için kullanılır. Fakat özellikle çelik yüzeyine dekoratif krom kaplamaların (nikel-krom veya bakır-nikel-krom)ve kadmiyum kaplamaların veya metal kalıp döküm çinkonun ve bir ürünün kalitesinin hesaplanması uygulamalarında uygulanır.

Bu testin süresi normal olarak 114 saatten 240 saat veya daha fazla süre arasında olmasına rağmen en kısa süre yaklaşık 16 saattir. Nötr tuz püskürtme testindeki gibi bir %5 NaCl çözeltisi kullanılır fakat asetik asit ilavesi yapılarak pH değeri 3.1 il 3.3 arasına getirilir. Kabin sıcaklığı gene nötr tuz püskürtmedeki gibi $35 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 'dir.

3.4.3. Bakır-hızlandırılmış asetik asit tuz püskürtme CASS test): (ASTM B 368)

Bu test öncelikle, çelik yüzeyindeki dekoratif bakır-nikel-krom, nikel-krom kaplamaların ve metal kalıp döküm çinko için hızlandırılmış bir test metodudur. Ayrıca bu test anodize, kromatlı ve fosfatlı alüminyumlar için çok kullanışlıdır. Test süresi 6 ila 720 saat arasındadır. Her 3.8 l. Tuz çözeltisine 1 gram bakır-II-klorat ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilave edilen bir %5 NaCl çözeltisi kullanılır. Bu çözeltiliye asetik asit ilave edilerek pH'ı 3.1–3.3 seviyesine getirilir. Kabin sıcaklığı ise $49 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 'dir

3.5. Nem Kabini Testleri

Nem kabin testi içindeki nem test altındaki malzemeye uygun olacak nem değerine kadar yükseltilir. Sıcaklı genellikle çevrimlidir, böylece numune değişimli nem ve yoğunlaşma ortamına maruz bırakılır.

Dar limitler içindeki kontrol edilen bütün koşullar otomatik olarak bağlanır. Sülfürdioksit (SO_2) gibi diğer korozyif maddelerde eklenebilir

3.6. Elektrokimyasal Testler

Metalik yapıların korozyonu bir elektrokimyasal prosestir. Metalik korozyonun tahmini ve anlaşılmasındaki alan veya diğer hızlandırılmış testlere bir diğer yaklaşımsa elektrokimyasal parametreler/testlerdir. Elektrokimyasal testler sıklıkla başka bir şekilde açıklanması güç olabilen kinetik ve mekaniksel dataların sağlanması ile diğer test metotlarının tamamlayıcısı olan testlerdir. Elektrokimyasal testler direk akımlı (dc) veya alternatif akımlı (ac) olmak üzere iki grupta sınıflandırılır. Araştırmacılar dc ve ac elektrokimyasal metotları, koruyucu kaplamaların, metalik altlıklarda oluşan pasif film içeriklerinin kalitesi, performansı ve birçok yüzey işleminin verimliliğinin hesaplanmasında kullanılır. Bu testlere birkaç örnek aşağıda verilmektedir.

3.6.1. Elektrokimyasal empedans spektrometresi

Bu test organik bariyer kaplamaların ve metalik kaplamaların (pasif film oluşumu veya başka türlü) bu metot korozyon reaksiyonlarını hızlandırmaz ve hasar verici değildir. Bu teknik kaplamaların doğal direnç kapasitelerinde hassas değişimleri görülmesidir. Bu teknik, galvanizlenmiş çelik, boyanmış soğuk haddelenmiş çelik ve galvaniz çeliklerdeki kararlılığı/fosfat çevriminin hesaplanmasında kullanılır[1].

BÖLÜM 4. TERMAL PÜSKÜRTME KAPLAMALAR

4.1. Giriş

Termal püskürtme tekniği, metalik veya metalik olmayan kaplama uygulamaları grubu için genel bir tanımdır. Bu kaplama prosesleri üç ana gruptan oluşur. Alev püskürtme, elektrik ark püskürtme ve plazma ark püskürtmedir. Kullanılan kaplama malzemesini (toz, tel, çubuk) ergimiş veya yarı ergimiş hale bu enerji kaynakları kullanılarak getirilirler. Ergimiş ve/veya yarı ergimiş hale gelen partiküller, proses gazları ve atomize jetler ile önceden hazırlanmış yüzeye doğru hızla yönlendirilirler. Ergimiş veya yarı ergimiş partiküllerin yüzeye çarpması ile birlikte arayüzeyde mekanik bir bağlanma meydana gelir. Yönlendirilmiş partiküllerin üst üste çarpması ve birbirine bağlanması ile lamelar bir kaplama yapısı oluşur. Bu ince yapılaşmış partiküller çok hızlı bir soğuma rejimi göstererek ani bir şekilde katılaşırlar.

4.2. Tarihçe

Termal püskürtme metalizasyon sistemini ilk olarak Dr. Schoop Zürih/İsviçre'de geliştirmiştir. Dr. Schoop ilk olarak ergimiş metali, yüksek basınçlı gaz akışı olan bir püskürtme sistemine besleyerek kaplama elde etmiştir. Sonra Dr. Schoop metalik tozları ısı kaynağı olarak yanan bir alevden geçirip kompresörlü hava ile püskürten diğer bir sistemi geliştirmiştir. Bu dönemlerde kaplama uygulamaları için alevden toz geçirme sistemi pek popülerlik kazanmamıştır. Çünkü bu yöntem için eritme için kullanılan alev ısısına ilaveten o günün konvansiyonel yöntemleriyle uygun olmayan kompresörlü havaya da ihtiyaç vardı. İki yıl sonra Dr. Schoop toz ve telin her ikisini birden püskürtebilen ilk alev püskürtme sistemi geliştirdi. Böylelikle bu teknolojinin gelişimden sonra yıllarca bu process "Schoop prosesi" olarak adlandırıldı.

Dr. Schoop ve onun partnerleri termal püskürtme metalizasyon sisteminin patentini püskürtme ekipmanın ilk defa ticari olarak üretildiği Almanya'ya sattılar. Bu patent daha sonra Fransa'ya satıldı. 1920'lerin başlarında termal püskürtme sistemleri Avrupa'nın birçok ülkesine ve Amerika'ya satıldı. Alev püskürtme sisteminin gelişiminden sonraki yıllarda termal püskürtme metalizasyon tekniği geniş ölçüde endüstriyel kullanım kazanmamıştı. Deneysel çalışmalar ile birçok termal püskürtme kaplamalar üretildi ve sağladığı avantajlar endüstriye aktarıldı.. Termal püskürtme kaplamaların avantajları iyi anlaşılmamıştı ve endüstriyel uygulamalarda sınırlamalar mevcuttu. 1930'lu yılların ortalarında Kuzey Amerika'da termal püskürtme kaplamaların hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlayan 30 tane metalizasyon firması bulunmakta idi. Daha sonra teknolojinin ilerlemesi ve uçak ve uzay sanayinin gelişimi ile kullanılan parçaların performanslarının artırılmasına ihtiyaç duyulmuş ve bu gelişmeler ile termal püskürtme kaplamalar endüstriyel alanda büyük önem kazanmışlardır.

4.3. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri

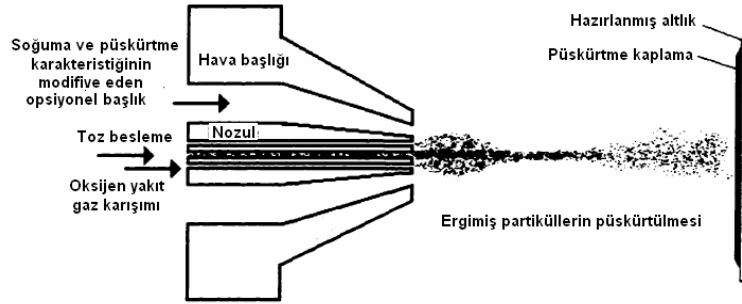
Püskürtme yöntemlerinde püskürtme hızı ve sıcaklı operasyon aralığı, kaplama karakterini etkileyen iki önemli faktördür. Püskürtme sisteminin taşınabilirliği iç veya dış alanda olabilecek kaplama uygulamaları da bu yönden etkilidir. Termal püskürtme yönteminin seçimi genellikle şu faktörlere bağlıdır.

- a) Bir pasodaki kaplama alanı,
- b) Maliyet etkili kaplamalar
- c) Taşınabilir kaplama sistemleri
- d) Püskürtme kaplamaların mekanik özellikleri
- e) Çevresel zorluklar
- f) İş güvenliği

Uygulama gereksinimlerine bağlı olarak püskürtme kaplama üretmek için günümüzde birkaç termal püskürtme yöntemi kullanılmaktadır. En popüler olan dört termal püskürtme sistemi şunlardır;

4.3.1. Alev püskürtme yöntemi

Alev püskürtme, termal püskürtme kaplama oluşturmak için ilk geliştirilen teknoloji olup günümüzde de hala popülerliği devam eden bir püskürtme sistemidir. Bu tekniğin şematik görünümü aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 4.4. Alev püskürtme prosesinin şematik görünümü[13]

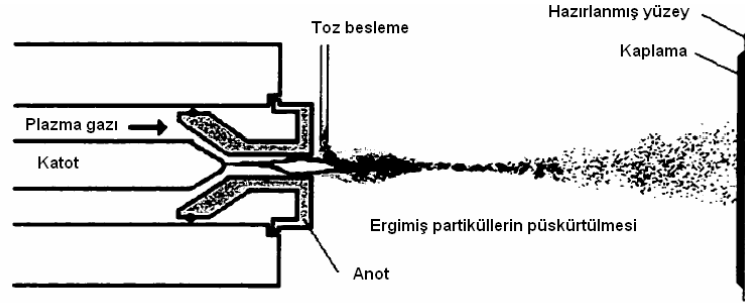
Toz ve tel formunda kullanılan alev püskürtme malzemeleri püskürtme tabancasının içinden geçirilir ve organik yakıtın yanması sonucu oluşan yüksek sıcaklık ile ergitilirler. Asetilen metil-asetilen propadien, propan, propilen ve doğal gaz gibi yakıtlar oksijen ile birlikte bu sistemde kullanılan yakıtlardır. Ergimiş partiküllere altlığa çarpacak şekilde hız kazandırabilen basınçlı hava ile altlık yüzeyine gönderilirler. 2480°C'nin altında ergime derecesine sahip olan bütün malzemeler bu sistem ile kaplanabilmektedir.

Genel olarak alev püskürtme sistemi diğer püskürtme sistemleri ile karşılaştırıldığında düşük proses sıcaklığına ve düşük püskürtme hızlarına sahiptir. Bu yöntem yüksek poroziteli ve düşük bağ mukavemetli bir kaplama olup, altlığa ısı transferi yüksek olmaktadır. Yine de altlık üzerine kaplama biriktirme kapasitesi mükemmel olduğundan büyük püskürtme alanları için ideal bir yöntemdir. Bu sistemin dezavantajı, ısı dönüşümü yüksek ve organik yakıt ile oluşturulmuş püskürtme malzemesinin ergimesinin düşük olmasıdır.

4.3.2. Plazma Püskürtme Yöntemi

Plazma püskürtme prosesi temel olarak alev püskürtme ile aynı olmakla beraber, püskürtme malzemesinin eritmek için gerekli olan yüksek sıcaklığın elektrik potansiyelinden üretildiği bir sistemdir. Tabanca ucunda meydana gelmiş elektrik arkına gönderilen gazların iyonize olması ile yüksek sıcaklık kaynağı olan plazma elde edilmektedir. Bu iyonize gazlar ile birlikte erimiş partiküller yüksek hızla tabanca nozulundan altlığa doğru gönderilirler. Püskürtme tozunun eriyip sıvı faza geçeceği en yüksek sıcaklık bölgesine besleme yapılmaktadır.

Bazı zamanlarda hidrojen ve helyum ile argon ve nitrojen gibi inert gazlar, püskürtme malzemesinin hoza ve sıcaklığını kontrol etmek için kullanılırlar. Plazma püskürtme tabancası, tungsten (katot) ve bakır (anot)'ın bulunduğu iki elektrottan oluşturulmuştur. Tabanca içindeki kanallarda plazma kaplama prosesi boyunca soğutmayı sağlamak için su dolaşmaktadır.



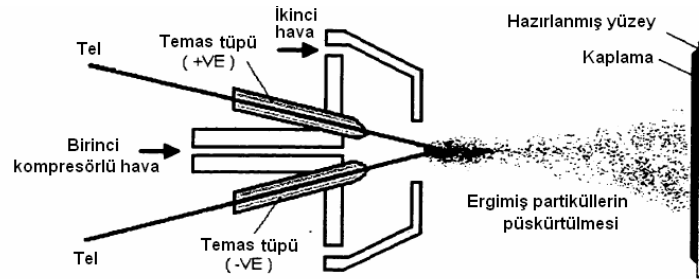
Şekil 4.5. Plazma püskürtme proselinin şematik görünümü[13]...

Plazma püskürtme metalik ve metalik olmayan toz malzemelerini kapsayan çok geniş bir püskürtme malzeme çeşitliliğinde kullanılabilir. Birçok metalik malzemelerin, refrakter oksitlerin ve kabürlerin erimesi için gerekli olan yüksek sıcaklıklar plazma püskürtme prosesinde elde edilmekte (1900°C ve üstü) olup malzemelerin tam erimesi sağlanmaktadır. Bu yönden bakıldığında plazma püskürtme prosesi alev püskürtmeye göre daha verimlidir. Plazma püskürtme prosesi ile iyi kalitede, yoğun ve temiz bir kaplama elde edilebilmektedir. Özelliklerin bu

denli iyi olması da temiz bir ısı kaynağının ve yüksek püskürtme hızlarının elde edilmesidir. Yine de plazma püskürtme prosesinde kaplama malzemesi toz formunda kullanılacak olma sınırlamasının mevcudiyetidir. Bu özelliklere ilaveten bu sistem pahalı bir sistem olup genellikle yüksek ekipman ve onarım maliyetine sahiptir.

4.3.3. Elektrik ark püskürtme prosesi

Ark Püskürtme sistemi, püskürtme tabancasında metalik malzemeleri eritmek için gerekli olan ısıyı elektrik arkından yararlanan bir prosestir. Şekil görüldüğü üzere elektrik arkın olmasında iki elektrod olarak iki metalik tel kullanılmaktadır. Birçok metalik malzemeyi bu sistem ile eritmek için gerekli yüksek sıcaklıklar (8316°C) elde edilebilmektedir. Kaplamanın birikme oranını ve kalınlığını etkileyen edici tel besleme oranı ayarlanmasında besleme kontrol edici kullanılır. Ergimiş partiküller kompresörlü hava ile atomize olur ve önceden hazırlanmış yüzeye doğru gönderilirler. Partiküllerin hızı 100 m/sn ' ye ulaşabilmektedir. Ergimiş partiküller altlığa yüksek darbe ile birikir ve hızlı katılarak ark püskürtme kaplama yapısını oluştururlar.



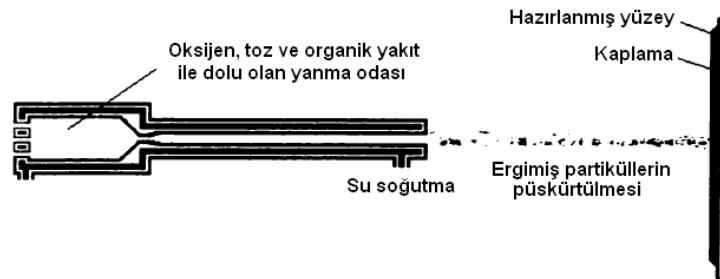
Şekil 4.6. Elektrik ark püskürtme prosesinin şematik görünümü[13]

Tel ark püskürtme sistemi termal püskürtme sistemleri içinde en az maliyete sahip prosestir. Düşük kaplama maliyeti ve geniş alanları çevreleyen püskürtme kapasitesi diğer bütün kaplama sistemlerinin üzerinde bu prosesi en fiyat etkili yöntem yapmaktadır. Tel ark kaplamaları alev püskürtme prosesine göre genellikle yoğun, temiz ve düşük poroziteli ve yüksek bağ mukavemetli kaplamalardır. Bu sistem bir alaşım kaplama üretmek için iki farklı malzeme telinin püskürtülebilmesine olanak vermektedir. Ark püskürtme sistemi kompresörlü hava olduğu sürece altlığa çok az

bir ısı akışını sağlamaktadır. Bu yüzden altlık malzemeye hasar vermeksizin veya çarpılmaya uğramadan kalın kaplama oluşturmak için uygun bir yöntemdir. Çinko, alüminyum gibi yüksek korozyon dayanımına sahip çinko, alüminyum ve çinko/alüminyum alaşımları sıklıkla çeliklerin korozyona karşı korunmasın kullanılan kaplama malzemeleridir. Bu sistem taşınabilir olduğundan herhangi bir yerde kullanılmaya uygundur. Tel ark püskürtme prosesinin dezavantajı ise sadece tel formundaki iletken tellerin kullanılmasıdır.

4.3.4. Yüksek hızlı oksijen yakıtlı püskürtme (HVOF) prosesi

HVOF prosesi termal püskürtme nispeten endüstrisinde kullanılan yeni bir yöntemdir. Püskürtme sistem konsepti alev püskürtme ile aynıdır fakat daha yüksek hıza ve sıcaklığa sahiptir. Püskürtme sistemi ısı ve hızı üretmek amacıyla bir yanma odasına ve bir uzun nozul sistemine sahiptir. Sistem içinde püskürtme tabancası içinde alev yanmaya başladığında tabanca ısınısını düşürmek için elektrotların arasında su dolaşımı başlar. HVOF'un şematik diyagramı şekil 4.7.'de verilmektedir.



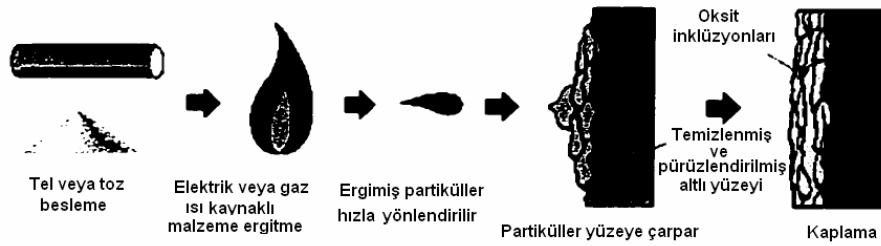
Şekil 4.7. HVOF prosesinin şematik görünümü[13]

Kerosen, asetilen, propan ve hidrojen gibi organik yakıtlar püskürtme çevrimi içinde oksijen ile karışırlar. Bu gazlar ve püskürtme tozları yüksek basınç koşullarında altında yanma odası içinde karıştırılırlar. Tozları eritmek için ihtiyaç olan yüksek sıcaklık bu yanma odasındaki ateşleme ile üretilir. Yüksek hız ise ergimiş partiküllerin ilerletildiği dar ve ince nozulun içinden geçen gazları sıkışması sonucu elde edilir. Bu sağlanan koşullarla çok yoğun ve yüksek bağ mukavemetine sahip kaplamalar üretilir. Bu sistemde partiküller tam olarak ergimeye ihtiyaç duymaz

çünkü kısmen ergimiş partiküller altlık yüzeyine darbe ile levha olacak yüksek kinetik enerjiye sahip olurlar. Bu sistem normalde kaplamada çok yüksek yoğunlukta ve yüksek bağ mukavemeti ihtiyaç duyulduğunda kullanılır. Yine de diğer termal püskürtme sistemlerine göre yakıtın yanması ile büyük miktarda ısı akışı altlığa geçmektedir. Ayrıca bu sistem ark püskürtme sistemi ile kıyaslandığında daha komplike bir sistem olup işletimi de maliyetlidir.

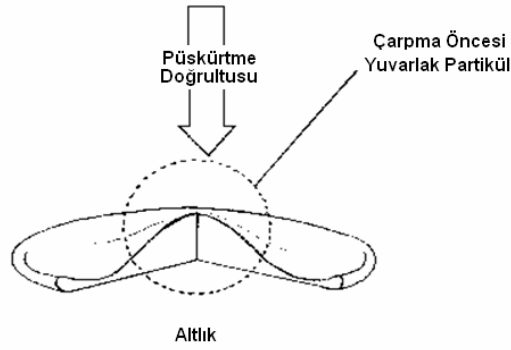
4.4. Termal Püskürtme Kaplamalar

Termal püskürtme yöntemi ile kaplama, hazırlanmış bir yüzeye ergimiş veya yarı ergimiş malzemelerin biriktirilmesidir. Şekil 4.8.' şematik olarak verilmektedir. Termal püskürtme prosesinde kullanılan malzemeler toz, tel ve çubuk olmak üzere üç formda bulunmaktadır. Bu formlardaki malzemelerin ergime sıcaklığı proses sıcaklığından düşük oldukları ve ergimiş fazda ayrışmadıkları sürece bu yöntem ile kaplama ile kaplama yapılabilir. Termal püskürtme prosesine beslenen malzemelerin ergimesi ya organik yakıt ile sağlanmakta veya elektrik arkından sağlanmaktadır. Ergimiş partiküller tabanca nozulundan geçerek tabancanın ucundan altlığa yüksek gaz basınç akışı ile gönderilirler.

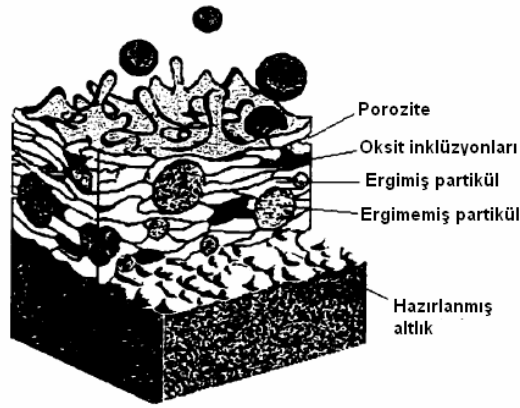


Şekil 4.8. Termal Püskürtme Prosesinin Şematik Görünümü[13]

Yüksek hız ile yüzeye çarpmalarda ergimiş partiküller yüzeyde ince levha şeklini alırlar. Altlığa hızlı ısı akışına bağlı olarak çok hızlı şekilde soğuyan bu levhasal yapılar ani olarak katılaşırlar ve deforme olurlar.



Şekil 4.9. Kuvvetli çarpma kuvvetine bağlı olarak ergimiş partikülün yüzeyde levha şeklini alması[13]



Şekil 4.10. Termal Püskürtme Kaplama Yapısı[13]

Bu levhalar başarılı bir şekilde birbirleri üzerine tutunarak birikirse ince bir kaplama yapısı oluşmuş olur. Altlık yüzeyine akış pateni ve damlacıkların düzensiz halleri bir ara bağlanma mekanizması meydana getirir ve partiküller birbirine bağlanır. Termal püskürtme prosesinde kaplama yapısındaki empüriteler birlikte biçimlenir. Bu kaplamalar genellikle dört temel bileşenden meydana gelirler. Bunlar; porozite, oksit inklüzyonları, ergimiş partiküller ve ergimemiş partiküllerdir. Bu tipik bileşenler ve kaplama yapısı aşağıdaki şekilde görülmektedir.

Termal püskürtme prosesi süresince yetersiz sıcaklık ve çok hızlı kompresörlü hava gaz akışı ergimemiş partiküllerin oluşmasına neden olabilmektedir. Püskürtme sisteminin neden olduğu partiküllerin yüzeye çarpma güçleri yetersiz olduğunda birbirlerine arasındaki güçlü bir bağlanma olmaz.. Kimyasal olarak yüksek elektrokimyasal aktiviteye sahip olan ergimiş metalik malzemeler soğuma süresi

boyunca oksijen bulunan ortamlarda metal oksit oluşturmaya meyillidirler. Metal oksit inklüzyon miktarı püskürtme malzemesinin özelliklerine ve püskürtme sırasındaki soğuma periyoduna bağlıdır. Bu oksit inklüzyonları genellikle püskürtülen ergimiş partiküllerin püskürterme sisteminden altlığa doğru hareketleri sırasında meydana gelmektedir. Püskürtme malzemelerinde porozite birincil olarak hızla yönlendirilmiş ergimiş partiküllerin yeterli derecede birbirine bağlanamamalarından dolayı kaplamada bulunan hava boşlukları nedeniyle oluşur. Porozite ve oksit inklüzyonları bağ mukavemetinde önemli iki faktördür. Minimum porozite ve inklüzyon kaplamada yüksek bağ mukavemeti sağlayacaktır.

Termal püskürtme kaplamalarda ergimiş partiküllerin birikmesi, önceden yüzeye yapışıp soğumuş partiküllerin üstüne diğer gelen partiküllerin çarpıp levhasal bir şekilde birbirine tutunup bağlanırlar. Bu bağlanma mekanizması mekanik kilitlemedir[13].

BÖLÜM 5. ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME PROSESİ

5.1. Giriş

Elektrik ark püskürtme (EAP) yöntemi termal püskürtme tekniklerinde içerisinde en maliyeti düşük ve en yüksek birikme oranına sahip kaplama prosesidir[14–15]. Bundan dolayı aşınma ve korozyon dirençli kaplama üretiminde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu maliyet ve yüksek birikme avantajlarına sahip olan elektrik ark spreyci kaplamalar endüstride kalın kaplama olarak plastik enjeksiyon kalıplarından ince kaplama olarak da elektrik devrelerine kadar çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Püskürtme oranı çoğunlukla kullanılan püskürtme tel malzeme cinsine ve tel çapına bağlı olarak değişmektedir[16]. Elektrik ark püskürtme prosesi diğer termal püskürtme yöntemlerine göre birçok avantaja sahip olması endüstriyel uygulamalar için ilgi çekici bir kaplama prosesi olmuştur. Elektrik ark püskürtme prosesinin avantajları;

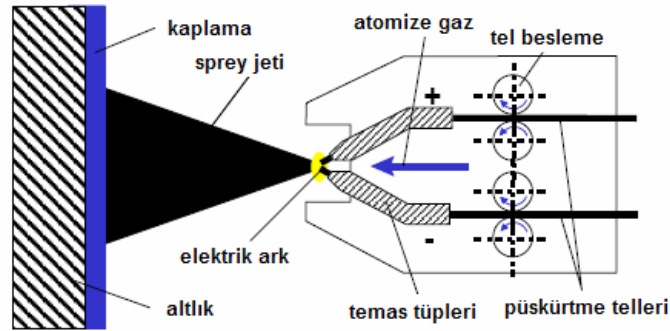
- a) Yüksek püskürtme-birikme oranı ve yüksek verimlilik
- b) Kontrol parametrelerinin az sayıda olmasına bağlı olarak kolay işletimi
- c) Düşük ana ve işletim maliyeti
- d) Küçük yüksek sıcaklık bölgesi ve böylece yeterli derecede soğuk altlıklar
- e) Elektrotlar için su soğutmaya ihtiyaç duyulmaması, böylece boyutsal kullanım kolaylığı sağlanması
- f) Yüksek saflıkta kaplamaların üretilebilirliği[17]

Amerika’da yapılan bir araştırmada 2000 yılındaki termal püskürtme uygulamalarının %15’ EAP prosesi olup başka bir araştırmada Yeni Zelanda’daki termal püskürtme uygulamaların yaklaşık %35’i yine EAP uygulamalarıdır[18]. Gelişmiş ülkelerde ve özellikle Avrupa’da bu kaplama teknoloji 1900’lü yılların başından itibaren kullanılmaya başlanmasına rağmen ülkemiz endüstrisinde yoğun

olarak kullanılmadığından ülkemiz için bakır bir teknoloji sayılmaktadır. Bu yüzden bu prosesin karakteristik yapısı ve EAP prosesinin avantajlarının belirlenmesi ve kaplama özelliklerinin belirlenmesi özellikle endüstriyel kullanım açısından büyük öneme sahiptir. Bu yüzden bu prosesin karakteristik yapısı ve EAP kaplamaların özelliklerinin incelenmesi özellikle korozyon uygulamaları için önemi artmaktadır.

5.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi

EAP prosesi, yalnızca altlığın metalik kaplanması uygulanmasında kullanılan bir sistemdir. Bu proste ayrıca bir ısı kaynağı yoktur [19]. Anot ve katot olan iki metalik telin püskürtme tabancasına sürülmesi ve bu iki tel teması ile birbiri arasında oluşan dc-ark ile tellerin ergitilmesi ve atomize gaz ile altlık yüzeyine bu ergimiş damlacıkların (droplet) gönderilmesi ile kaplama oluşturulur[20,21].

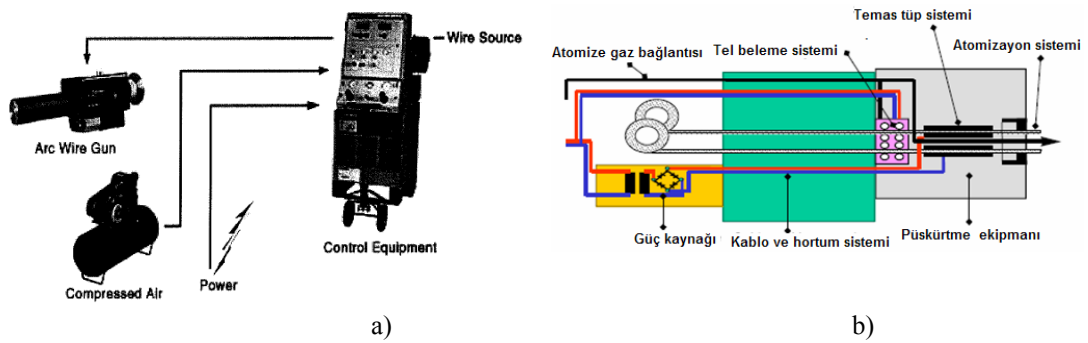


Şekil 5.1. Elektrik Ark Püskürtme Prosesi[22]

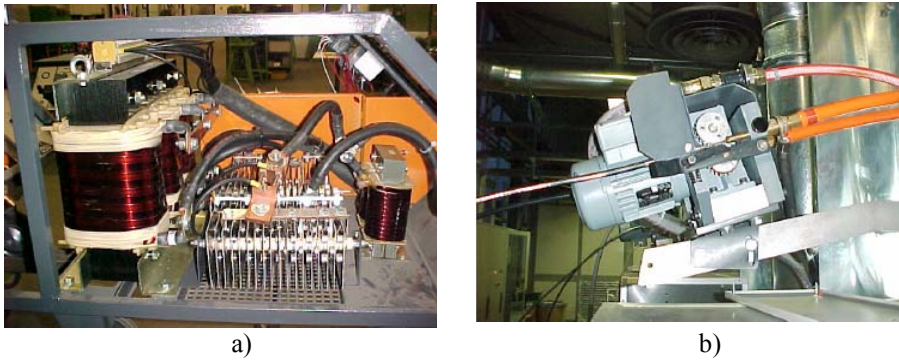
Devamlı olarak beslenen püskürtme tellerinin püskürtme tabancasındaki keşime noktasında teller temas eder ve aynı zamanda bir elektrik arkı oluştururlar. Oluşan ark sayesinde tel uçları hızla ergir. Ergimenin olduğu bu bölgenin hemen gerisinde yüksek hızlı gaz akışı sağlayan nozul bulunmaktadır. Gaz arkın içinde atomize olur ve ergimiş küçük partikülleri yüksek hızla önceden hazırlanmış altlık yüzeyine doğru yönlendirir. Bu yönlendirilen ergimiş damlacıkların yüzeye çarpması ile altlık yüzeyi kaplama prosesinde kullanılan tel malzemesi ile kaplanır. Genellikle birçok uygulama için atomize gaz basınçlı havadır. Atomize gaz olarak hava kullanmanın en temel avantajı basınçlı havanın ucuz olması ve uygulanabilirliğidir[14,23] Bunun

yanında özel birkaç kaplama uygulaması için basınçlı hava yerine azot ve argon ve karbondioksit kullanıldığı durumlarda mevcuttur. EAP sistemi amper ayarına bağlı olarak alev spray sisteminden yaklaşık 1½ veya 3½ kere daha hızlıdır. EAP prosesinde, gerekli ısı elektrik ark ile sağlanır ve başka bir ısı kaynağına ihtiyaç duyulmaz. Oluşan bu arktaki telin maruz kaldığı sıcaklık 3980°C’ den fazladır. Tel alev püskürtme sisteminde oksijen alevi ile üretilen maksimum sıcaklık yaklaşık 3316°C’nin altındadır. Yine de bu maksimum sıcaklıklardaki fark ark prosesindeki maksimum yükseklikteki spray oranı tam olarak açıklamaz. EAP ekipmanı dört temel bileşenden meydana gelir; güç sağlayıcı, tel besleme ünitesi, atomizasyon gaz sistemi ve kontrolü, püskürtme tabancasıdır[24].

Elektrik ark püskürtme sisteminde elektrik güç sağlayıcı bir dc voltaj transformatörüdür. Optimal performans için sistem bütünüyle püskürtme kapasite oranını (amper oranını) sağlayacak makine olarak dizayn edilip kullanılır (Şekil 5.3.a). Püskürtme voltajı operasyon boyunca 1,5 voltun altına düşmemelidir. Optimal performans için sistem bütünüyle püskürtme kapasite oranını (amper oranını) sağlayacak makine olarak dizayn edilip kullanılır.



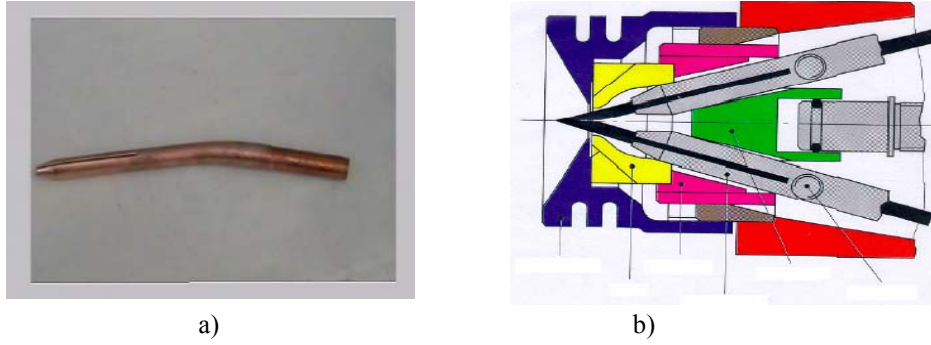
Şekil 5.2.a) Sistem gereksinimleri, b) elektrik ark spray sistemi[21]



Şekil 5.3. a) Elektrik ark spray transformatör sistemi (güç sağlayıcı), b) AC motor sürücülü tel besleme sistemi[21]

Ayrıca bu sistemleri tabancaya ulaştıran kablo ve hortum sistemi mevcuttur. Güç kaynağı ve temas nozul sistemi arasındaki bağlantı kabloları, enerji transferini mümkün olduğunca yüksek bir şekilde ve bir dirence uğramadan iletecek yol olarak tasarlanmıştır.

Temas tüplerinin başlıca görevi, güç kaynağından iki tane güç kaynağından iletilen enerjinin transferini yapmaktır. Bu transfer kesintisiz ve kaymalı bir temas ile sağlanmalıdır. Düz kontak tüplerden uzak durulmalı çünkü bu tüpler helezon şeklinde dönmesine izin verir ve tüplerin temas ettiği yerde kıvılcım erozyonu meydana getirir. Atomize gaz sistemi, atomize gazın (genel olarak bu gaz basınçlı temiz havadır) iki telin ucundaki ark noktasına ulaşmasını sağlar.



Şekil 5.4. a) Gücü tellere ileten temas tüpü, b) Atomizasyon sisteminin ve temas tüplerinin şematik görünümü[21]

Kararlı bir ark için iki tel uçları arasındaki plazma basıncı çok önemlidir. Plazmadaki ve plazmanın arkasındaki atomize gaz yoğunluğu ile odaklanmış ve yoğunlaşmış bir püskürtme bombardımanı oluşturulur. Buda kaplama yapısını etkileyen bir durumdur[21].

Diğer bir yandan, elektrik enerji ile oluşan arktaki sıcaklık teli eritmede yeterli olup, tel erimesinde toplam ısının yüksek bir oranı kullanılır ve böylelikle erime oranı çok yüksektir. Bunun sonucu olarak da çok yüksek püskürtme oranları elde edilmektedir.

EAP püskürtme oranına amper ve besleme oranı ile karar verilmektedir. Bu durumda tel ölçüsü pek etkili değildir. EAP sisteminde amper, tel eritmede mevcut olan enerjinin bir ölçüsüdür. Verilen bütün enerji seviyelerinde birim zamanda maksimum

ergiyecek tel miktarı vardır. Bu maksimum ergime oranı karşılaştırmalı küçük ölçüdeki tel ve hızlı besleme oranı veya büyük ölçüdeki tel yavaş besleme oranı kullanılarak gözlenebilir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın ergime yetecek enerji seviyesiyle bilinen maksimum dereceden daha fazla ergimeyecektir.

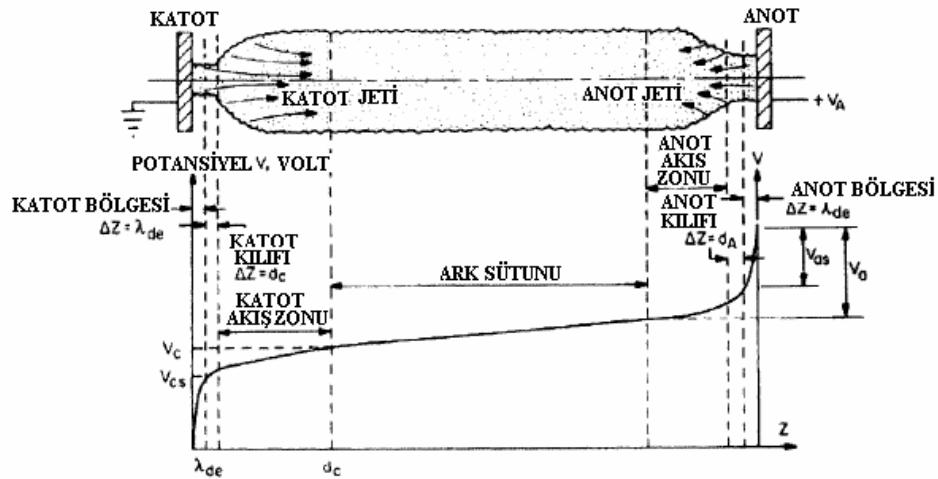
Yüksek sprej oranına ek olarak ark sprej prosesinin diğer bir avantajı altlıkla kaplama arasında yüksek adhezyon ve güçlü ara partikül kohezyon mukavemeti sağlanabilir. Yüksek sıcaklıktaki elektrik ark içindeki ergimiş metal partikülleri tam olarak ergirler. Böylelikle bu yüksek derecede ısınmış partiküller uygun şekilde temizlenip pürüzlendirilmiş yüzeye tutunmaları çok iyi olup sağlam bir kaplama yapısı meydana gelecektir[24,25].

5.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği

EAP kalbi iki elektrot arasındaki ark ve bu arkın iki telin ergitilmesi için ısı kaynağı olarak kullanılmasıdır. Bu yüzden elektrik arkının genel karakteristiğinin ve iki tel elektrot telin ısı transfer mekanizmasının açıklanması yararlı olacaktır.

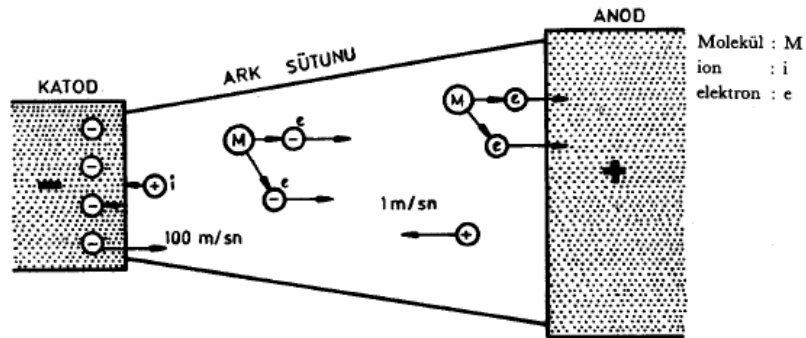
Elektrik arkı, kolaylıkla elde edilebilen yüksek şiddetli bir enerji kaynağı olması itibarıyla en önemli ısı kaynaklarından biridir[26].

Ark, iyonlaşmış gaz arasında yer alan, iki elektrot arasındaki elektrik deşarjıdır. Ark üç temel bölümden meydana gelir. Ark sütunu; içinde uniform gerim farkı bulunur. Katot ve anot bölgeleri; elektrotların soğutucu etkisinin hızlı gerilim düşmesine götürdüğü bölgelerdir. Ark sütunu şarj dengesine, düşük elektrik alanına ve ısı kaynağı olarak kullanılan yüksek sıcaklığa sahiptir[17].



Şekil 5.5 dc elektrik deşarjında akım-voltaj karakteri[17]

Ark sütunu nötr ve uyarılmış bir gaz atomları karışımıdır. Bu merkez sütunda elektronlar, atomlar ve iyonlar devamlı hareket ederler ve sürekli çarpışma halindedirler. Ark sütununun en sıcak bölümü burası olmakla beraber parçacıkların hareketi en şiddetli durumdadır. Dış bölüm ya da ark alevi bir ölçüde daha soğuktur ve merkezi sütunda ayrılmış gaz moleküllerinin yeniden bileşmesinden ibarettir[26].



Şekil 5.6. Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu[26]

Elektrik ark oluşumu içerisinde katot elektron vermektedir. Katot alanında meydana gelen ısı başlıca, katodun yüzeyine çarpan pozitif iyonlardan kaynaklanmaktadır. Anottaki ısıyı katottan anoda akan elektronlar temin etmektedirler. Sonuç olarak katot, ölçüsü akım şiddetiyle doğru orantılı olarak elektron veren elektrottur. Bu elektronlar, yolları boyunca, moleküllere çarparlar. Enerjileri yeterli ise bu darbe

iyon oluşmasına yol açar. İyonlar ise elektrik yüklü moleküllerden başka bir şey değildir[26–38].

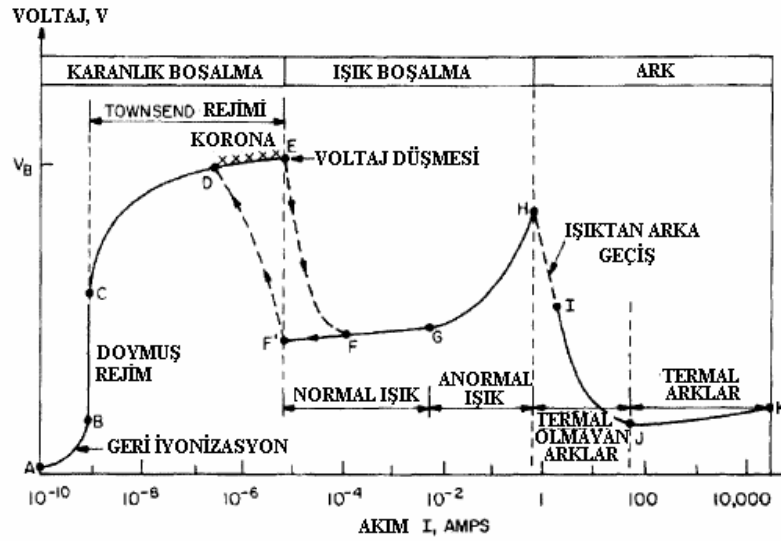
Elektrik ark oluşumunda kullanılan gazların (argon, helyum, azot, hidrojen) molekülleri bir elektron kaybederek pozitif iyonlar oluştururlar. Böylece, çarpışmadan sonra iki elektrod anoda doğru gider, bu arada pozitif iyon katoda doğru hareket eder ve katot bu şekilde bombardımana uğrar. Buna karşılık oksijen bir elektron yakalayıp anoda doğru giden negatif iyonlar oluşturabilir. Böylece oluşan arklarda üç tip yer değiştirme olayı görülmektedir.

- a) Esas itibariyle katottan çıkan ve anodu bombardıman eden elektronlar;
- b) Katoda doğru geri dönen pozitif iyonlar
- c) Anoda doğru giden negatif iyonlar

Elektronların hızı yaklaşık 100 m/saniye, iyonların ise 1 m/saniyedir. Elektronlar iyonlardan daha hızlı olduğundan dolayı akımın büyük bölümü elektronlar tarafından taşınır.

Anot ve katot civarında veya elektrotlara yakın bölgelerde (anoda 0,1 mm; katoda 1/10000 mm mertebesinde) ani gerilim düşmeleri meydana gelir (şekil..). Ark sütunu boyunca ise bu düşme kademeli olmaktadır. Bu anodik ve katodik geçiş bölgeleri, buralarda mevcut olan gerilim düşmelerine bağlı olarak yüksek bir ısı yayılımının merkezidir. Aradaki ark sütunu ise elektriksel olarak nötr bir ortam teşkil etmektedir[26].

Düşen bir voltaj-akım oranında EAP prosesi işletimi “termal ark” sınıflandırılması içindedir ve bölgesel termodinamik dengede olduğu düşünülür.



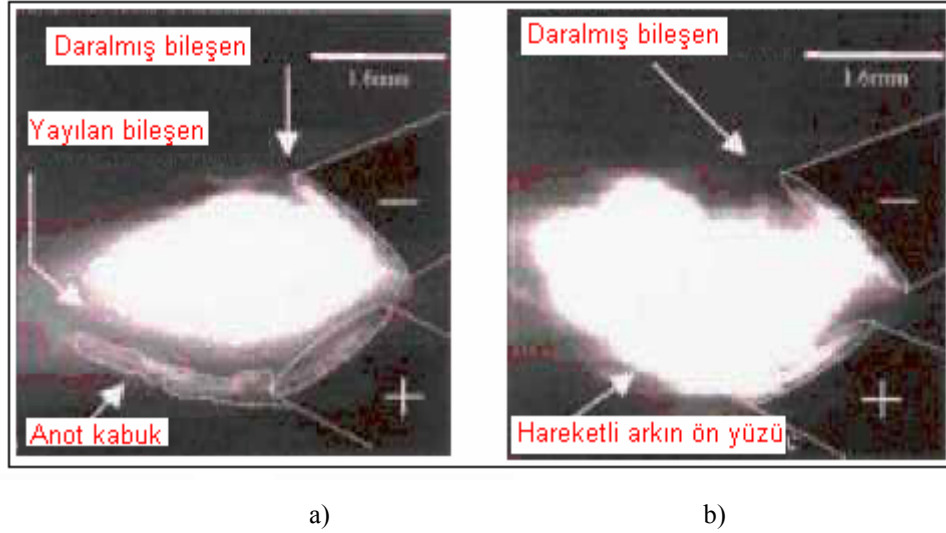
Şekil 5.7. Lineer bir arkın bölgelerinin şematik olarak gösterimi[17]

EAP' de oluşan elektrik arki iyonize gaz vasıtasıyla elektrik akımından oluşturulur. İyonize gaz, (+) ve (-) elektrik yüklü iki telin ilerleyip birleşme noktasında birbiri ile temas edip ark alevi meydana getirmesi ile oluşturulur. Yüksek elektrik akım yoğunluğu gerekli güç desteğinin devamlılığını iyonize olmuş bölge sağlar. Ark içinde elektronlarını kaybetmiş pozitif yüklü iyonlar bulunur. Bu da anottan katotta pozitif gaz iyon akışıdır[17].

Anodun katottan farklı ısınması asimetric bir ergime davranışının oluşmasına neden olur. Bu durum elektrik ark ergitmenin baskın bir özelliğidir. Bu durum Şekil 5.5.'de açıkça görülmektedir. Ark bileşiminde katot büzülme anotta da yayılma belirgin şeklinde ortaya çıkmaktadır. Anot ve katottaki bu farklı ergime davranışına bağlı olarak ısınma, ergime ve droplet oluşumu iki elektrotta farklı biçimlenmektedir. ve buna göre partikül boyları ve hızları da değişim göstermektedir[29].

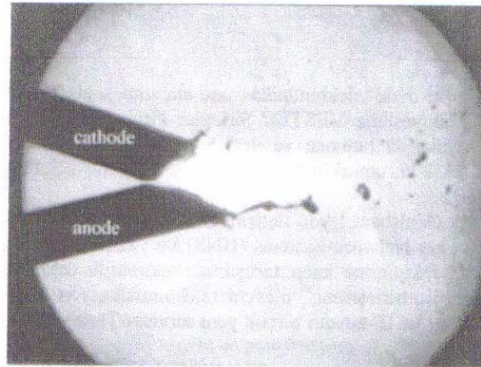
Anodun katoda göre daha soğuk olması telin daha yavaş ergimesine neden olur. Bunun sonucu olarak oldukça büyük dropletler meydana gelir. Bazı büyük dropletler atomize gaz ile parçalanırlar ve daha küçük dropletlere ayrılırlar. Bu asimetric ergime davranışı püskürtme paternini ve kaplama yapısını da etkiler. Katotta çok lokalize olmuş bir ergime görülür ve bunun neticesinde oluşan dropletler daha

küçüktür. Bu küçük dropletler hemen atomize gaz ile katot uçtan bölünerek ayrılırlar. Böylelikle katot yüksek ergime oranına sahiptir[30].



Şekil 5.8. Yayılan ve büzülmüş anot ve katot bileşenleri. Üst tel katot, alt tel anot a) Ark tamamen genişlemiş ve genişlemiş anot kabuğuna doğru yayılmış, b) anotta yayılan bileşen telin ucundan anot kabuğuna doğru ilerlemiş[29].

Katot pozitif gaz iyonlarının çarpışması ile yüksek derecede ısınır. Bu durum, ısınan yüzeyden elektron gibi elektriksel yüklü parçacıkların serbest kalmasına sebep olur. Katot yüzeyinden elektron aktığı için, onların enerjisinin büyük bir bölümü iyonize gazlara verilir. Bu nedenle anot katottan daha soğuk olmaktadır. Anot daha soğuk olduğu için ergime oranı düşüktür ve katotta oluşan partiküllerden daha büyük partiküller oluşur[23].



Şekil 5.9. EAP' de anot ile katot arasında oluşan asimetric ergime davranışı[23]

Elektrik ark sprej ile ilgili yapılan araştırmalar kaplama mikroyapısının çoğunlukla sprej parametrelerine bağlı olduğunu göstermiştir. Kaplama yapısı, ergimiş metal partiküllerinin yüzeye apma hızları, deformasyonları ve hızlı katılaşmaları ile biçimlenir. Böylece kaplama yapısının oluşumu ve kaplamanın mekanik özellikleri oluşan partiküllerin boyutları ve altlığa doğru aldıkları yoldaki kinetik enerjilerine bağlı olmaktadır. Proses parametreleri, ark sprej tabanca nozul sistemi, akım-voltaj ilişkisi ve tel besleme oranları oluşan partikülleri ve buna bağlı olarak kaplama yapısını belirler[31].

EAP prosesinde kullanılan uygulama parametre aralıkları Tablo 5.1’de verilmektedir. Ergimiş damlacıkların hava jeti içerisindeki boyut dağılımları ve kinetik enerjileri kaplamaların mikroyapılarını etkilemektedir. Ark sprej sisteminde oluşan partiküllerin boyut dağılımları 2 ile 200 μm arasındadır [31]. Bu partikül boyut dağılımına bağlı olarak da kaplama yapısı ve mekanik özellikler değişmektedir. Atomize gaz basıncı, tel besleme oranı, voltaj, akım, sprej mesafesi ve metalik kaplama tel malzemesine bağlı olarak kaplamaların mikroyapısı ve mekanik özellikleri değişmektedir.

Tablo 5.1. Elektrik ark sprej proses parametre aralıkları[17]

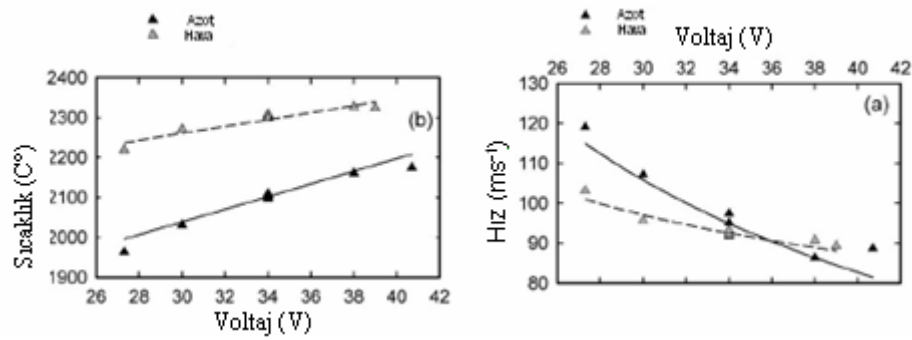
Parametreler	Değer aralıkları
Ark voltajı	25–40 V
Ark akımı	50–400 A
Tel besleme hızı	1–10 m/s
Püskürtme mesafesi	10–15 cm
Atomize gazlar	Hava, azot, karbondioksit
Atomize gaz akış oranı	1–80 m^3/saat
Sağlanan basınç	0.2–0.7 MPa

5.4.1. Püskürtme mesafesinin etkisi

Tavsiye edilen sprej mesafeleri 125 mm ila 200 mm’dir. Standart olan ise 150 mm dir. Sprej mesafesinin tavsiye edilen aralıkta olması oluşan dropletlerin hava ile temas zamanı düşük olacağından oksit içeriği de düşük olacaktır. Sprej mesafesinin artması ile de hem oksit oranı artacak ve hem de dropletlerin hızı düşeceği için yüzeye iyi yapışma ve dağılma olmayacağından porozite içeriği yükselecektir[24].

5.4.2. Voltaj ve Amperin Etkisi

Elektrik ark sprej prosesinde, kaplama malzemesinin ergimesi için gerekli ısı kaynağı tellerin uçlarında oluşan elektrik arkından temin edilir. İstenilen özelliklerde kaplama üretilebilmesi için tel uçlarında oluşacak arkın kararlı olması gereklidir. Ark voltajındaki artış ark sıcaklığını artırır. Püskürtme süresince ark sıcaklığının artması püskürtme sıcaklığını da arttıracaktır. Fakat ark voltajındaki artış püskürtme hızını düşürmektedir[20].



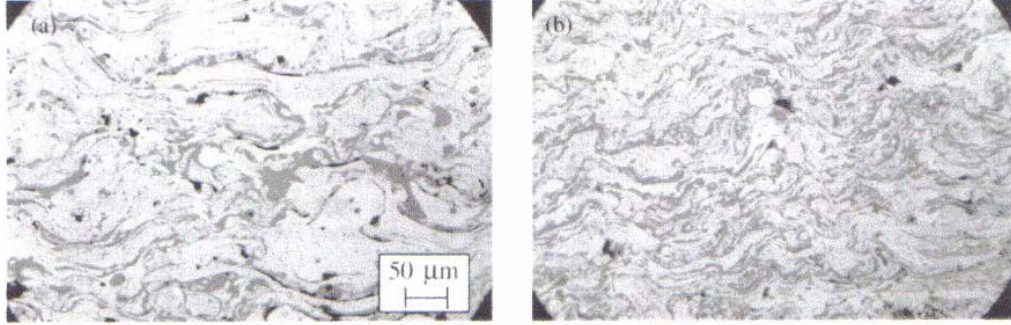
Şekil 5.11. Ark voltajının sprej hızı ve sıcaklığına etkisi [20]

5.4.3. Atomize gaz tipinin ve atomize gaz basıncının etkisi

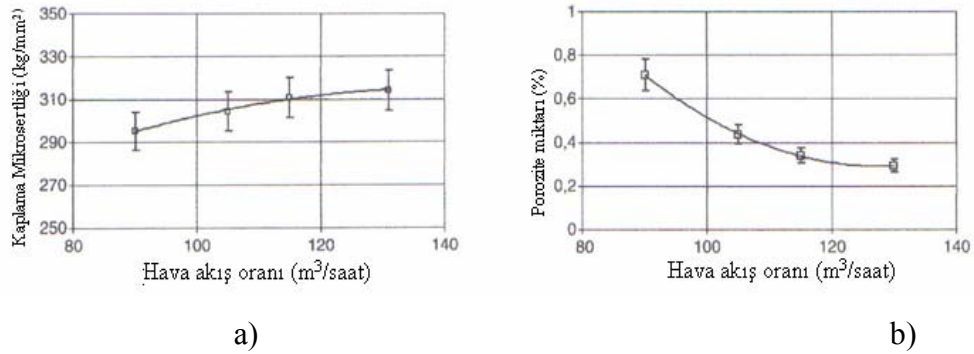
Elektrik ark sprej prosesinde atomize gaz olarak hava kullanılır. Ama atomize gaz olarak havanın kullanılması partiküllerin oksitlenmesine neden olur ve oksitli kaplama yapıları elde edilir. Bunun yanında oksidasyonu azaltmak için azot ve argon da kullanılır. Püskürtme prosesinde atomize gaz olarak azot kullanılmasının en temel etkisi, damlacık yüzeylerindeki ekzotermik reaksiyonları ve oksidasyonu engelleyerek püskürtme sıcaklıklarını düşürmesidir. Böylelikle kaplamalardaki oksit miktarı azalır. Fakat buna bağlı olarak kaplamanın sertliği düşer. Böylece atomize gaz olarak azot kullanıldığında oksidasyonun azalmasına bağlı olarak ve partikül soğuma hızı hava kullanılmasına göre daha yüksek olacaktır.

Elektrik ark sprej kaplamaların mekanik özelliklerini etkileyen en temel parametre atomize gaz basıncıdır[30–32]. Atomize gaz basıncındaki artış partikül hızını arttıracığı için daha ince lamelli yapı kaplama yapısı oluşacaktır[23]. Atomize gaz

akış oranı artması ile artan viskoz kuvvetlerine ve yüzey gerilim kuvvetlerine bağlı olarak artmaktadır. Gaz akış hızının artışı ile altlık yüzeyine yayılma daha iyi olacağından daha yoğun kaplamalar elde edilebilmektedir[33,34]



Şekil 5.12. a) Düşük hava basıncındaki kaplama mikroyapısı (94 m³/saat), b) yüksek hava basıncındaki kaplama mikroyapısı (130 m³/saat)[18]



Şekil 5.13 a) Hava akış oranı ve mikrosertlik ilişkisi, b) hava akış oranı ve porozite miktarı ilişkisi[18]

5.5. Elektrik Ark Püskürtme Kaplama Malzemeleri

Metalik bütün teller bu proses ile kaplanabilmektedir. Kaplamanın yapılabilmesi için gereken ise sadece kaplamada kullanılacak tellerin iletken olmasıdır. Tel beslemeli termal sprey prosesleri, toz beslemeli olanlara göre enerji kullanımı, ergimiş partikül formasyonu, birikme oranı ve kullanım açısından daha verimlidir. Telin ucundan partiküller atomize olarak tamamen ergirler, böylece birikme verimliliği genellikle yüksektir. Bunlara ek olarak tel beslemenin kullanılmasının en önemli nedeni aynı şekilde toz beslemeden daha ucuz olmasıdır. Ama her malzemenin tel olarak bu işlem için üretilmesi de mümkün olmaktadır. Güvenli besleme için tel malzemesi de

yeterli bir esnekliğe sahip olması gerekir. Böylece yeterli bir mukavemet telin zarar görmesini, yeterli bir süneklikte telin kırılmasını önlemiş olur.

Endüstriyel alanda kaplamalar için kullanılacak tel malzemeleri kullanım yeri ve amacına göre değişiklik gösterirler. Tablo 5.2’de bazı tel malzemeleri ve kullanım yerleri verilmektedir.

Tablo 5.2. Endüstriyel uygulamalar için bazı tel malzemeleri[22]

Zn	Korozyon koruma
Zn/Al 85/15	Endüstri ve deniz atmosferinde korozyon koruma, SO ₂ ’li ortamlarda yüksek direnç
Al	Endüstri ve deniz atmosferinde korozyondan koruma, 800°C ve yukarıdaki yüksek sıcaklık korozyon dayanımı ve gıda endüstrisinde
AlMg5	Deniz atmosferinde korozyon dayanımı
NiTi	Mükemmel bağ tabakası kaplaması
%13 Cr’lu çelik	Aşınma dayanımı, zayıf korozyon direnci
FeCrAl	Yüksek sıcaklık korozyon dayanımı
Mo	Kazımalı korozyona karşı dayanım
NiCr 80 20	Korozyon dirençli kaplamalar ve seramik üst kaplama için ara tabaka kaplaması

Endüstriyel uygulamalarda çeşitli komponentlerin servis ömrü uzatılması gerekli olmaktadır. Elektrik ark sprej kaplamalarda da aynı durumla geçerli olduğu için kaplanmış komponentlerin agresif ortamlardaki hasara uğrama süresini arttırıcı kaplama özelliklerine ihtiyaç duyulur. Bazen de bu ihtiyaç duyulan özellikler metal kaplamalar ile sağlanamayabilir. Bu nedenle özlü tel ile kaplama uygulamaları önem kazanmıştır. Kaplamada istenen üstün mekanik özellikler özlü tel kaplaması ile sağlanabilmektedir. Böylelikle komponentlerin aşınma ve/veya korozyona karşı direnci arttırılabilmekte ve servis ömürleri uzatılabilmektedir. Özlü telde seramik özler ile onu çevreleyen metal çubuk elektrik ark sprej ile kaplanmakta ve sonuçta kompozit karakterli bir kaplama ortaya çıkmaktadır. Tablo-3’de tellerin içinde bulunan bazı öz malzemeleri ve genel uygulama verilmektedir.

Tablo 5.3 Elektrik ark sprey ile özlü tel kaplamalar ve uygulama alanları[22]

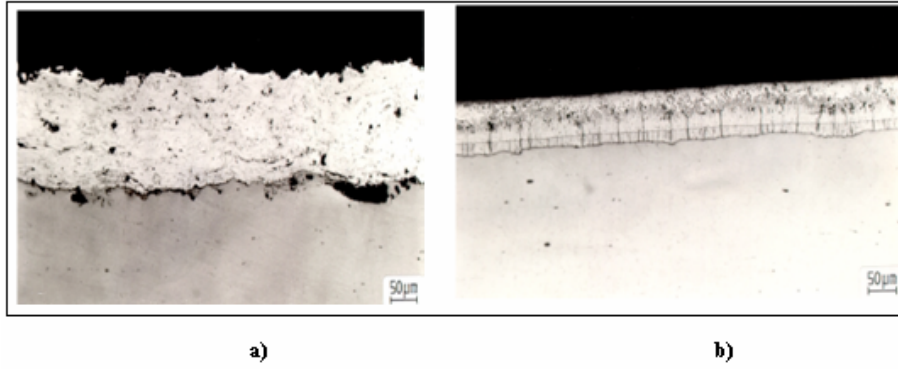
Özlü tel	Uygulamalar
FeCMnSi	Kuru atmosferde yüksek aşınma dirençli kaplamalar
FeCrBSi	Aşınma dirençli kaplamalar, iyi genel korozyon dayanımı ve iyi bağ mukavemeti
FeCrBSi+WCCoCr	Mükemmel aşınma dayanımı, iyi genel korozyon direnci ve iyi bağ mukavemeti
FeCrSi	Aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900°C'nin üstü)
NiCr 50 50	Yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900°C üstü)
NiBSi+WC	Yüksek abrasif aşınma dayanımlı kaplamalar, iyi genel korozyon direnci
NiCrBSi	Islak atmosferde yüksek korozyon direnci, iyi aşınma dayanımı

5.6. Elektrik Ark Püskürtme ve Endüstriyel Kullanım Alanları

5.6.1. Korozyon koruma uygulamaları

5.6.1.1. Zn ve Zn alaşımları

Metalik çinko, çelik yapıların korozyon korumasında en çok uygulanan yöntemdir. Zn kaplamalar birçok yöntemle kaplanmakla beraber (sıcak daldırma, galvaniz, elektrogalvaniz gibi) elektrik ark sprey yöntemi ile de çelik yapılara uygulanabilmekte ve diğer kaplama yöntemlerine göre de birçok avantaj sağlamaktadır. Sıcak daldırma Zn kaplama ile karşılaştırıldığında elektrik ark sprey yönteminin en önemli avantajı kaplama maliyetidir. Sonuçta sıcak daldırmada ergimiş Zn havuzda bulundurmak için havuzun sıcaklığının korunması gerekir. Bunu sağlamak için de devamlı enerji sağlayacak yakıtı ihtiyaç duyulacaktır. Elektrik ark spreyde ise enerji elektrik enerjisi olup sadece tel formundaki Zn'yi ergitmek için kullanılır. Ayrıca sıcak daldırma kaplamalarda sıcaklık olduğundan dolayı kırılğan intermetalik difüzyon tabakaları meydana gelmekte fakat EAP prosesi ile yüksek saflıkta kaplamalar üretilebilmektedir. Elektrik ark sprey yöntemi ile 100 µm'dan birkaç mm'ye kadar kalın Zn kaplamalar üretilebilir. Ayrıca elektrik ark sprey ekipmanı taşınabilir olduğundan dolayı yerinde kaplama saha uygulaması sağlamaktadır.



Şekil 5.14 a) Elektrik ark sprej Zn kaplama mikroyapısı, b) Sıcak daldırma Zn kaplama mikroyapısı[35]

Zn kaplamalar, korozyon koruma uygulamalarının gerekli olduğu, köprüler, bina kolon ve kirişler büyük çelik yapılar, dökme demir boru, su kuleleri, sıvı depolama tankları ve ev ve sanayi tüplerinin kaplanması gibi uygulamalarda başarı bir şekilde kullanılmaktadırlar.



Şekil 5.15 Ark sprej Zn kaplama uygulamaları[22]

5.6.1.2. Al ve Al alaşımları

Metalik alüminyum kaplamalar gıda endüstrisinde ve deniz içi uygulamalarında korozyon koruma için kullanılan kaplamalardır. Alüminyumun korozyon koruma alanı asidik bölgededir. Alüminyum kaplamalar özellikle yüksek sıcaklık korozyonuna karşı dirençlidir. Alüminyum alaşımı olarak AlMg5 alaşım kaplamalar özellikle deniz atmosferine maruz kalan gemilerin ve petrol platformların korozyona karşı korunmasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Alüminyum bronz kaplamaların, ark sprej prosesi boyunca oluşan alüminyum oksite bağlı olarak korozyon direnci çok iyidir. Bu alaşıma Fe ve Ni ilavesi korozyon direncini arttırmaktadır. Bu alaşım kaplamaları deniz içi uygulamalarda pirinçten (CuZn) daha iyi korozyon koruma sağlamaktadırlar.

5.6.1.3. Ni ve Ni alaşımları

Nikel ve nikel alaşım kaplamaları deniz atmosferindeki ve desalinasyon alanlarındaki komponentlerin korozyona karşı koruma sağlanması için uygulanır. Özellikle ark sprej NiCu30Fe kaplamalar indirgeyici ortamlarda ve oksitli akışkanlarda mükemmel korozyon koruma sağlamaktadır.

Ark sprej NiCr 80 20 kaplamalar ıslak ortamdaki korozyon karşı koruma için uygulanan bir diğer nikel alaşım kaplamadır.

Tablo 5.4. Çeşitli korozyon koruyucu kaplamalar ve uygulamalar[36]

Kaplama	Uygulama
625 alaşımı veya Al	Tuzlu su pompalarında boru bölümleri
Al ve Al alaşımlar	Petrol platform parçaları
Zn, Zn/Al, veya Al	Çelik köprüler
Zn, Zn/Al, Al	Köprü yapım parçaları
625 alaşımı, Al, Zn ve Cr/Ni alaşımı	Kimyasal ve su depolama tankları
Zn/Al 85/15	Güç iletim direkleri ve dökme demir borular
Al	Elektrik santrallerindeki su kulelerinin boruları
Al	Soğutma suyu pompası difüzörü
Zn veya Zn/Al	Betan köprü yapıları
Zn/Al	Türbinler

5.6.2. Elektrik ark püskürtme bağ kaplamalar

Özellikle NiTi ve NiAl birçok uygulamada yüksek bağ mukavemeti oluşturduğundan dolayı ara bağ tabakası olarak uygulanmaktadır. Örnek olarak birkaç mm.lik seramik kaplamalar için ara bağ tabakası olarak sıkça kullanılırlar. Ti'un ekzotermik reaksiyonuna ve Al'un da atomize gaz olan hava içerisindeki oksijen ile

reaksiyonuna bağlı olarak oluşan damlacıklar aşırı bir şekilde ısınırlar. Bu damlacıklar altlık yüzeyine çarptıklarında mikroskobik olarak partiküller ile altlık arasında bir kaynaşma meydana gelir. Böylelikle bu alaşımlar altlık ile yüksek bağ mukavemeti oluştururlar.

Plazma sprej NiAl 95 5 kaplamalar ve ark sprej (atomize gaz olarak hava kullanıldığında) NiAl kaplamalarda yapılan çalışmalar ark sprej kaplamaların daha yüksek bağ mukavemetine sahip olduğunu ve sertliklerinde bir fark olmadığını göstermiştir.

5.6.3. Aşınma dirençli kaplamalar

Aşınma dirençli kaplamalar çok yaygındır. Çeşitli elikler ile sert kaplamalar retilbilirler. Bir alüminyum alaşım parçasının üzerine aşınmaya dayanımlı elik kaplama uygulanabilmektedir. Martensitik bir 13 Cr'lu elik kaplama uygulaması birçok endüstriyel alanda çalışan parçaların abrazyon aşınmaya karşı direncini arttırmaktadır. Fakat karbonun ve bazı alaşım elementlerinin kaplama prosesi sırasında yanmasına bağlı olarak kaplama ısıl işlem kadar sert olmamaktadır. Bunu önlemek için karbon ve Cr gibi kimyasal elementlerin alaşıma eklenmesi tavsiye edilmektedir.

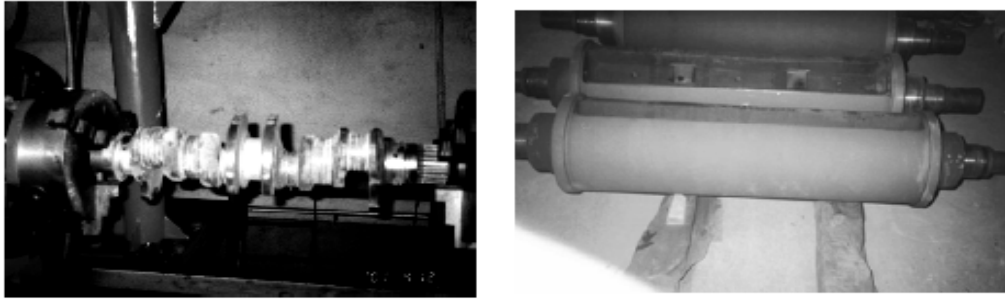
Üstün aşınma performansı için genellikle zlı tel kullanımı ark sprej prosesinde daha yaygın bir yöntemdir.

5.6.3.1. Korozi atmosferde aşınma dayanımlı kaplamalar

Endüstriyel amaçlı parçalarda aşınma ve korozyona karşı direnç kazandırılmasında standart kaplama malzemesi olan 13 Cr'lu elik kullanılır. Ama bu kaplamalar istenilen servis ömrünü garanti eden kaplamalar değildir. zlı tel uygulamaları olan özel hazırlanmış kimyasal kompozisyona sahip ve/veya tungsten karbür gibi sert faz öz dolgusu ark sprej kaplamalar ile parçalar aşınmaya karşı dirençli hale getirilir ve kullanım ömürleri arttırılmış olur. Özellikle FeCrBSi kaplamalar uygulamaları için amaç için kullanılırlar.

5.6.4. Ark püskürtme kaplamalar ve onarım

Genellikle krank şaftları, jeneratör şaftları, silindir yuvaları, rulman yerleri ve yataklar tekrar kullanım amaçlı onarım için yumuşak çelik veya yüksek alaşımli çelikler ile kaplanırlar. Ark sprej bronz ve kalay kaplama uygulamaları rulman ve rulman yatağı onarımında kullanılmaktadırlar.



Şekil 13. Ark sprej kaplamalar ile taşıt krank şaftlarda ve baskı silindirlerindeki onarım uygulamaları

5.6.5. Yüksek sıcaklık korozyonu korumasında ark sprej kaplamalar

Özellikle kömürlü buhar üretimi ve atık yakılarak buhar üretim alanlarında buhar ve aşırı ısınmış buhar borularının ve atık gaz bacalarında korozyon ve aşınmaya karşı kaplama uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kaplamalar yüksek Cr'lu Ni veya Fe esaslı alaşımlardır ve bu kaplama uygulamaları başarılı bir şekilde endüstride kullanılmaktadır. Buradaki dikkat edilecek konu sprej parametrelerinin iyi ayarlanarak (özellikle kaplama nozulu ve püskürtme mesafesi) Cr'un yanmasının minimum olmasıdır. Alaşıma Si ve B ilavesi ile kaplamaların viskozitesi düşürülerek daha yoğun ve porozitesiz kaplamalar elde edilebilmekte ve kaplamaların korozyona karşı direnci arttırılmış olur[22].

BÖLÜM 6. ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE KOROZYON DİRENÇLİ ÇİNKO (Zn), ALÜMİNYUM (Al) ÇİNKO/ALÜMİNYUM (85/15 Zn/Al) KAPLAMALAR

6.1. Giriş

Termal sprej tekniği ile oluşturulan kaplamaların performansı, kaplama tekniklerinin ilerlemesi ve malzeme bilimindeki gelişmelere bağlı olarak günden güne artmaktadır. Termal püskürtme kaplamalar, her geçen gün endüstri parçalarının yüzey özelliklerinin artırılması için mükemmel bir çözüm olmaktadır[37].

Termal püskürtme yöntemleri, korozyondan koruma amaçlı oluşturulan kaplama tekniklerinin yanı sıra ve çok yönlü kullanımlarıyla da avantajlı yöntemlerdir. Birçok farklı malzeme bu yöntem ile kaplanmakta ve kaplanan her bir malzemenin özelliklerine bağlı olarak farklı ortamlarda efektif bir çözüm sağlanabilmektedir. Demir ve çelik malzemeleri korozyona karşı koruma amaçlı oluşturulan kaplamalarda genellikle çinko (Zn), alüminyum (Al) ve her ikisinin alaşımları (%85Zn-%15Al gibi) kullanılmaktadır. Bu kaplama malzemeleri genellikle tel formunda olup termal püskürtme yöntemiyle kaplama oluşturulur. Termal püskürtme yöntemiyle üretilmiş bu metalik kaplamalar, çeşitli korozif ortamlarda kullanılan demir esaslı parçaların, bu ortam ile temas eden yüzeylerinin korunmasını sağlamaktadır. Endüstriyel ve deniz atmosfer şartlarının her ikisinde de görünen koruma süresi yaklaşık 20 yıl gibi uzun bir süredir. Zn, Al, Zn-Al termal püskürtme metalik kaplamalar için 50 yıl gibi uzun bir koruma süresi sağlayacağı da yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Termal püskürtme metalik kaplamaların çelik yapıların bakımından geçirilmesi ve ardından tekrar kaplama malzemesinin onarımı arasında 30 yıldan fazla bir süre olduğu belirtilmiştir[38]. Ayrıca sert atmosfer ortamlarında ve deniz atmosferi şartlarında da 20 yıldan daha fazla bir koruma sağlayacağı belirtilmiştir.

Doğal sulardaki (tatlı ve deniz suyu) potansiyel uygulamalar ve korozif ortamlar için çeşitli kaplama malzemeleri olmasına rağmen en çok kullanılan malzemeler; ticari saflıktaki alüminyum (%99.0 Al), ticari saflıktaki çinko (%99.9Zn) ve çinko-alüminyum (% 85/15) alaşımlarıdır.[39].

6.2. Korozyon Koruma için Koruyucu Kaplamalar

Malzeme özellikleri düşünüldüğünde bütün termal püskürtme metal kaplamaların genel korozyon oranları düşüktür ve bu oran 2.5-10 $\mu\text{m}/\text{yıl}$ 'dır. Alüminyum için 3.3 $\mu\text{m}/\text{yıl}$, % 85/15 Zn-Al için ise 7.8 $\mu\text{m}/\text{yıl}$ 'dır. Korozyona karşı koruyucu kaplaması olmayan çeliğin korozyon oranı ise yılda 102-254 μm 'dir.Bu sonuçlardan yola çıkarak 20 yıl servis ömrü olan kaplama için 300 μm kalınlıkta olması gerektiği görülmektedir

Tablo 6.1. Kaplama kalınlığı ve 20 ila 40 yıl arasında değişen kullanım ömürleri[39]

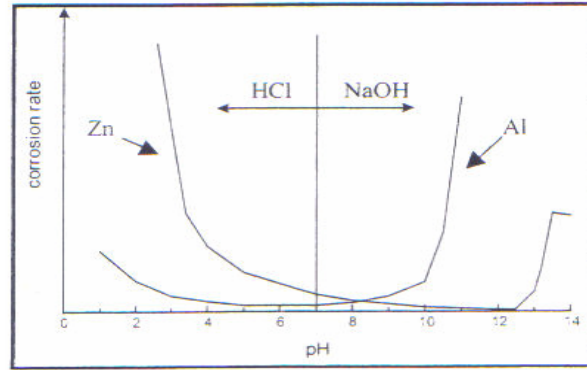
Çevre	Kaplama	Kalınlık μm	Polimer Son Kaplama
Atmosferik			
Kırsal	Zn veya Zn-Al	150-200	Hayır
Endüstriyel	Zn veya Zn-Al	305-380	Evet
Deniz atmosferi	Al veya Zn-Al	305-380	Hayır
Daldırma Uygulamaları			
Tatlı su	Zn-Al	305-380	Evet
Hafif tuzlu su	Al	305-380	Hayır
Deniz suyu	Al	305-380	Hayır
Değişimli ıslak-kuru			
Tatlı su	Zn-Al	250-305	Evet
Deniz suyu	Al	305-380	Evet

Maliyet açısından değerlendirildiğinde termal metal püskürtme prosesi diğer kaplama sistemlerine üstünlük sağlamaktadırlar. Yine aynı çalışmada 255 μm

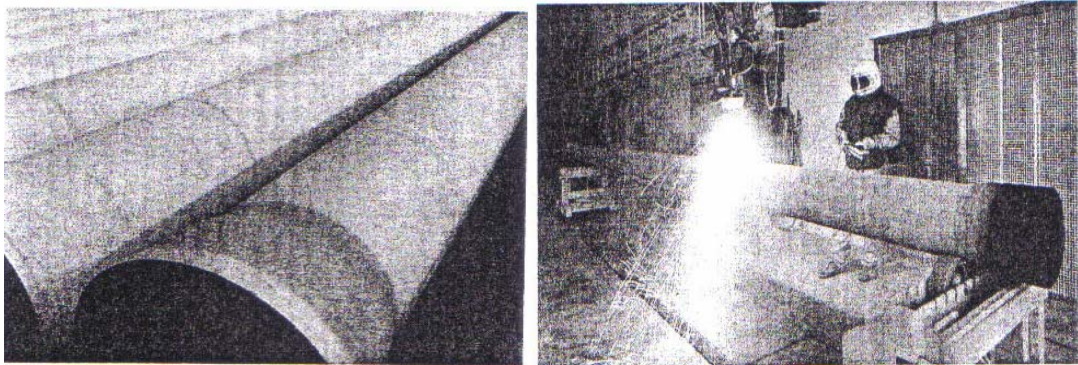
kalınlığındaki Zn ve Zn-Al alaşımı için belirtilen servis süresi 15 yıl olup polimer son kaplama kullanıldığında bu süre 25 yıla çıkmaktadır.[39]

6.2.1. Zn kaplamalar ve özellikleri

Metalik çinko kaplama yöntemi, çelik yapıların korozyona karşı korunmasında iyi bilinen bir yöntemdir. Çinko düşük asidik atmosfer koşullarında korozyona karşı dayanımı çok iyidir(pH 5-12). EAP çinko kaplamanın, çelik köprülerin, gaz tüplerinin ve dökme demir boruların kaplanması gibi bir çok endüstriyel uygulaması da vardır[16] Şekil.1’ de Zn ve Al için pH değerleri ile korozyon oranları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekil.2’de çinko kaplanmış dökme demir borular ve şekil.3’ de bu boruların tel ark püskürtme prosesi ile çinko kaplanması gösteriliyor. Çinko 60°C üzerindeki uygulamalarda kullanılmaz.[40]



Şekil 6.1. Zn ve Al için pH değeri ile korozyon oranı grafiği[22]



(a)

(b)

Şekil 6.2. (a) termal sprey çinko kaplama prosesi[6] (b) çinko kaplanmış dökme demir[22]

Çinkonun, demir esaslı yapıları korozyondan korumaya yönelik kaplama oluşturulmasında çok elverişli bir yapısı vardır. Mükemmel bir korozyon dayanımına sahiptir. Uygulandığı birçok malzemede, zorlu atmosfer şartlarında bile başarılı bir koruma göstermektedir. Çinko kaplamaların performansı yoğunluğuna, kaplama kalınlığına ve çevresel şartlara bağlı olmak üzere demir esaslı malzemelere göre 10 ila 100 kez düşük korozyon oranlarına sahiptir. Çinko kaplama yüzeyi reaktif olduğundan oksitleyici ortamda hızlı bir şekilde yüzeyde korozyon filmi oluşturur ve pasifleşerek korozyon hızını düşürür.

Ayrıca çelik ile çevre arasında oluşan bu bariyer, yani çinko kaplama tabakası ana metali katodik olarak da korur. Bunun anlamı çinko demire göre daha aktif olup tercihli olarak korozyona uğramaktadır.

Kaplama tabakasında meydana gelen küçük süreksizlikler veya kaplamanın zarar görmesi durumunda, demir esaslı altlık malzeme korunmasız kalabilir. Bu durumda çinko çelikten daha reaktif olduğundan hızlı bir şekilde korozyon koruyucu bir film tabakası oluşturup meydana gelen boşluk ve süreksizlikleri kapatarak çeliği tekrar korozyona karşı korumaya devam eder. Eğer ortam hava atmosferi ise Zn, çinko oksite (ZnO)'e, nemli bir atmosfer ise çinko hidroksite, yanmalı bir proses boyunca karbondioksit ile reaksiyona girerek çözünmez bir çinko karbonat tabakası meydana getirip altlık malzemenin korozyona uğramasını engeller ve böylece mükemmel bir koruma sağlar[40].

6.2.2. Al kaplamalar ve özellikleri

Metalik alüminyum kaplamalar korozyon koruyucu olarak kıyı şartlarında, doğal su içindeki uygulamalarda ve gıda alanında kullanılırlar. Alüminyum asidik ortam çözeltilerine dayanıklıdır.(pH 2-10).

Alüminyum, düşük elektrokimyasal aktivitesi ve tercihli oksit filmi formasyonu ile çelik bir altlığa düşük bir katodik koruma sağlar. Elektriksel iletkenliği ve belirli bir pH'a sahip olan deniz suları alüminyumun korozyon film oluşturmasına katkıda bulunurlar. Deniz suyunun oldukça yüksek elektrik iletkenliğine bağlı olarak, deniz

suyu içindeki uygulamalarda termal spreyci alüminyum kaplama önerilir. Aynı ortamlarda deniz suyunun elektrik iletkenliğinden dolayı çinko kaplamanın çelik ile olan galvanik etkisi yüksek olması nedeniyle çinkonun korozyon hızı yüksek olup tüketim oranı da su içi uygulamalarda fazla olmaktadır. Özellikle yoğun klorlu ortamlarda Al'da çinko gibi çeliği katodik olarak korur[42].

6.2.3. Zn/Al 85/15 kaplamalar ve özellikleri

Tel formundaki ağırlıkça 85/15 Zn/Al alaşımı Belçika' da Duno isminde bir kişi tarafından bulunmuştur. Bu telin kullanılmasıyla Zn ve Al' nin davranışları araştırılmaya başlanılmış. 1966' da Fransa Elektrik Araştırma Departmanı' nın yayınladığı bir makalede 85/15 bileşiminde Zn-Al alaşımının 33 aylık korozyon davranışı incelenmiş. Ayrıca alüminyum ve çinkonun farklı kombinasyonları için incelenen korozyon davranışları, Zn' nin korozyon potansiyelinin demirinkinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu anodik reaksiyonlar kurban anot koruması sağlamakta olduğu tespit edilmiş, alüminyumun da inert bir kaplama gibi davrandığı görülmüş. Daha sonra alüminyumun ağırlık oranı artırılarak yapılmış araştırmalar (bu artış %15' den 28'e, 28' den 50' ye kadar) alaşımdaki alüminyum oranının %28'e kadar artırılması durumunda aynı şekilde 85/15 deki alaşım davranışını sergilemiş fakat % 28'den sonra çinkonun katodik koruma özelliğini yitirdiği görülmüş. Böylece artan alüminyum oranı ile kaplama, saf alüminyum formundaki bir kaplama gibi davranmış. Basitçe %28 Al oranından fazla olan Zn/Al kaplamalar saf alüminyum kaplama gibi davranırlar. 85/15 Zn/Al ile ilgili yapılan araştırmalar iki fazın keşfine öncü olmuş, hatta çoğunluğu küçük çinko tanecikleri ile çevrilmiş, uzama gösteren alüminyum partikülleri içeren bir kaplama yapısı verdiği görülmüştür

Bu yapısal bakış noktasından; 85/15 Zn/Al alaşım kaplamalar, kenarları Zn ile sarılmış ve alüminyum takviye edilmiş bir çinko kaplama gibi davrandıkları görülmüş. Ayrıca elektrokimyasal analizden sonra iki bileşikten herbirinin elektrokimyasal özelliğini gösteren bir iki faz kombinasyonu olduğu sonucuna varılmış.

1965’de CEFRAOOR, Fransa Anti-Korozyon Merkezi 85/15 Zn/Al bileşiminin, atmosferik ve sualtı şartlarında boya son kaplamalar ile on yıllık bir test sonucu yayınlamıştır. Bu çalışmaya göre;

- a. Bu alaşım porlara sahip olup bu porları hızlı dolduran doğal bir son kaplamadır.
- b. Çinkonun yavaş çözüldüğü, koruma süresi artan, alüminyum esaslı bir yapı meydana getirir.(çinkonun yenimi bittiği zaman)
- c. Yapılan testler SO₂ ve Cl içeren ortamlarda mükemmel bir korozyon direnci olduğunu göstermektedir. [40]

Tablo 6.2 Termal spreyle metal kaplamada korozyona karşı kullanılan anot malzemelerin özellikleri[39]

Metal Alaşımı	Özellikleri
% 99.9 saf Zn	Mükemmel katodik koruma özelliği, alüminyumdan daha sert, kalınlığı ile ömrü orantılı, asidik ve yüksek sıcaklıklar için uygun değil
% 99.0 saf Al	Düşük korozyon oranı, deniz suyunda mükemmel kullanım, yüksek sıcaklık dayanımı, hafif, asidik ortam dayanımı
% 85/15 Zn-Al	Alüminyumdan daha sert, atmosferik ortamda alüminyum ve çinkoda daha iyi performans özelliği

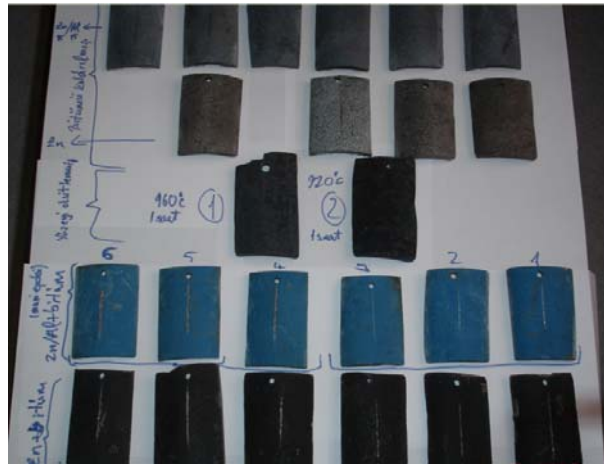
BÖLÜM 7. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada ticari olarak üretilmiş, Zn+polimer (bitüm) kaplamalı, Zn/Al 85/15+polimer (mavi epoksi) kaplamalı düktil demir boruların korozyon performansları tuz püskürtme testi ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Tuz püskürtme deneyi öncesi Zn/Al 85/15 kaplama telinden mevcut fazların incelenmesi ve belirlenmesi için numune alınarak metalografik işlemlerin ardından optik mikroskop, SEM ve EDS analizi yapılmıştır. Bu işlemi takiben Zn/Al 85/15 kaplama telinin faz tayini için 150 gr'lık tel numunesi azot atmosferinde elektrikli bir fırında ergitilerek dökümü yapılmış olup, optik mikroskop ve SEM incelemeleriyle beraber EDS analizi yapılmıştır. Tuz Püskürtme Korozyon Deneyi öncesi numuneler, önceden ticari olarak üretilmiş ve iki farklı kaplama yapılmış (Zn+bitüm ve Zn/Al 85/15+mavi epoksi) boru malzemelerden boyutları 9x6x6, 9x6x4 olacak şekilde hazırlanmıştır.

7.1. Deney Numuneleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan deney numuneleri; ticari olarak üretilmiş Zn ve Zn/Al 85/15 kaplanmış ve bu kaplamaların üzerine birinde siyah bitüm ile diğer boruda mavi epoksi polimer kaplama uygulanmış iki boru malzemedan kesilmiştir. Tuz püskürtme testinde kullanılacak numunelerin boyutları, bu iki boru malzemesinden 9x6x6 ve 9x6x4 olacak şekilde 24 adet numune kesilmiştir. Bu 24 numunenin 10 tanesi Zn ve bitüm kaplamalı boru malzemedan kesilmiş olup, 12 tanesi Zn/Al 85/15 ve mavi epoksi kaplamalı boru malzemesinden kesilmiştir. Zn+bitüm kaplı boru malzemesinden kesilen 10 numunenin 4 tanesinde bitüm kaldırılmış, sadece Zn kaplama yüzeyi bırakılmış olup Zn/Al 85/15+mavi epoksi kaplı boru malzemesinden kesilen numunelerin 6 tanesinde polimer kaplama mavi epoksi kaldırılmıştır. Bunun yapılmasındaki amaç kullanılan üst polimer kaplamaların korozyon koruyuculuk özelliğinin olup olmadığını tespit etmektir.

Bunlara ilave olarak iki farklı boru numunesi daha alınıp yüzeyindeki bütün kaplamalar kaldırılarak ısıtma işlemi uygulanmış ve yüzeylerinde oksit tabakaları oluşturulmuştur. Tuz Püskürtme Testi öncesi kesilen deney numuneleri daha önce kullanılmış malzemeler kesilmiş olduğu için yüzeylerindeki kir ve pastan arındırmak için alkali temizleme yapılmış olup sonra yağdan arındırmak içinde selülozik tiner ile yüzey temizliği yapılmıştır. Bu ön temizleme işlemlerinden sonra deney numunelerinin yüzeyleri tungsten karbür uç ile 5 cm uzunluğunda ve 1 mm genişliğinde çizilerek kenarları parafin ile kaplanmıştır.



Şekil 7.1 Boru malzemelerden kesilen deney numuneleri

Tablo 7.1. Tuz Püskürtme Korozyon Deneyi için hazırlanan numune sayısı ve yüzey profilleri

Kaplama Cinsi	Numune Yüzey Profili ve Sayısı		
	Altlığa ulaşan çizik	Sadece kaplama yüzeyindeki çizik	Yüzeyi Çizilmemiş
85/15 Zn/Al+Mavi Epoksi Kaplamalı	3	3	Yok
85/15 Zn/Al Kaplamalı	2	2	2
Zn+Bitüm Kaplamalı	3	3	Yok
Zn Kaplamalı	1	1	2
Yüzey Oksitli	1	Yok	1

Ayrıca mikroyapısal faz analizi yapmak amaçlı Zn/Al 85/15 kaplama tel malzemesinden bir numune kesilerek yapısına bakılmıştır. Bunun yanında Zn/Al

85/15 tel malzemesinden 150 gr'lık numune alınarak fırında ergitilip kokil kalıba dökülmüştür. Böylelikle bu alaşımda bulunan döküm yapısı fazlarının tayini yapılmıştır.



Şekil 7.2. Yapısı incelenmiş olan 85/15 Zn/Al alaşımı ark püskürtme kaplama teli

7.2. Tuz Püskürtme Korozyon Test Kabini

Boya ve kaplamaların ve çeşitli endüstriyel malzemelerin korozyon performanslarının belirlenmesinde kullanılan bir cihazdır. Bu çalışmada hazırlanan numunelerin korozyon performanslarının ölçülmesinde ve birbiri ile kıyaslanmasında Sakarya Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, Plazma Kaplama Laboratuvarı'ndaki ANGELANTONI marka DCTC 600 P WETTING model tuz püskürtme korozyon test cihazı kullanılmıştır (Şekil). Bu korozyon deneyi ASTM B-117 standardına göre yapılmış olup numuneler cihaz içinde 300 saat boyunca bırakılmışlar ve bu zaman zarfı süresince numuneler kabin içindeki korozif atmosfere maruz bırakılmışlardır. Kabin içi korozif atmosfer deiyonize su ile ağırlıkça %5'lik NaCl çözeltisinin kabin içine püskürtülmesi ile sağlanmıştır. Kabin içi sıcaklığı ASTM B 117 standardına göre 35°C'de sabit tutulmuş olup kabin içinde bir sis bulutu meydana gelmiştir. Burada amaçlanan yoğun bir korozif ortam olan deniz atmosferine benzetmektir.



Şekil 7.3. Tuz Püskürtme Korozyon Deneyi Test Kabini

7.3. Mikroyapısal Çalışmalar

Tuz püskürtme testinde kullanılacak kaplama numunelerinin (Zn, Zn/Al 85/15) ve Zn/Al 85/15 kaplama tel malzemesi ile döküm yapısının optik mikroskop incelemeleri, Sakarya Üniversitesi SEM laboratuvarında bulunan“Nikon Eclipse L 150” marka cihaz ile yapılmıştır. Bu çalışmanın ardından SEM ve XRD çalışmaları “JEOL JSM6060 LV” marka cihazla yapılmıştır

7.4. Deney Prosedürü

7.4.1. Numune hazırlama

Bu çalışmada kullanılacak deney numuneleri, ticari bir firma tarafından üretilmiş Zn+bitüm ve 85/15 Zn/Al+mavi epoksi kaplama uygulanmış düktil demir boru malzemelerinden hazırlanmıştır. Numune hazırlanışı ASTM B-117 standardına uygun şekilde yapılmış olup boru malzemedeki boyutları 9x6x6 ve 9x6x4 olacak şekilde numuneler kesilmiştir. Boru malzemelerinden hazırlanan numune sayısı 24 adettir.

7.4.2. Metalografik Çalışmalar

Bu çalışmada kullanılan Zn+bitüm kaplanmış , 85/15 Zn/Al+mavi epoksi, oksitli üç farklı malzemeden metalografik çalışmalar için Tuz Püskürtme Korozyon Deneyi öncesi, 240-400-600-1000 ölçülerde zımparalar ile zımparalama ve bu işlemi takiben 6-3-1 μm 'lik elmas pastalar ile parlatma yapılarak numuneler hazırlanmıştır.

Tuz Püskürtme Korozyon deneyi öncesi fazların belirlenmesi, yapıların analizi ve korozyon ürünlerinin tespiti için SEM, EDS ve XRD çalışmaları yapılmıştır.

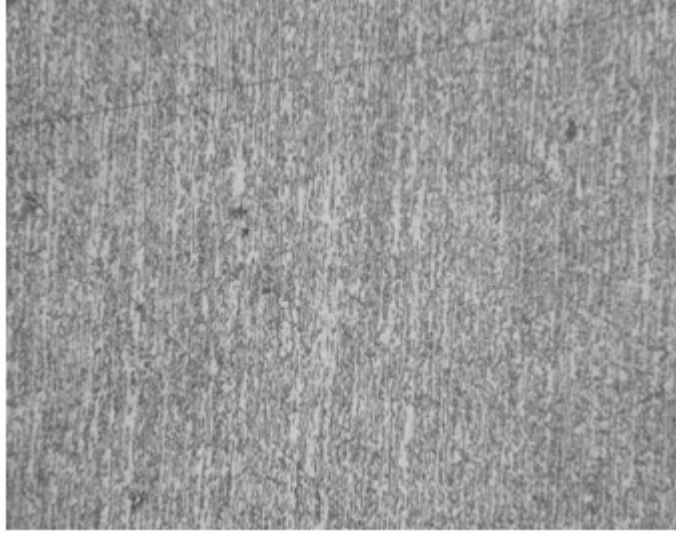
7.4.3. Tuz Püskürtme Korozyon Testi

Bu çalışmada Zn, 85/15 Zn/Al ve yüzey oksidin korozyon dirençlerinin tespiti için Tuz Püskürtme Korozyon Testi uygulanmıştır. Bu testi ASTM B-117 standardına göre uygulanmıştır. Hazırlanan numunelerden Zn kaplama uygulanmış olanların 4 tanesinden üst bitüm kaplama tabakası kaldırılmış, 85/15 Zn/Al kaplama uygulanmış olan numunelerden 6 tanesinden de üst kaplama mavi epoksi polimer kaplama kaldırılmıştır. Böylelikle numuneler 6 tane Zn+bitüm, 4 tane Zn, 6 tane 85/15 Zn/Al+mavi epoksi, 6 tane 85/15 Zn/Al kaplamalı ve 2 tane de yüzey oksit filmi oluşturulmuş numuneler olarak hazırlanmıştır. Bu kaplamaların korozyon dayanımını ölçmek ve kırmızı pas oluşumunu gözlemlemek amacıyla 4 numune hariç, yüzeyler tungstenkarbür uç ile ASTM standardına göre uzunluğu 5 cm ve genişliği 1 mm olacak şekilde çizilmiştir. Daha sonra mevcut 24 numunenin ağırlıkları ölçülmüştür. Bu işlem sonrası yüzey kaplamaları haricindeki kısımlar parafin ile kapatılıp uçlarına açılan delikler ile test kabini içerisindeki tahta tutacalara asılmıştır. Tuz Püskürtme Korozyon Test'i için %99,9'luk NaCl ile iletkenliği 9-11 μS (mikrosiemens) arasında olan deiyonize su içinde %5'lik (ağırlıkça) çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltinin pH'ı ölçülerek 6.9 olarak belirlenmiştir. Test öncesi ölçülen su iletkenliği ve pH değeri ASTM B-117 standardına uygun olmaktadır. Deney koşulları da ASTM B-117 standardına göre, kabin sıcaklığı 35°C ve ısı pompasının sıcaklığı da 48°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney süresi 300 saat olarak belirlenerek 100, 200 ve 300 saatlerde numunelerin kontrolleri yapılmıştır.

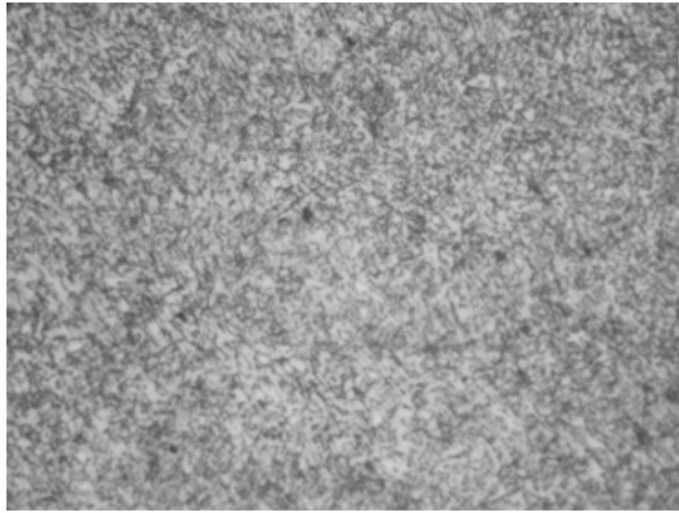
BÖLÜM 8. DENEYSEL SONUÇLAR ve İRDELEMELER

8.1. Zn/Al 85/15 alaşım telinin optik mikroyapı görüntüleri

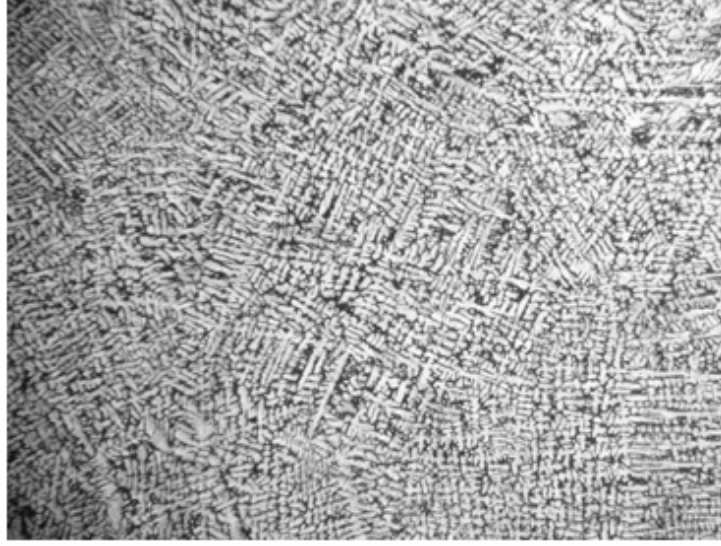
Zn/Al 85/15 kaplama telinin metalografik incelemesi ile elde edilen optik mikroyapı görüntüleri Şekil 8.1–8.2’de verilmiştir. Şekil 8.1’de görüldüğü gibi, tel çekme esnasında uygulanan yüksek orandaki plastik deformasyon nedeniyle mikro yapıdaki dentritlerin bozunuma uğradığı ve deformasyon doğrultusunda uzadığı görülmektedir. Bu alaşım telinin mikro yapısını daha iyi anlayabilmek amacıyla 150 gr. alaşım teli, elektrik dirençli bir fırın içerisinde azot gazı altında 580° C’de ergitilmiş ve kokil bir kalıba dökülmüştür. Kokil kalıba dökülen 85/15 Zn/Al alaşımının optik mikroyapısı Şekil 8.3–8.5’de görülmektedir. Şekil 8.3’den görüldüğü gibi, Zn-%15 Al içeren alaşımın mikro yapısı düzgün ve homojen dağılmış primer β dentritleri ve bunları çevreleyen $\alpha+\eta$ ötektik yapısından oluşmaktadır. Primer β fazı yarı kararlı bir yüksek sıcaklık fazıdır ve 275°C’de ötektoid reaksiyon ile $\alpha+\eta$ fazlarına dönüşmektedir.



Şekil 8.1. Zn/Al 85/15 kaplama tel malzemesinin çekme yönündeki mikroyapısı (100x)



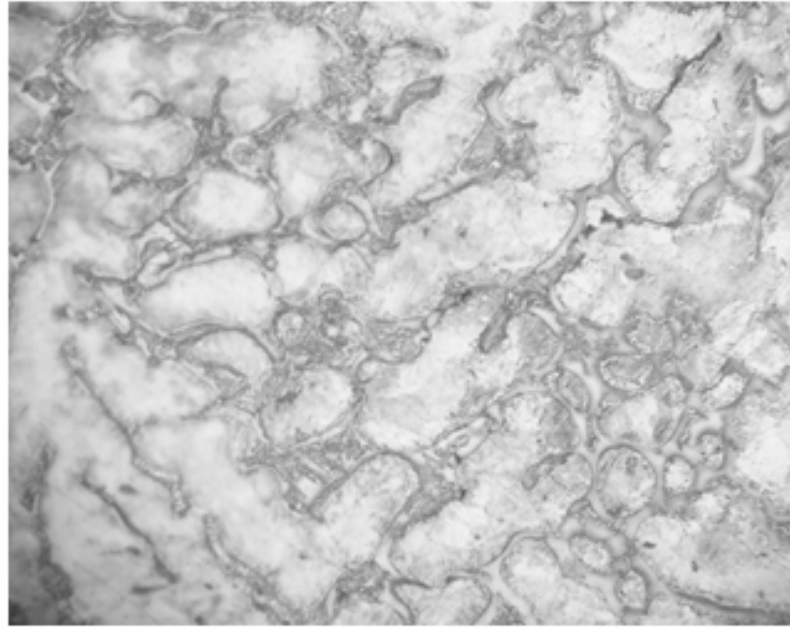
Şekil 8.2. Zn/Al 85/15 kaplama tel malzemesinin kesit yüzeyindeki mikroyapı görüntüsü (200x)



Şekil 8.3. Zn/Al 85/15 döküm yapısının mikroyapı görüntüsü (50x)



Şekil 8.4. Zn/Al 85/15 döküm yapısının yüksek büyütmedeki mikroyapısı (200x)



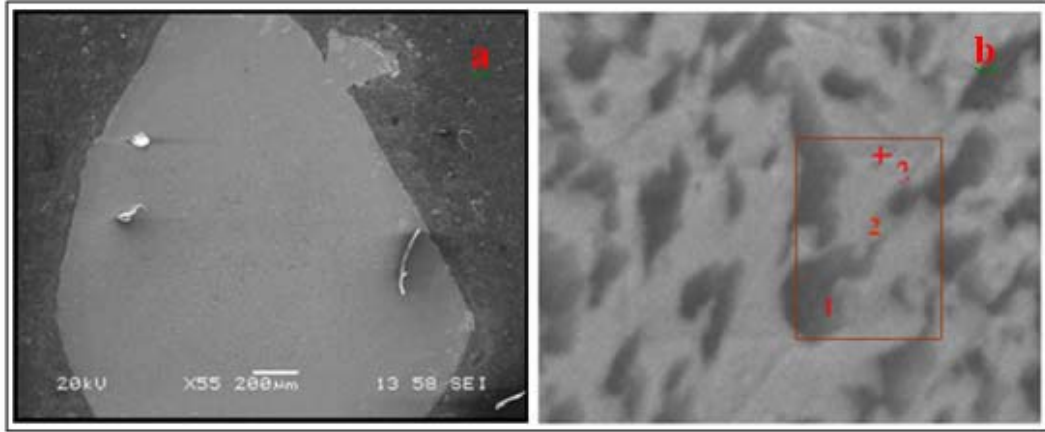
Şekil 8.5. Zn/Al 85/15 döküm yapısının yüksek büyütmedeki mikroyapısı (500x)

85/15 Zn/Al kaplama yapısının karakterizasyonunu yaparak literatürde söylendiği gibi üstün korozyon performansının belirlenmesi amacıyla ilk yapılan 85/15 kaplama telinin mikroyapısal incelemesinde tanelerin soğuk deformasyon nedeniyle ince ve çekme yönüne doğru yönelmiş olduğu görülmektedir. 85/15 (ağırlıkça) oranında bu malzemenin döküm yapısının ve katılaşma mekanizmasının anlaşılması için tekrar telden alınan malzemenin ergitilip dökülmesiyle elde edilen katılaşma sonrası mikroyapı fotoğraflarında daha büyük dendritik taneler ve ötektik yapı daha belirgin bir biçimde görülmektedir.

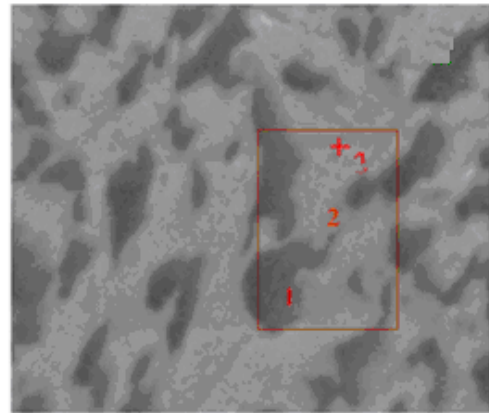
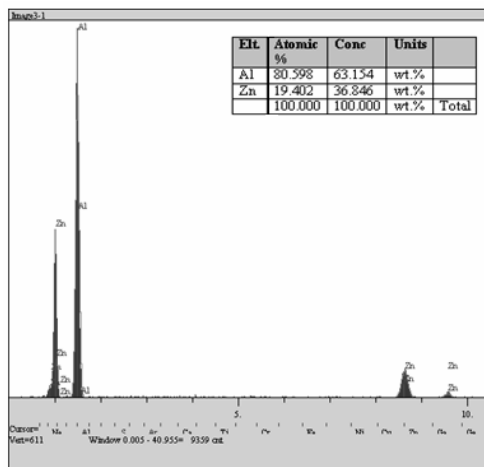
8.2. Zn/Al 85/15 alaşım kaplama teli ile ilgili SEM çalışmaları

Şekil 8.6 'da Zn/Al 85/15 alaşım telinden elde edilen SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 8.6. a'da görüldüğü gibi kaplama telinde homojen olmayan deformasyondan kaynaklanan geometrik şekil farklılığı dikkati çekmektedir. Yüksek büyütmede yapılan SEM incelemelerinden elde edilen görüntü (Şekil 8.6.b) göz önüne alındığında mikroyapıda iki farklı fazın olduğu belirlenmektedir. Bu bölgelerden alınan EDS analiz sonuçları (Şekil 8.7–8.9) dikkatli bir şekilde

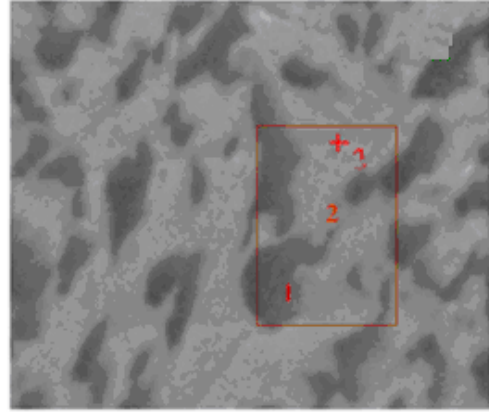
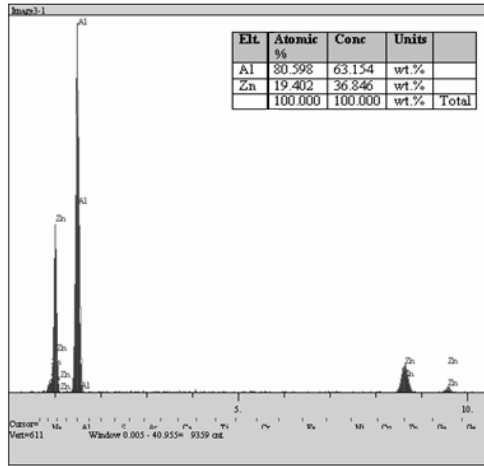
incelendiğinde koyu renkte görünen ve yaklaşık %65 oranında Al içeren ve içerisinde yüksek oranda Zn çözebilen β fazı olduğu, bu fazı çevreleyen bölgelerin ise çok ince ötektik yapısından oluştuğu söylenebilir. Çünkü buradan alınan EDS analizi sonucu bu bölgenin %93 Zn -%7Al dan oluştuğu belirlenmiştir. Şekil 8.6 b'.de kare içerisine alınan bölgeden elde edilen EDS analiz sonucu ise, %75 Zn ve %25 Al'dan oluşmaktadır. Bu analiz sonucunun tel bileşiminden farklı olması beklenen bir durumdur. Çünkü kare içerisinde Al'ca zengin β dentritleri bulunmaktadır.



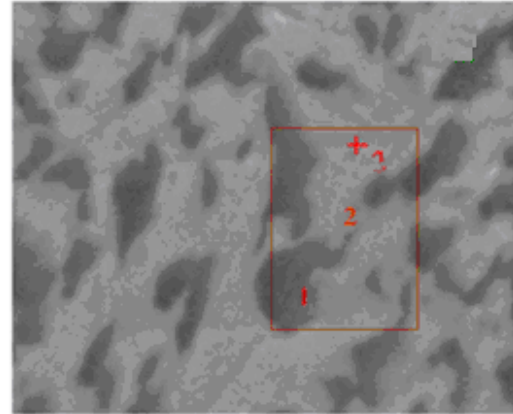
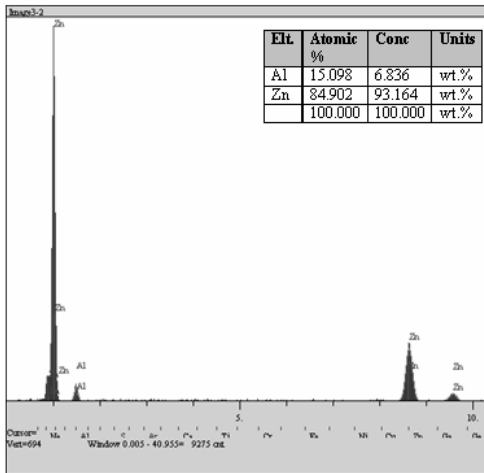
Şekil 8.6. a) Zn/Al 85/15 kaplama telinin kesit yüzeyden SEM görüntüsü, b) . Zn/Al 85/15 alaşım telinin kesit yüzeyden SEM görüntüsü ve EDS analizinin yapıldığı 3 bölge (1 nolu bölge, 2 nolu bölge, 3 nolu bölge)



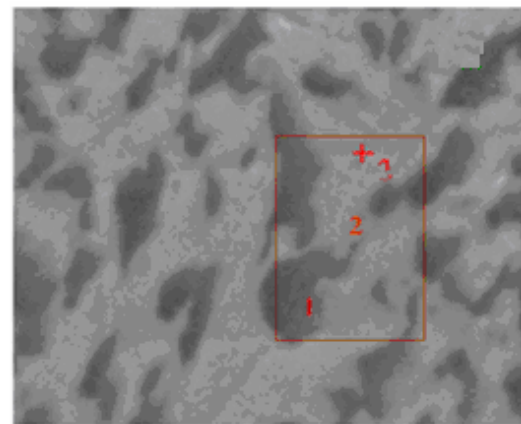
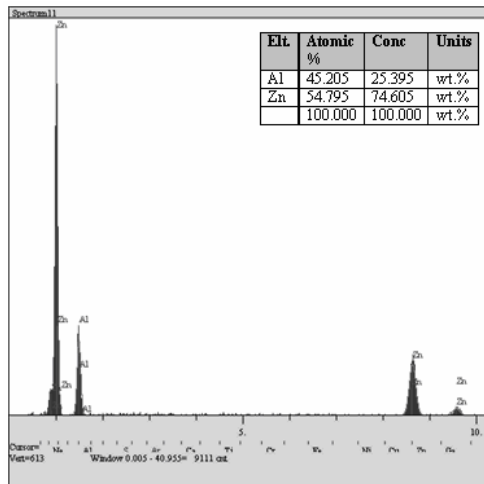
Şekil.8.7. 85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 1 nolu bölgenin EDS analizi



Şekil.8.8. 85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 1 nolu bölgenin EDS analizi

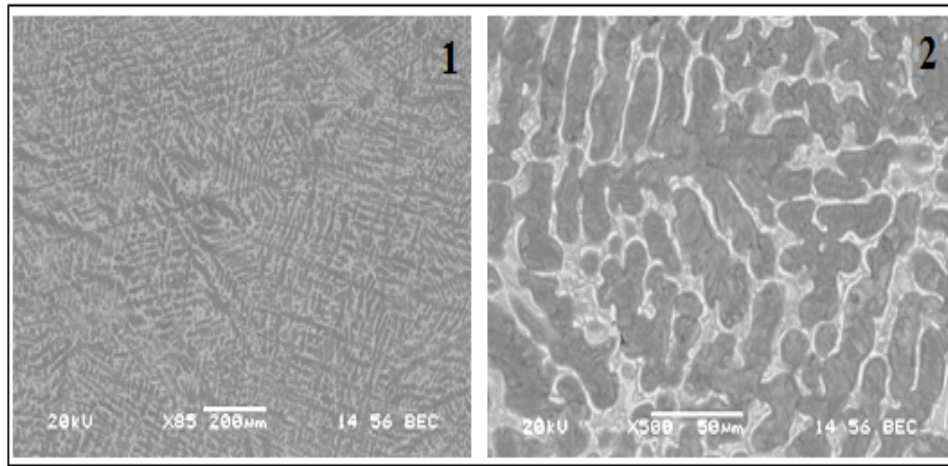


Şekil. 8.9. 85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 2 nolu bölgenin EDS analizi



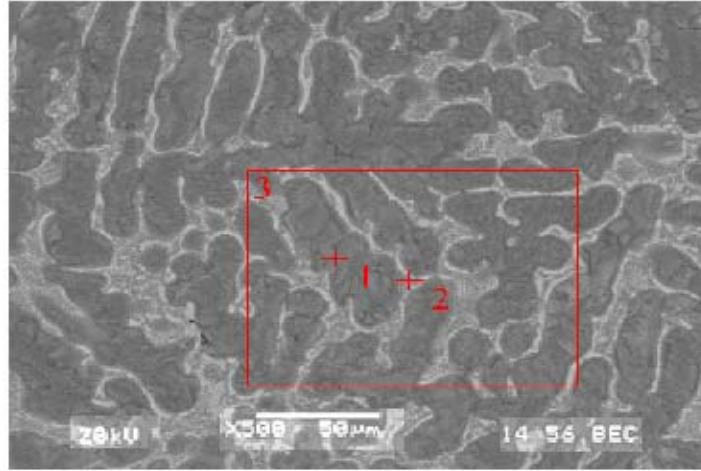
Şekil.8.10. 85/15 Zn/Al telinin kesit yüzeyindeki 3 nolu bölgenin EDS analizi

Şekil 8.11’de döküm yöntemi ile üretilen alaşımın SEM backscatter görüntüsü ve 1-2 nolu noktadan ve 3 nolu bölgeden alınan EDS analiz sonucu verilmiştir (Şekil 8.12.). SEM fotoğrafı ve EDS analizinde görüldüğü gibi Zn/Al 85/15 alaşımının döküm halindeki mikroyapısı primer β dendritleri ve bunları çevreleyen $\alpha+\eta$ ötektik yapısından meydana gelmektedir. β fazı, YMK kristal sisteminde alüminyumca zengin bir fazdır ve içerisinde yüksek oranda Zn çözebilmektedir. Ötektik bölge ise Al zengin α ve Zn ca zengin η fazlarından oluşmaktadır[43].

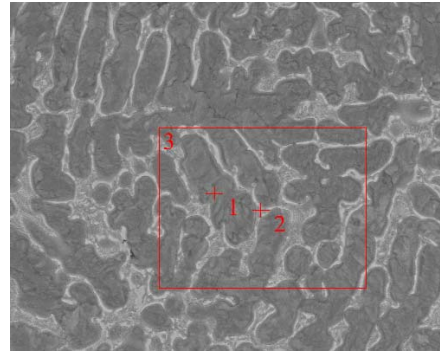
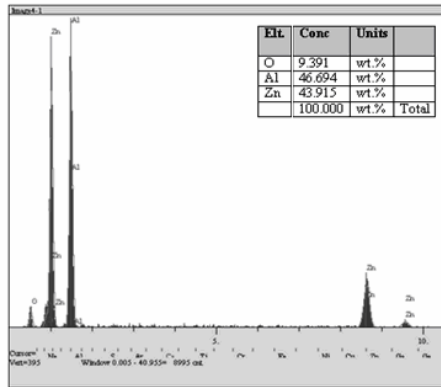


Şekil 8.11. Zn/Al 85/15 döküm numunesinin SEM backscatter görüntüleri (1,2)

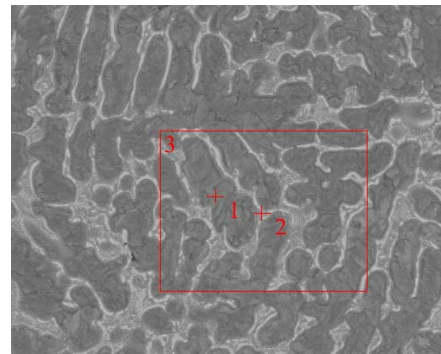
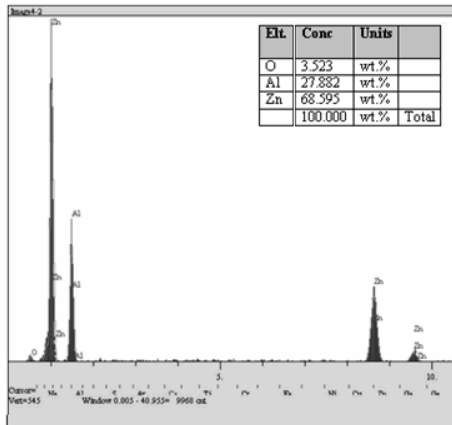
Şekil 8.11. ‘de verilen Zn -%15Al döküm malzemedan elde edilen SEM backscatter görüntüleri ile yukarıda açıklanan tel mikroyapısı karşılaştırıldığında dikkati çeken en önemli nokta, normal döküm yapısında dengeli katılaşmadan dolayı primer β dendritlerinin düzenli bir şekilde büyüdükleri ve mikroyapıda homojen bir şekilde dağıldıklarıdır. Döküm yapısında gözlenen fazlardan alınan EDS analiz değerleri de tel yapısından alınan değerlerle benzerlik arz etmektedir (Şekil 8.13.–8.15.). Fakat döküm yapısındaki β fazı içerisindeki çözünen Zn miktarı tel yapısında belirlenenden daha yüksektir. Ayrıca döküm esnasında atmosfer kontrolünün çok iyi yapılamaması nedeniyle oksitlenmeden kaynaklanan oksijen piklerine de rastlanılmıştır.



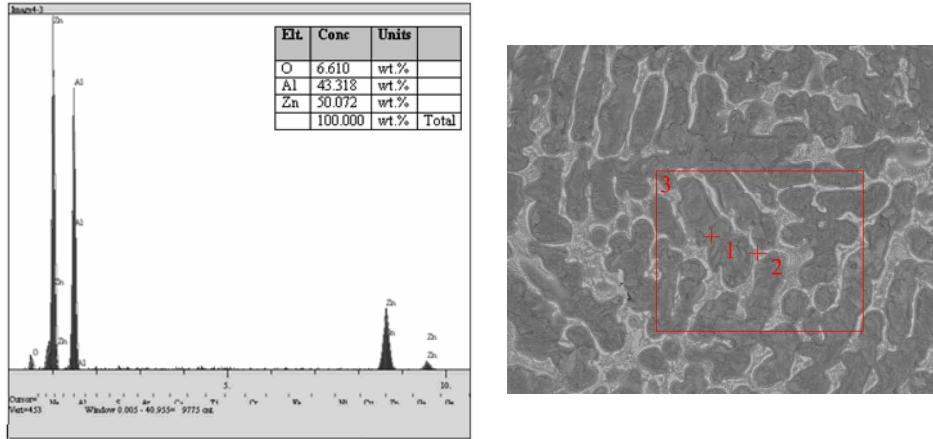
Şekil 8.12. Zn/Al 85/15 döküm numunesinin SEM fotoğrafı ve EDS analizinin alındığı 3 bölge



Şekil.8.13. 85/15 Zn/Al döküm yapısının 1nolu bölgesinden alınan EDS analizi



Şekil.8.14. 85/15 Zn/Al döküm yapısının 2nolu bölgesinden alınan EDS analizi

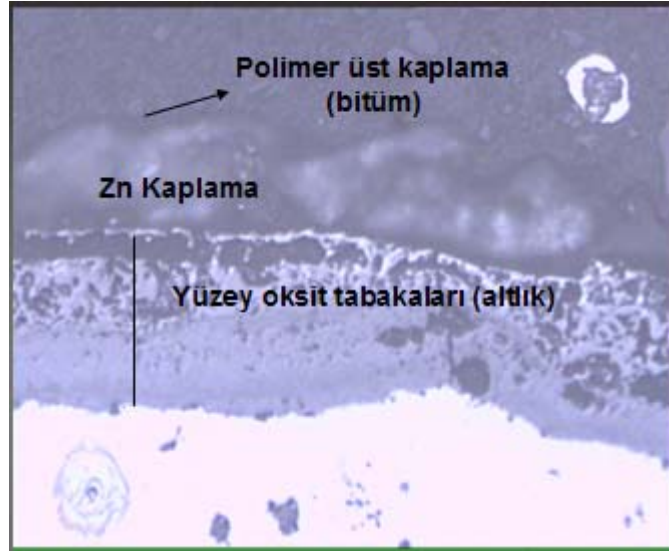


Şekil 8.15. 85/15 Zn/Al döküm yapısının 3nolu bölgesinden alınan EDS analizi

8.3. Zn Kaplamalı Numunenin Optik Mikroyapı Görüntüsü

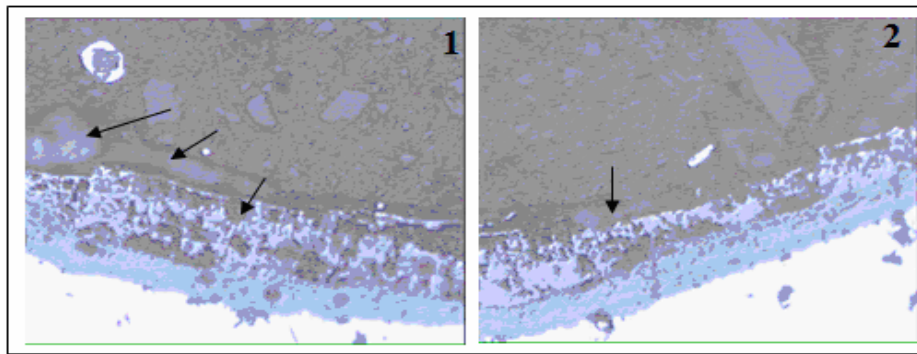
Ticari bir firma tarafından üretilmiş ve piyasadan temin edilmiş Zn+bitüm kaplamalı düktül demir boru malzemesinden alınan numunenin optik mikroyapı incelemesi yapılmıştır (Şekil 8.16–8.19). Bu inceleme sonucunda, Şekil 8.15’de görüldüğü gibi numunenin kesit yüzeyinde en üst bölgede okla gösterilen ve siyah bir hat şeklinde yüzeyi saran 5 µm. lik polimer üst kaplama olarak bitüm bulunmaktadır. Bu tabakanın hemen altında elektrik ark spreynin Zn kaplama yapısı görülmektedir. Zn, altlık malzeme olan düktül demire göre daha yumuşak bir metal olduğu için metalografik işlemler sırasında daha fazla aşındığından ötürü tam belirgin olarak görülmemiştir. Boru numunesi kesit yapısındaki Zn kaplama yapısı incelenirken kaplama kalınlığının değiştiği, bazı bölgelerde 25 µm’a kadar çıktığı bazı bölgelerde de 7 µm ‘ye kadar düştüğü Şekil 8.17 ve Şekil 8.18’ deki mikroyapılardan görülmektedir. Fakat ortalama olarak 18 µm Zn kaplama kalınlığı bulunduğu yapılan ölçümlerin sonucunda söylenebilir. Böylelikle ticari olarak üretilmiş olan bu boru malzemesindeki Zn kaplamanın incelenen numune esas alındığında yüzeye homojen uygulanmadığı anlaşılmıştır. Zn kaplamanın hemen altında bulunan koyu renkli bölgeler ise yaklaşık olarak Zn kaplamalı boru için ortalama 70 µm olan ve renk farklılıkları bulunan tabakalar görülmektedir. Bu tabakalarda daha düktül demirin üretim prosesi içinde yer alan ve döküm sonrası malzemenin kırılabilirliğinin alınması ve yapısındaki sert fazların giderilmesi için uygulanan ısı işlem sonrası oluşmuş yüzey oksit tabakalarıdır. Bu oksit tabakalarından özellikle en üst bölgede bulunan

tabakanın özellikle yoğun poroziteye sahip ve diğer tabakalara nazaran kalınlığının daha fazla olduğu gözlenmektedir. Düktil demir boru santrifüj yöntemi ile üretilip daha sonrasında 900 ila 920°C arasında. ısıtılma tabi tutulduğu ve bu sıcaklıkta oksidasyonun meydana geldiği için yüzey oksitlerin gözlenmesi doğal bir sonuçtur[44].

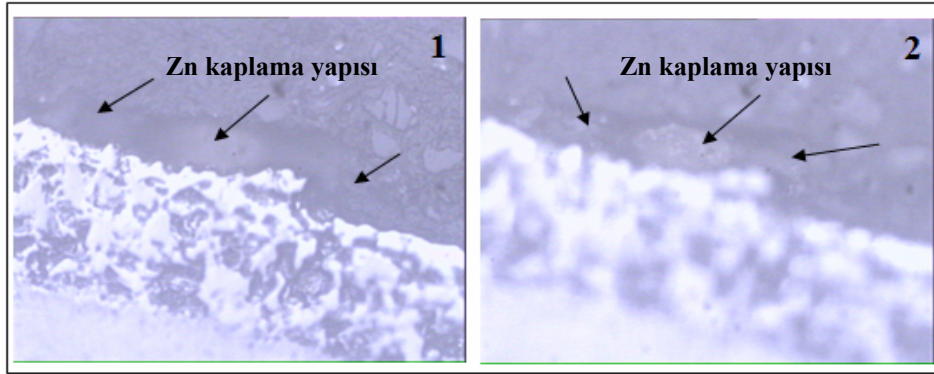


Şekil 8.16. Düktil demir boru malzemesindeki kaplama yapıları (200x)

Şekil 8.17–8.19’de Zn kaplama yapısı oklarla gösterilmektedir. Zn kaplama düktil demire göre daha yumuşak olduğu için aşınma farkından dolayı optik mikroskopta net belli olmamaktadır. Kaplama yapısının homojen olmadığı bu görüntülerden de belli olmaktadır.

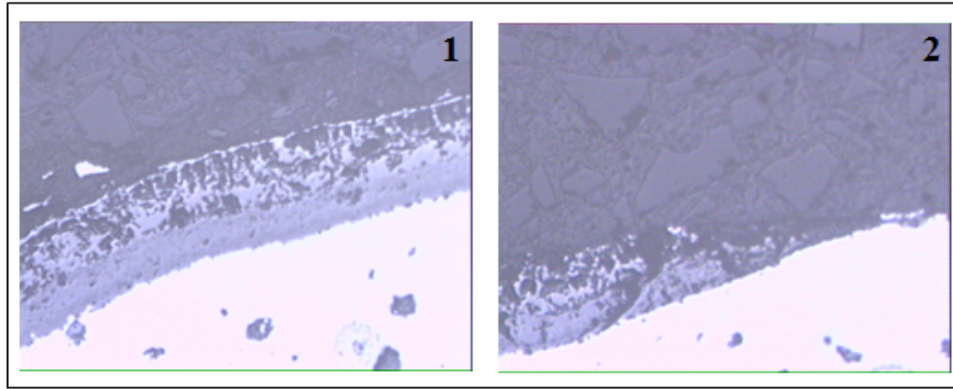


Şekil 8.17. Düktil demir malzemesi kesit yüzeyindeki Zn kaplama yapıları; 1,2,3,4 (200x)



Şekil 8.18. Düktil demir malzemesi kesit yüzeyindeki Zn kaplama yapıları; 1,2 (500x)

Zn kaplamalı numunelerde Zn kaplama yapısı optik mikroskopta incelenirken bazı bölgelerde Zn kaplama yapısına rastlanılmamıştır. Buda Şekil 8.19’de verilmektedir.



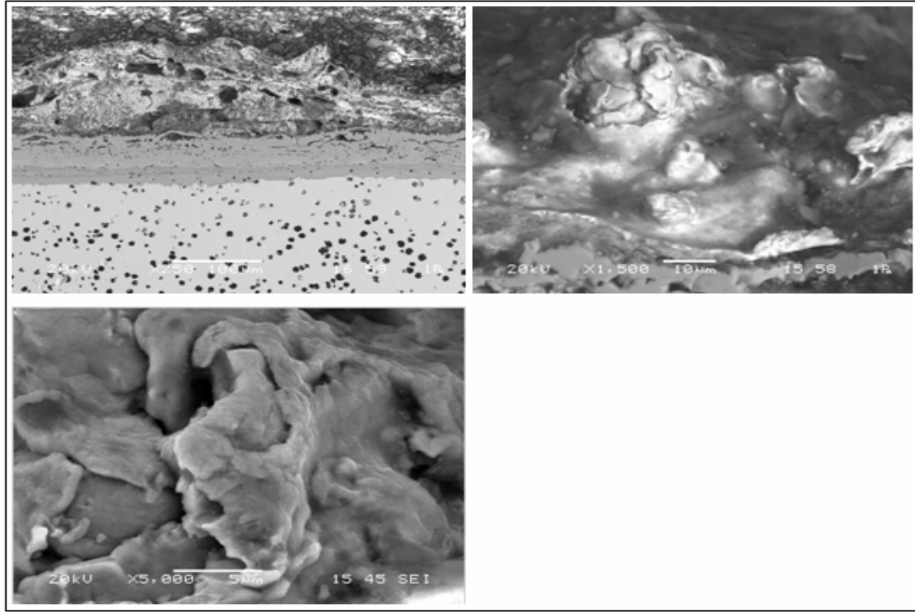
Şekil 8.19. Düktil demir boru numunesinde Zn kaplama bulunmayan kesit yüzey görüntüleri; 1,2, (200x)

8.4. Zn kaplamalı numunesinin SEM görüntüleri

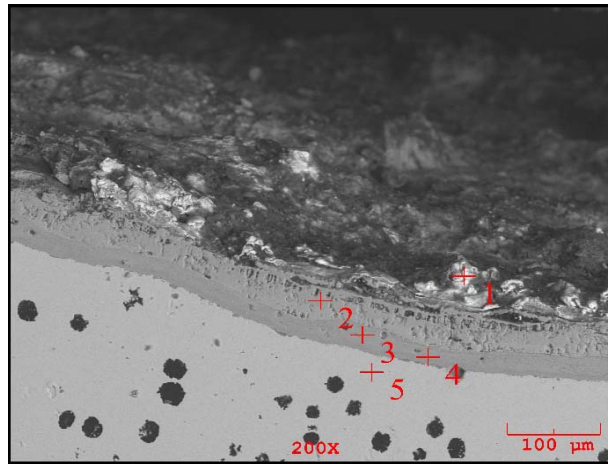
Korozyon davranışı incelenmesi planlanan numunenin SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM çalışması ile elde edilen görüntüler Şekil 8.20-8.21 ve Şekil 8.26’de verilmektedir. Zn kaplamayı ve kaplama-altlık arayüzeyini karakterize etmek amacıyla Şekil 8.21’de görüldüğü gibi 4 bölgeden alınan EDS analiz sonuçları Şekil 8.22-8.25’de verilmektedir. Ayrıca kaplamanın yapısının belirlenebilmesi için

de Şekil 8.26’de görüldüğü üzere 4 noktadan alınan EDS analiz sonuçları Şekil 8.26-8.28’de verilmektedir.

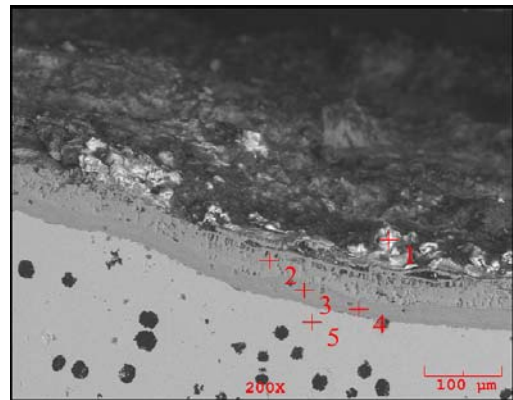
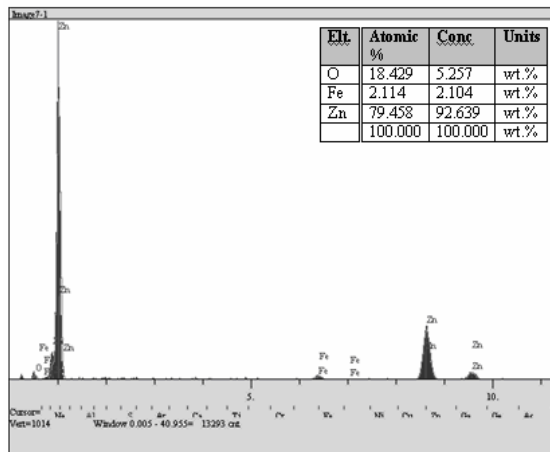
Kaplama bölgesinden alınan EDS analizi (1 nolu bölge-Şekil 8.21) yüksek şiddette Zn piki vermekte ve az miktarda oksijen ile Fe piki vermektedir. Oksijen, boru numunesinin Zn kaplanmasında kullanılan proses olan elektrik ark püskürtme prosesinden kaynaklı olabileceği tahmin edilmekle beraber oksijen ile beraber pik veren Fe’in, analizden kaynaklı bir durum olabileceği ve yapıda bulunmadığı tahmin edilmektedir [35]. Zn kaplama yapısı küçük bir kalınlığa sahip olduğundan sadece 1 nolu bölgenin analizini almayıp aynı zamanda altlığa yakın bölgelerinde analizinin alındığı öngörülmektedir. Yapıda Fe olmadığı da Şekil 8.25’de görülen noktalardan alınan EDS sonuçlarında Fe’in varlığına rastlanmayış bu öngörüğü kuvvetlendirmektedir. Oksit bölgesinden alınan 2 nolu (Şekil 8.22) EDS analizinde sadece Fe ile O pik vermekle beraber O pikinin şiddeti oldukça yüksektir. Yine oksit bölgesinden ilk bölgeye göre farklı renk kontrastına sahip olan 3 ve 4 nolu bölgeden (Şekil 8.22-8.23) alınan EDS analizinde, yapıda Fe, O ve diğer 2 nolu (Şekil 8.22) analizden farklı olarak Si’da pik vermiştir. Si, düktil demir yapı elementi olduğundan pik vermesi olağandır. Bu alınan analizlerin 2 nolu analize göre farkı O pikinin şiddetidir. 2 nolu analizde yüksek şiddetli pik veren O, 3 ve 4 nolu analizlerdeki pik şiddeti düşmüştür. Bunu durum ısıtma işlemi sırasında oksijenin dış yüzeye daha fazla difüze olduğu ve iç kısımlara doğru inildikçe difüzyonun azalmasıyla daha az oksijen bulunduğu olarak düşünülebilir.



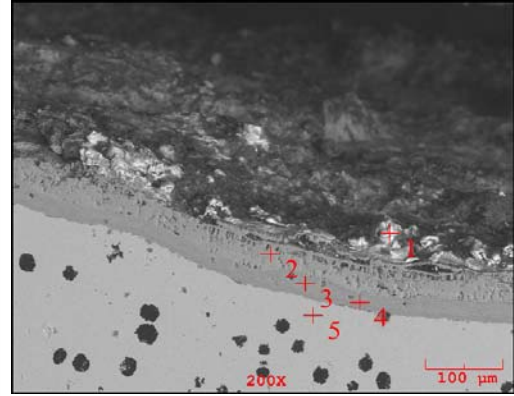
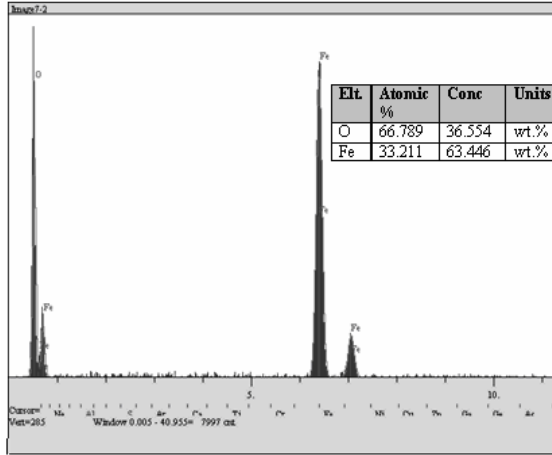
Şekil 8.20. Zn kaplama ve çinko kaplama yapısı



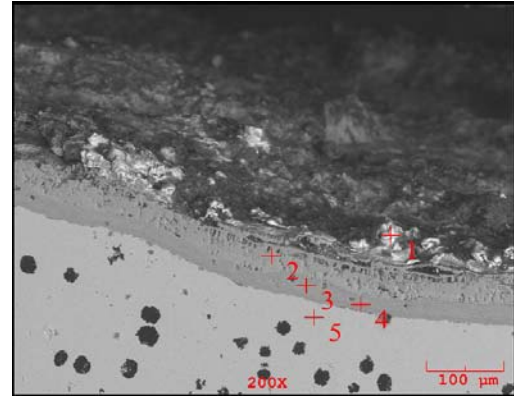
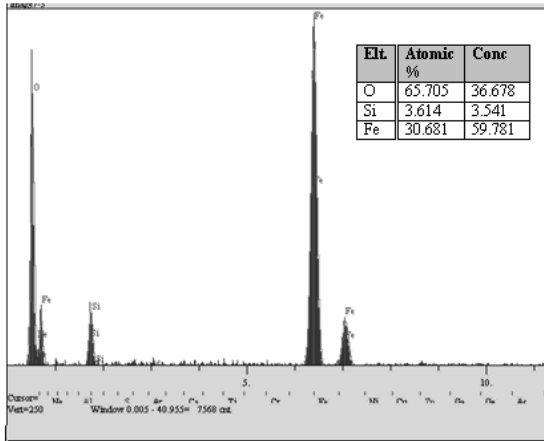
Şekil 8.21. Zn kaplamalı düktil demir boru malzemesindeki Zn kaplama yapısı ve kaplama-altlık ara yüzey EDS analizi



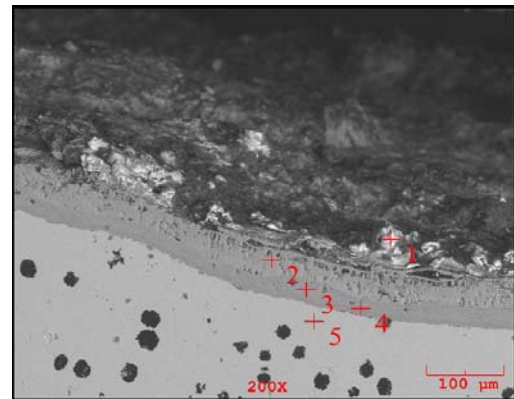
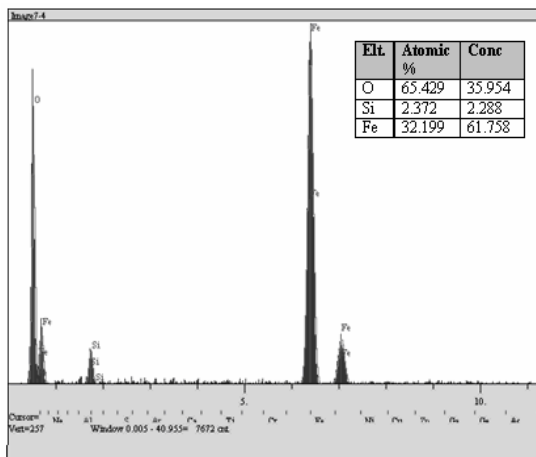
Şekil 8.22. Zn kaplamalı numunenin 1 nolu bölgesinden alınan EDS analizi



Şekil 8.23. Zn kaplamalı numunenin 2 nolu bölgesinden alınan EDS analizi



Şekil 8.24. Zn kaplamalı numunenin 3 nolu bölgesinden alınan EDS analizi

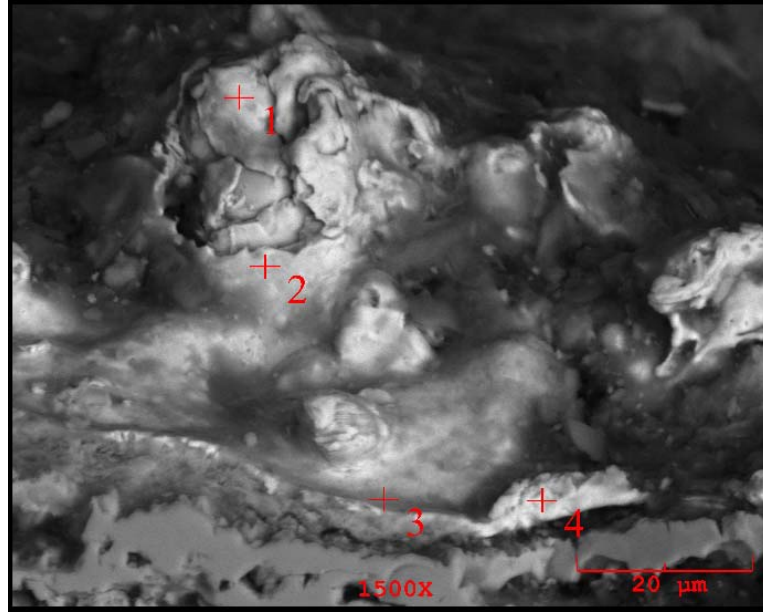


Şekil 8.25. Zn kaplamalı numunenin 4 nolu bölgesinden alınan EDS analizi

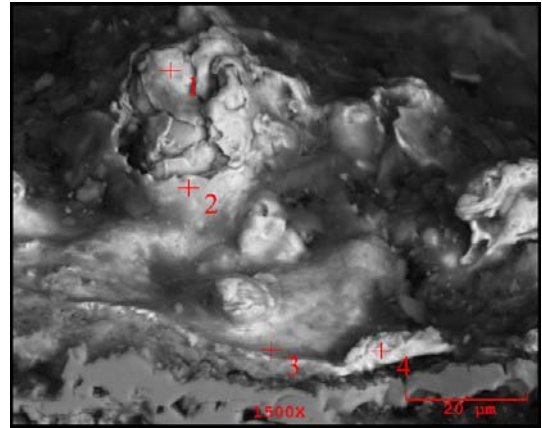
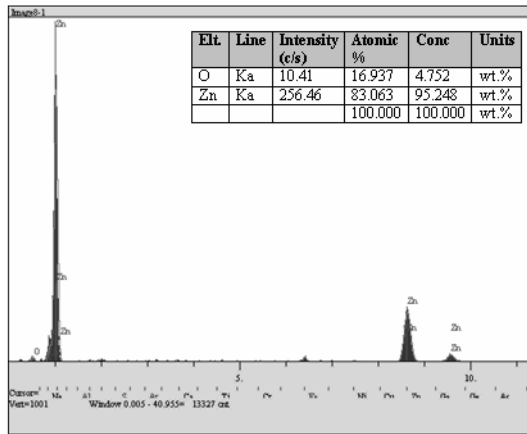
Şekil 8.26'daki SEM görüntüsü Zn kaplama bölgesinden alınmış olup literatürlerde belirtilen elektrik ark püskürtme yapısı ile benzerlik göstermektedir. Kaplamanın ergimiş damlacıkların düktil demir yüzeyine çarpıp yayılarak ve böylece katılaşıp oluştuğu görülebilmektedir. Yayılıp katılmış olan bu damlacıkların birbiri ile kaynaştığı görülmektedir. Fakat kaplama yapısında bu damlacıkların kaynaştığı yerlerde önemli derece boşluklu olduğu görülmektedir. SEM görüntü ölçüsü referans alınarak ergimiş damlacıkların uzunluğunu yaklaşık 100 µm, genişliklerinin de yaklaşık 10 ila 20 µm olduğu söylenebilmektedir. Bu ölçülerde termal püskürtme kaplamaların tipik durumudur[45].

1 nolu bölgeden alınan EDS analizinde daha önce kaplama-arayüzey incelemesindeki kaplama bölgesinden alınan ve Şekil 8.22'de verilen EDS analizindeki gibi Fe'in varlığına rastlanılmamıştır. Kaplama saf Zn kaplama olduğundan dolayı sadece Zn ve kaplama prosesinden kaynaklanan O pik vermekte olduğu görülmektedir (Şekil 8.27). Elektrik ark püskürtme prosesinde atomize gaz olarak hava kullanıldığında kaplama yapısında oksitler bulunabilmektedir[45–46].

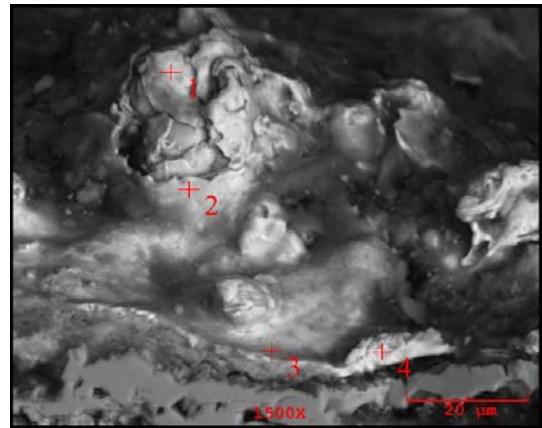
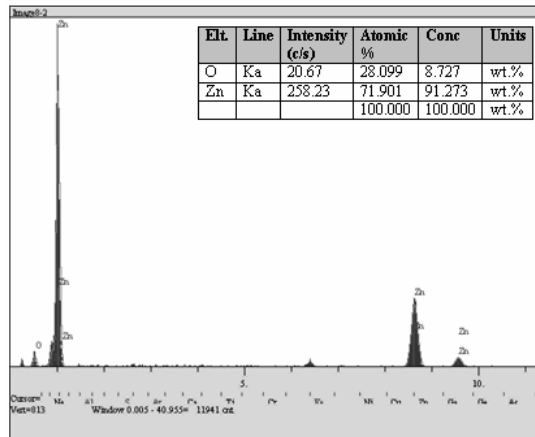
Şekil 8.28 ve Şekil 8.29'da verilen 2 ve 3 nolu EDS analizlerinde de sadece Zn ve O yapıda mevcut olup aralarındaki tek fark O miktarıdır. SEM çalışmalarında yüksek atom numaralı bölgeler beyaz, düşük atom numaralı bölgeler daha koyu görüldüğünden[45] yola çıkarak altlık yüzeyine doğru gelindiğinde Zn'nun oksitlendiği ve daha koyu bölgeler oluşturduğu 2 ve 3 nolu EDS analiz sonuçlarından tespit edilmiştir.



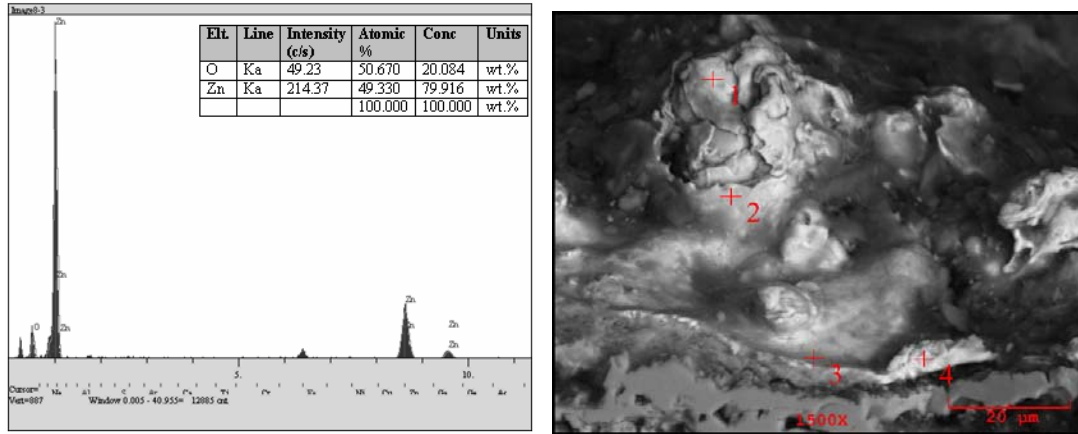
Şekil. 8.26. Zn kaplama kesit yapısının yüksek büyütmedeki görüntüsü ve EDS analizinin alındığı 3 bölge



Şekil 8.27. Zn kaplama yapısının 1 nolu bölgesindeki EDS analizi



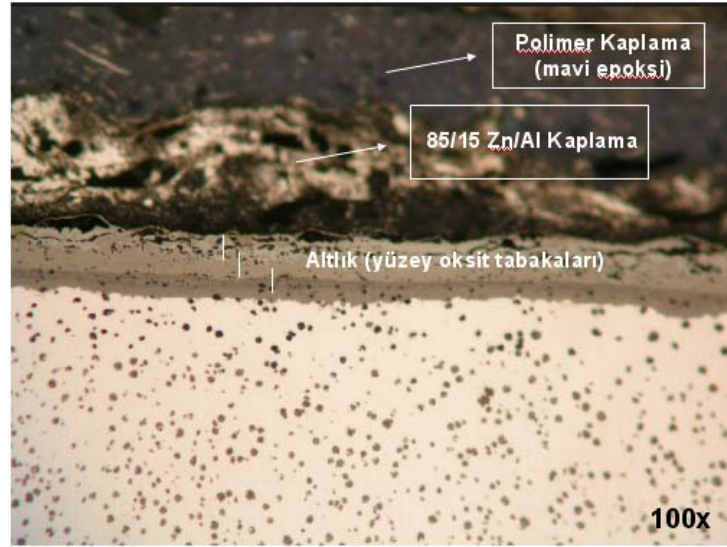
Şekil 8.28. Zn kaplama yapısının 2 nolu bölgesindeki EDS analizi



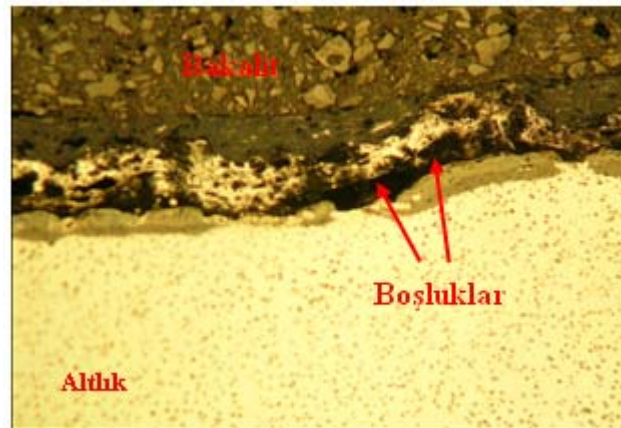
Şekil 8.29. Zn kaplama yapısının 3 nolu bölgesindeki EDS analizi

8.5. Zn/Al 85/15 Kaplama Optik Mikroyapı Görüntüleri

Bu çalışmada tuz püskürtme korozyon testinde deney numunesi olarak kullanılan bir diğer numuneler de 85/15 Zn/Al+polimer (mavi epoksi) kaplamalı boru malzemesindedir. 85/15 Zn/Al+polimer (bitüm) kaplamalı boru malzemesindeki kaplama yapılarının belirlenebilmesi ve karakterize edilebilmesi amaçlı optik mikroskop çalışması yapılmıştır. Kaplama yapıları optik mikroskop fotoğraflarında belirgin bir şekilde görülmektedir. Kaplama kalınlığı yaklaşık 73 μm olan en üst tabaka polimer (mavi epoksi) kaplamadır ve bu yapının ardından yüzeye Zn kaplamaya göre daha homojen yayılmış olan yaklaşık kalınlığı ortalama 118 μm civarında 85/15 Zn/Al kaplama tabakası gelmektedir. 85/15 Zn/Al kaplama yapısının hemen altında arayüzeyi homojen bir şekilde sarmış Zn kaplamalı boru numunesinde de mevcut olan ısıl işlem esnasında oluşmuş yüzey oksit tabakaları gelmektedir. Altlık malzeme olan düktil demir altlık malzemesinin yapısal özelliği olan grafit küreleri de net biçimde görülmektedir (Şekil 8.30)



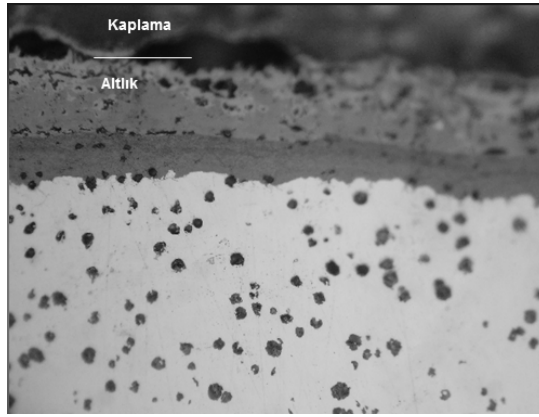
Şekil 8.30. Düktil demir boru malzemesindeki 85/15 Zn/Al kaplama yapısı (100x)



Şekil 8.31. Düktil demir boru malzemesindeki 85/15 Zn/Al kaplama yapısı (100x)

Kaplama-altlık ara yüzey boyunca yapılan optik mikroskop incelemesinde kaplama-altlık arayüzeyinde boşlukların olduğu görülmektedir (Şekil 8.31). Zn ve Al oksijene afiniteleri yüksek elementlerdir. Elektrik ark püskürtme kaplama prosesinde atomize gaz olarak hava kullanıldığından oksijene afinitesi yüksek olan bu malzemelerin kaplanması sırasında oksit oluşturmaktadır. Bu durumda homojen olmayan bir kaplama yapısı ve düşük yapışma mukavemetine sahip kaplamalar elde edilmiş olur [35]. Özellikle tel alaşım bileşimlerinden biri olan ergimiş bulunan Al 1-2 milisaniyede oksitlenerek Al_2O_3 'ü oluşturur[46]. Bu özelliğinden dolayı Zn/Al 85/15 kaplamalara %10 Al_2O_3 (8–10 μm) disperse edilmiş metal matriksli kompozit

(MMK) olarak tanımlanırlar[25]. Bu oksitlenme sonucu damlacıkların karakteristikleri olan yayılma, katılma ve ıslatma gibi özellikleri değişir. Bundan dolayı bağ mukavemeti zayıf olabilmektedir. Kaplanacak düktil demir yüzeyi daha önce var olan ısı işlem sonrası oluşan oksitli yüzey bulunuyor olması ve ergimiş damlacığın oksitlenerek yüzey ıslatma davranışının düşmesi nedeni ile ara yüzeyde kaplamanın tam olarak bağ oluşturmadığı tespit edilmiştir. Bunun tahminin dışında da bu boşluklar metalografik işlemler sırasında da oluşabileceği düşünülmektedir. 85/15 Zn/Al kaplama yapısını incelenirken görülen ara yüzey boşlukları Şekil 8.32–8.32’de verilmektedir.



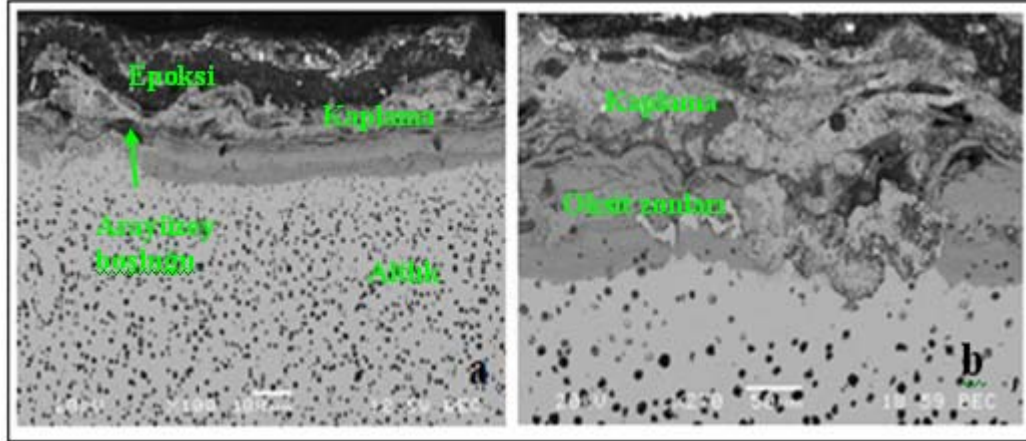
Şekil 8.32. Kaplama-altlık arayüzeyi yüksek büyütmedeki görüntüsü (200x)

8.6. Zn/Al 85/15 kaplamalı numunenin SEM görüntüleri

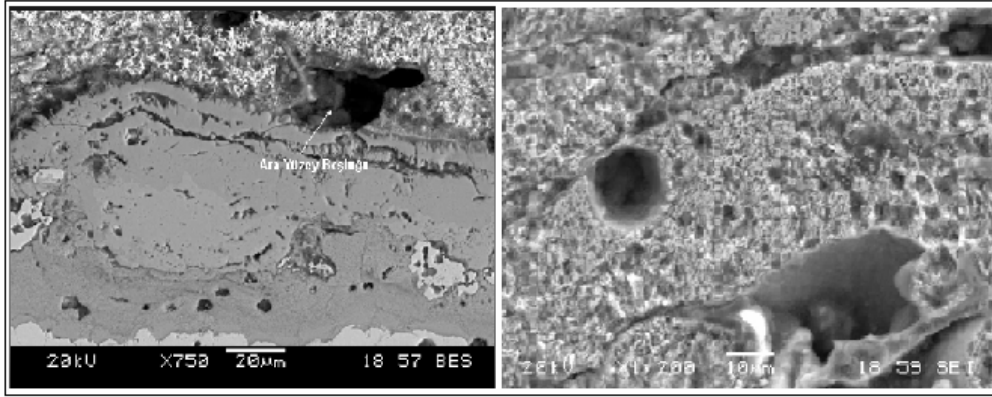
Zn/Al (85/15) kaplamanın üstün korozyon performansının belirlenmesi için Zn/Al (85/15) kaplamalı numuneye ilave olarak SEM çalışması ve EDS analizi yapılmıştır ve bu sonuçlar Zn kaplama yapısı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 8.33’de kaplama-altlık arayüzeyinin SEM backscatter görüntüleri Şekil 8.34’de de arayüzey ve kaplama içindeki boşlukların görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde altlık yapısı ve yüzey oksit oluşumları açıkça görülmekte olup bu oksit yapılarının hemen üstünde Zn/Al 85/15 kaplama yapısı bulunmaktadır. Kaplama yapısı yüzeyin morfolojisini almış ve termal püskürtme kaplamaların karakteristik yapısı olan lamelar biçimde yüzeyde yayıldığı Şekil 8.33–8.34’de görülmektedir. Bu yapının hemen üstünde de polimer üst kaplama olan mavi epoksi bulunmaktadır. Şekil 8.33 b’ de yüksek büyütmedeki SEM fotoğrafında kaplama ile altlık yüzeyi arasında belirgin bir biçimde boşluk

olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.34’ deki kaplama yapısı ve kaplama-altlık ara yüzeyinde bulunan boşlular açık bir şekilde görülmektedir.

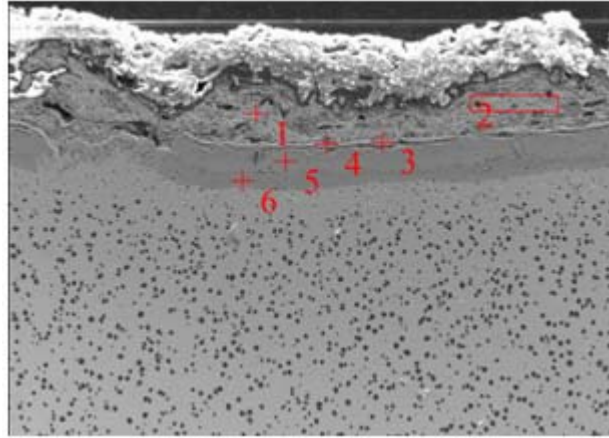
Kaplama ve altlık yapısını belirlemek amacı ile 6 noktadan EDS analizi alınıp (Şekil 8.35) analiz sonuçları Şekil 8.36–8.37 arasında verilmektedir. 1 nolu bölgenin analiz sonucunda Şekil 7.36’da görüldüğü üzere sadece yapıda kaplam tel yapı bileşenleri olan Zn ve Al ile birlikte kaplama prosesinden kaynaklı O pik vermiştir. 2 nolu bölgenin yine Zn, Al ve O pik vermekle beraber O pikinin biraz yükseldiği görülmektedir. Bu analiz sonucundan da bu bölgede oksit oluşumunun 1 nolu bölgeye göre daha fazla olduğu tahmin edilebilir. Ara yüzeyden alınan 3 nolu EDS analiz sonucunda (Şekil 8.38) Zn ve Al pikleri oldukça düşmekte bunun tersi olarak O piki aşırı yükselmekte ve Fe’de bu bölgede pik vermektedir. Böylece arayüzeyde oksit yoğunluğunun fazla olduğu ve analiz alanının yüzey oksit tabakalarına da ulaştığı söylenebilir. 5 ve 6 nolu analiz sonucunda da Zn kaplama yapısının benzeri olarak Fe, O ve duktül demir yapı bileşeni olan Si pik vermektedir (Şekil 8.40–8.41).



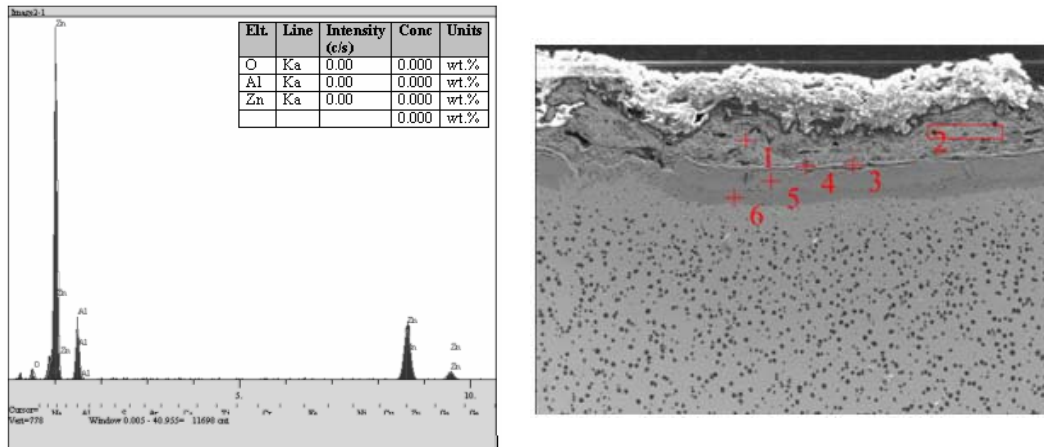
Şekil 8.33. Duktül demir boru malzemesi üzerindeki Zn/Al 85/15 kaplamanın SEM backscatter fotoğrafları a) genel görüntü, b) detay görüntü



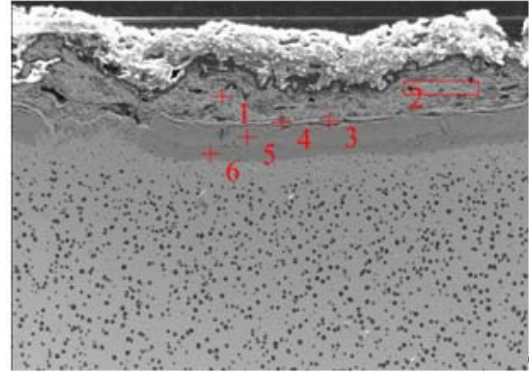
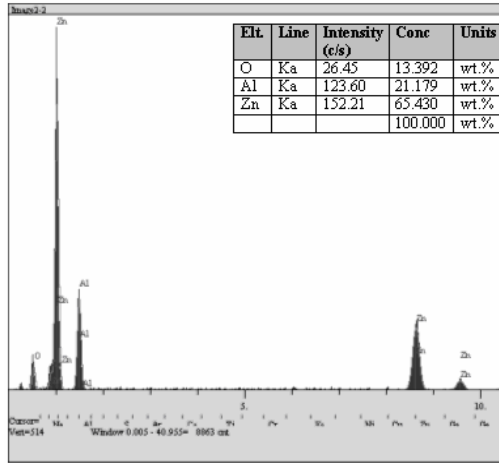
Şekil 8.34 Zn/Al 85/15 kaplamada ve kaplama-altlık ara yüzündeki boşlukların görüntüleri



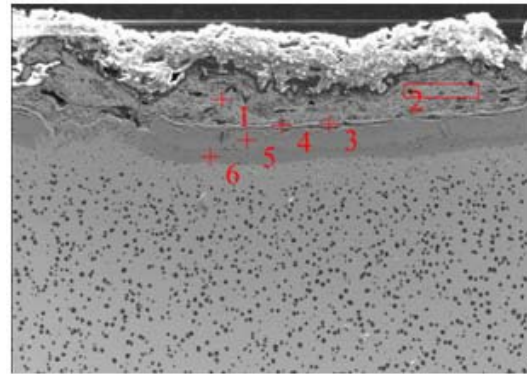
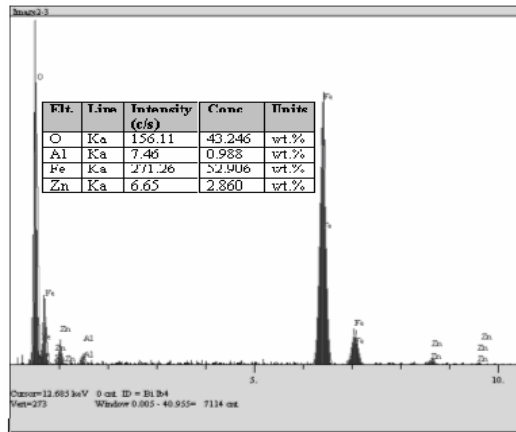
Şekil 8.35. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısı ve kaplama-altlık ara yüzey EDS analizi



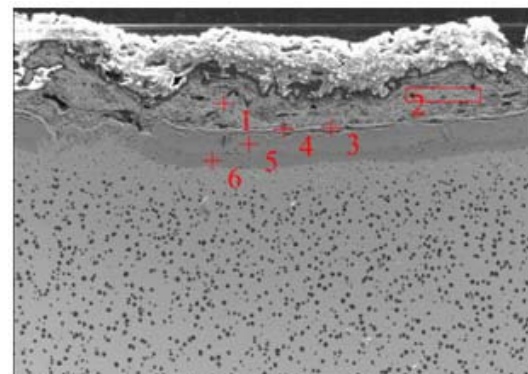
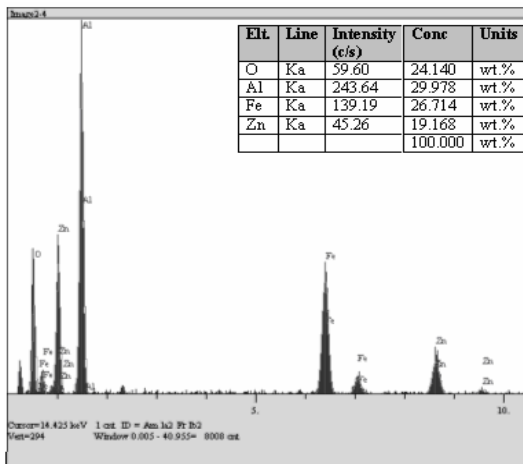
Şekil 8.36. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısındaki 1 nolu bölgeden alınan EDS analizi



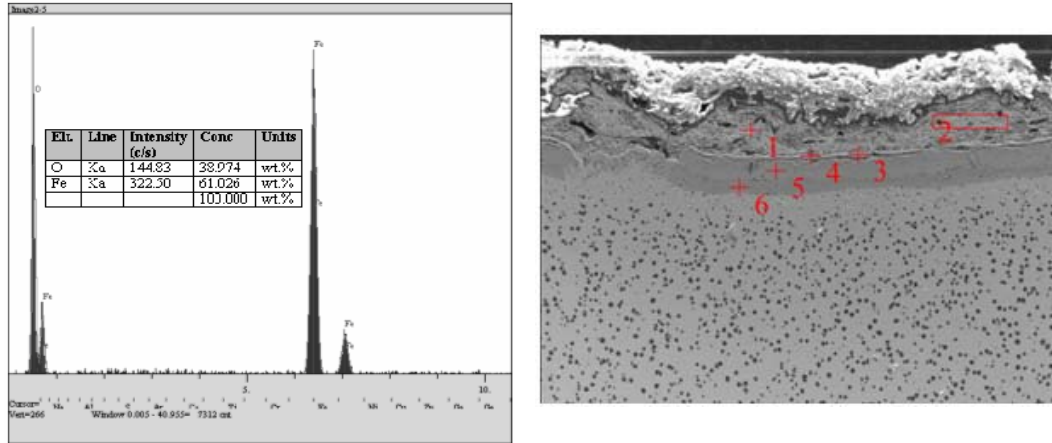
Şekil. 8.37. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısındaki 2 nolu bölgeden alınan EDS analizi



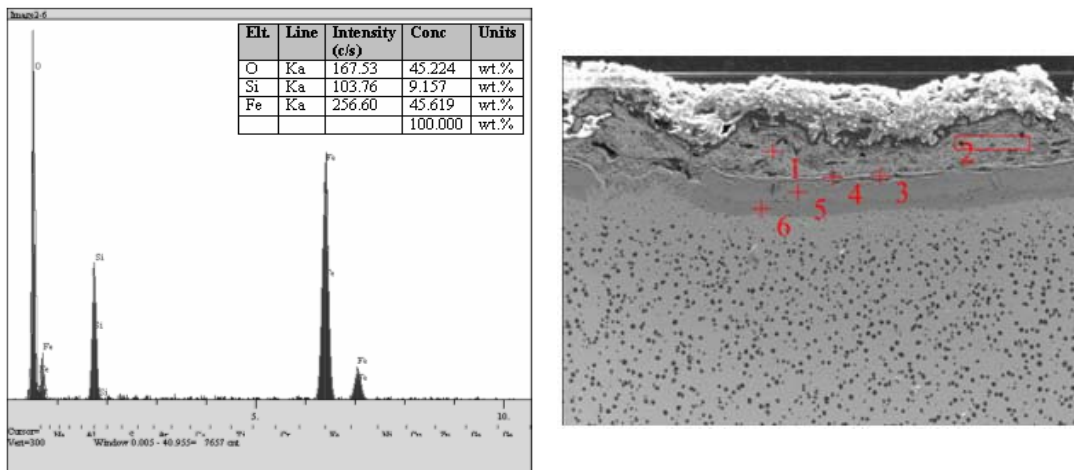
Şekil 8.38. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama yapısındaki 3 nolu bölgeden alınan EDS analizi



Şekil 8.39. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama-altlık arayüzeyinin 4 nolu bölgeden alınan EDS analizi



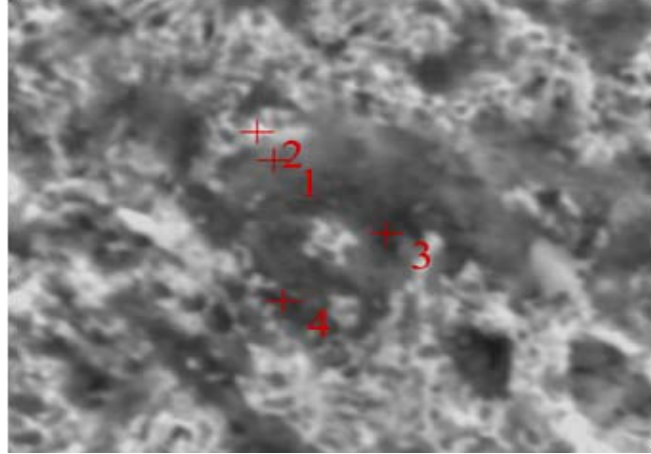
Şekil 8.40. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama-altlık arayüzeyinin 5 nolu bölgeden alınan EDS analizi



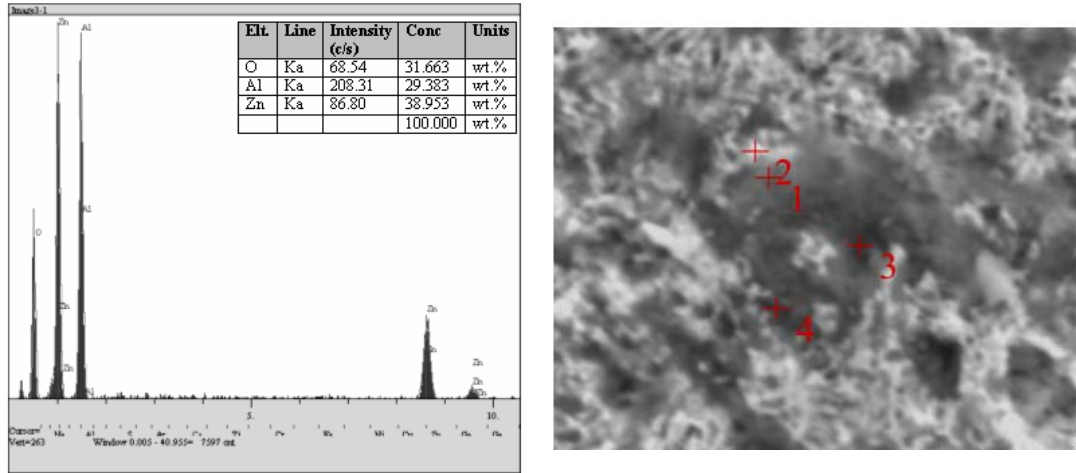
Şekil 8.41. Düktil demir boru malzemesindeki Zn/Al 85/15 kaplama-altlık arayüzeyinin 6 nolu bölgeden alınan EDS analizi

Şekil 8.35’de gösterilmiş kaplama–ara yüzey oluşumlarını belirlemek amacıyla 6 noktadan alınan EDS analizleri haricinde Şekil 8.42’de de kaplama yapısı ve kaplama yapısının EDS analizi yapılan 4 bölgesi görülmektedir. Elektrik ark püskürtme kaplama yapısı, döküm yapısı gibi düzgün katılaşmayıp ani bir şekilde katılaştığından dolayı 85/15 Zn/Al döküm fotoğrafında görülen dengeli katılaşma yapıları artık kaplama yapısında görülmemektedir. Bundan dolayı kaplama yapısında bir koyu bölge ve açık renkli bölge olarak iki fazın bulunduğu söylenebilir. Bu bölgelerden alınan EDS analizleri Şekil 8.43–8.46 arasında verilmektedir. 1 nolu gri bölgenin EDS analizinde (Şekil 8.43) Zn, Al ve O pikleri görülmektedir. Bu bölge Zn’ca zengin olup Zn en yüksek pike sahiptir. 2 nolu açık renkli bölgenin EDS analizinde tahmin edildiği gibi yine yapıda Zn, Al ve O mevcut olup Zn oranı

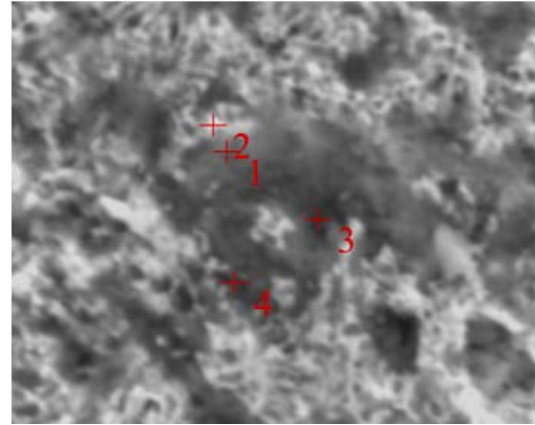
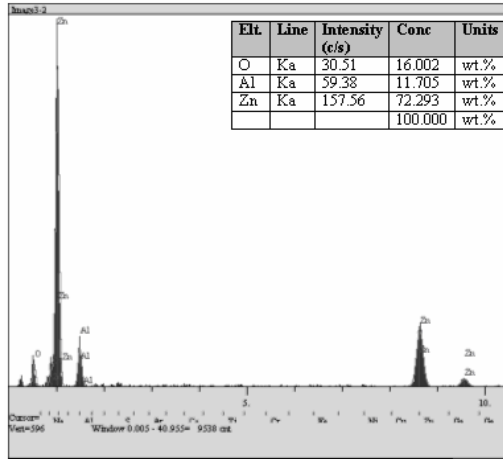
fazladır ve en yüksek değerlikli pike sahiptir(Şekil 8.44). Al pikinin şiddeti çok düşüktür. Çünkü Zn içinde çok az Al çözmektedir. 3 ve 4 nolu koyu bölgelerden alınan EDS analiz sonuçlarından görüldüğü gibi (Şekil 8.45–8.46) bu bölgeler Al'ca zengin bölgeler olup Al, en yüksek pike sahiptir. Ardından gelen Zn pikininde şiddeti yüksek olmaktadır. Bunun nedeni ise Al içerisinde yüksek oranda Zn çözmektedir.



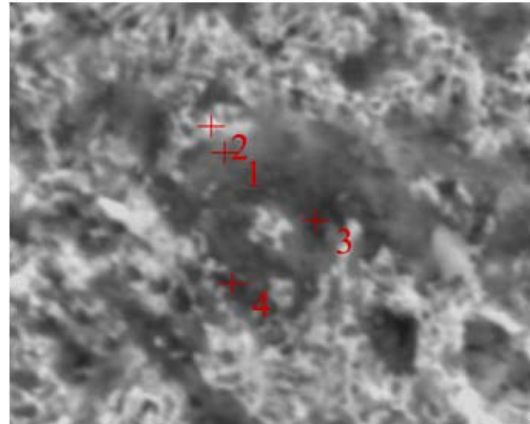
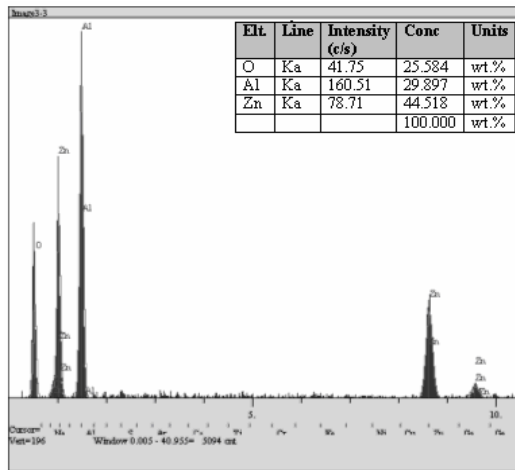
Şekil 8.42. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının kesit SEM görüntüsü ve EDS analizinin yapıldığı 4 bölge



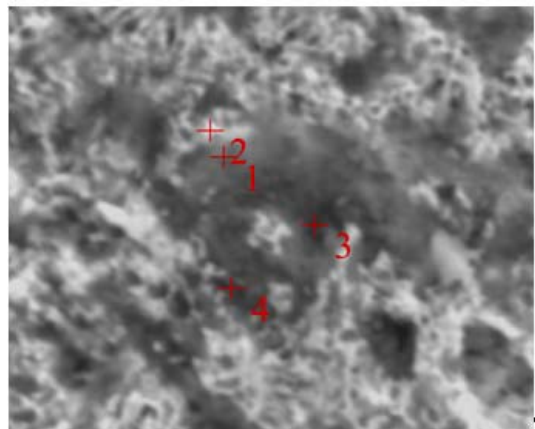
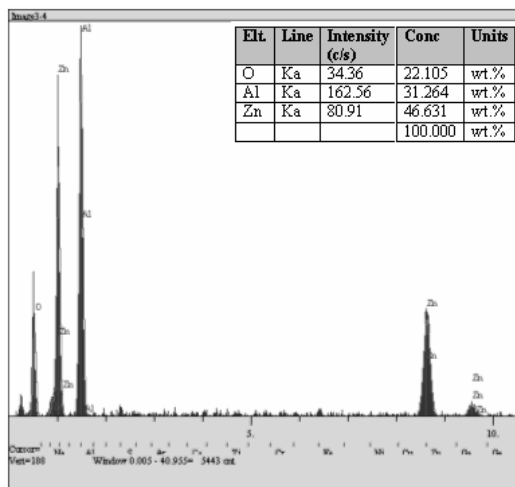
Şekil. 8.43. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 1 nolu bölgesinden alınana EDS analizi



Şekil 8.44. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 2 nolu bölgesinde alınan EDS analizi



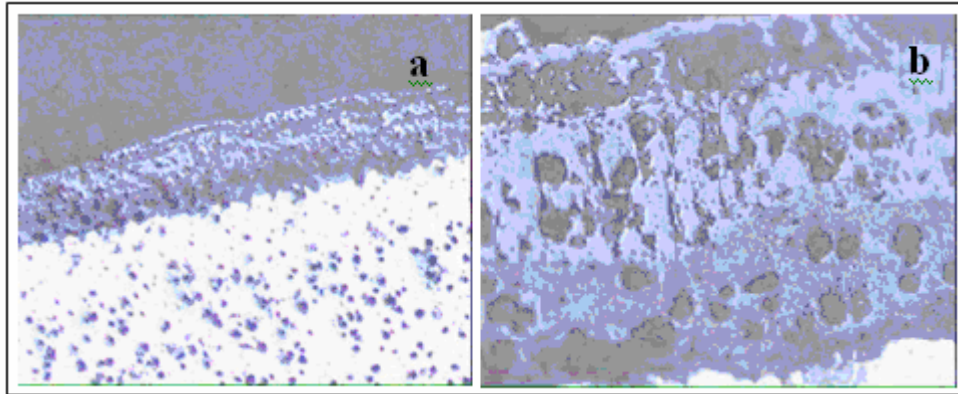
Şekil 8.45. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 3 nolu bölgesinde alınan EDS analizi



Şekil 8.46. Zn/Al 85/15 kaplama yapısının 4 nolu bölgesinde alınan EDS analizi

8.7. Isıl işlem uygulanmış boru numunesinin yüzeyinde oluşturulan yüzey oksit tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri

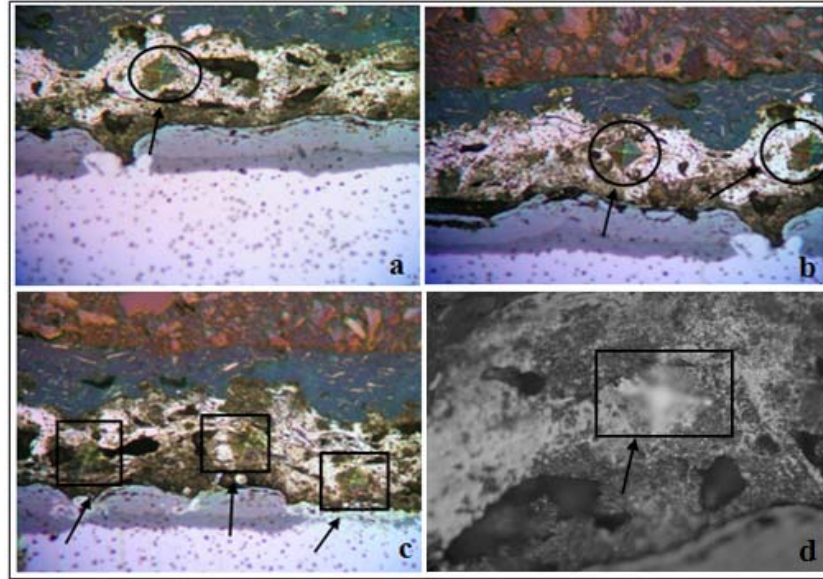
Bu çalışmadaki tuz püskürtme korozyon testine tabi tutulacak olan deney numunelerinden biri de yüzeyinde kaplama bulunmayan ve sadece ısıl işlem ile oksitlenmiş yüzeye sahip düktil demir numunesidir. Bu numuneler düktil demirlerin ısıl işlem sıcaklıkları olan 920°C ve 950°C’de 1saat boyunca elektrikli fırında ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Diğer numuneler ile yapısal homojenliğin sağlanması amacıyla üzerinde kaplama tabakaları bulunan düktil demir boru malzemesinin yüzeyindeki kaplamaların kaldırılıp fırın atmosferinde ısıl işlem uygulanan numunelerdir. Isıl işlem sırasında meydana gelmiş olan oksit tabakaları Şekil 8.47’de görülmektedir.



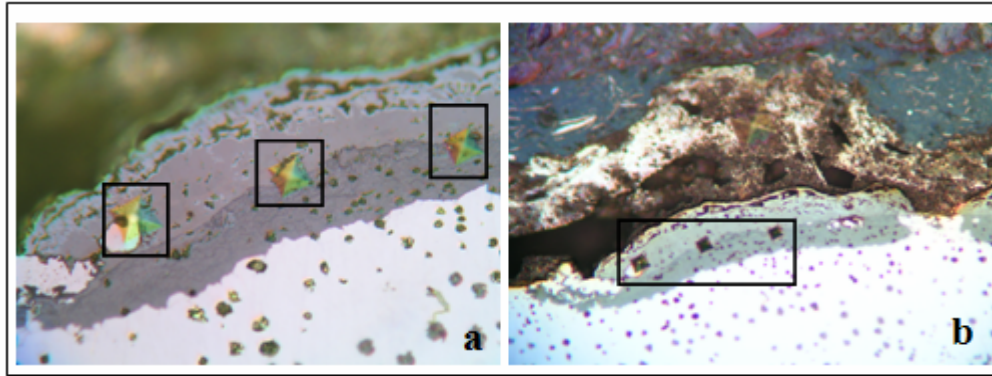
Şekil 8.47. Isıl işlem uygulanmış düktil demir malzemenin yüzeyinde oluşan yüzey-oksit tabakalarının görüntüleri; a) 50x, b)200x

8.8. Mikro sertlik Ölçümü sonuçları

Bu çalışmada kullanılan düktil demir boru malzemesindeki 85/15 Zn/Al kaplamanın karakterizasyonu mikro sertlik ve kalınlık ölçümü olarak yapılmıştır. Ayrıca kaplama ile birlikte düktil demir boru malzemesinde oluşmuş demir oksit tabakalarında mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sırasında uygulanan yük 100 gr olup bulunan sertlik değerlerinin birimi Vickersdir. Şekil 8.48–8.49’de yük uygulana bölge izleri görülmekte olup Tablo 8.1’de mikro sertlik ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 8.48. 85/15 Zn/Al kaplama üzerindeki mikro sertlik ölçüm yük izleri (a, b, c-200x, d-500x)



Şekil 8.49. Yüzey oksit tabakaların mikrosertlik ölçüm yük izleri (a,b-200x)

Tablo 8.1. 85/15 Zn/Al kaplama ve yüzey oksit tabakaların mikrosertlik ölçüm değerleri

85/15 Zn/Al Kaplama	Yüzey oksit tabakaları		
	I. tabaka	II. tabaka	III. tabaka
45.05	487.2	383.65	477.85
58.5	370.35	295.7	425.25
53.45	295.6	307.3	492.65
53.55	238.35	280.85	
45.35			
Genel ort: 51.18	Genel ort: 346.75	Genel ort: 316.88	Genel ort: 465.25

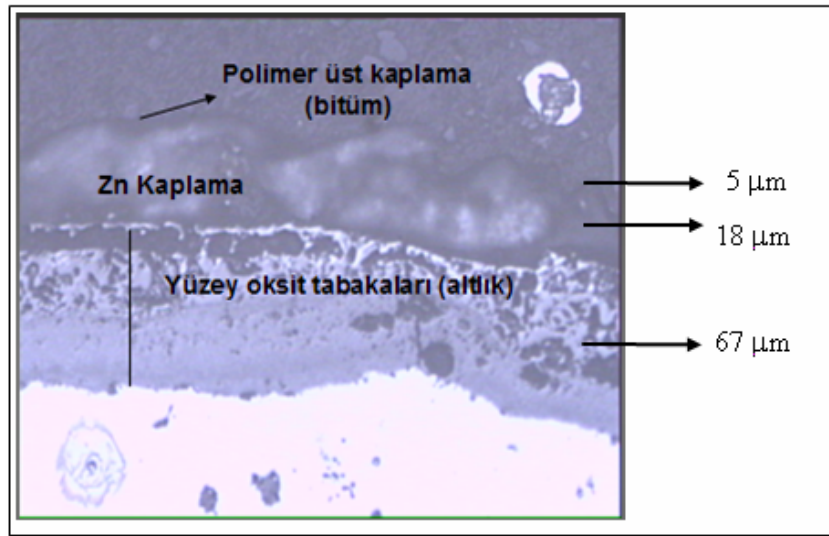
8.9. Kaplama Kalınlığı Ölçüm sonuçları

8.9.1 Zn+polimer (bitüm) kaplamalı numune;

Piyasadan elde edilmiş boru malzemelerindeki kaplama kalınlıkları optik mikroskopta μm biriminde ölçülmüştür. Zn+polimer (bitüm) kaplamalı boru numunesi için korozyon performansını belirleyecek olan Zn ve polimer üst kaplama kalınlıklarının yaklaşık değerleri Şekil 8.50'de verilmektedir. Zn kaplama yapısının kalınlığı $26 \mu\text{m}$ ile $7 \mu\text{m}$ arasında değişmekle birlikte yüzeyi homojen bir şekilde dağılım göstermediği tespit edilmiştir. Ölçülen değerlerin ortalaması alınırca Zn kalınlığı $18 \mu\text{m}$ dir. Polimer (bitüm) kaplama ise kalınlık olarak yaklaşık $5 \mu\text{m}$ civarında olup boru malzemesinden deney numunesi kesilirken meydana gelen ısı sonucu polimer (bitüm) kaplamanın bir kısmının yanmış olmasından dolayı kalınlığının düştüğü tahmin edilmektedir. Zn kaplama kalınlığı EN 545: 2002 (E) standardına göre minimum 130 gr/m^2 olması gerektiğini belirtmekle beraber μm ile g/m^2 arasında aşağıdaki gibi bir eşitlik söz konusudur[47].

$$1 \text{ gr/m}^2 = 0,1407 \mu\text{m} \dots\dots\dots(8.1)$$

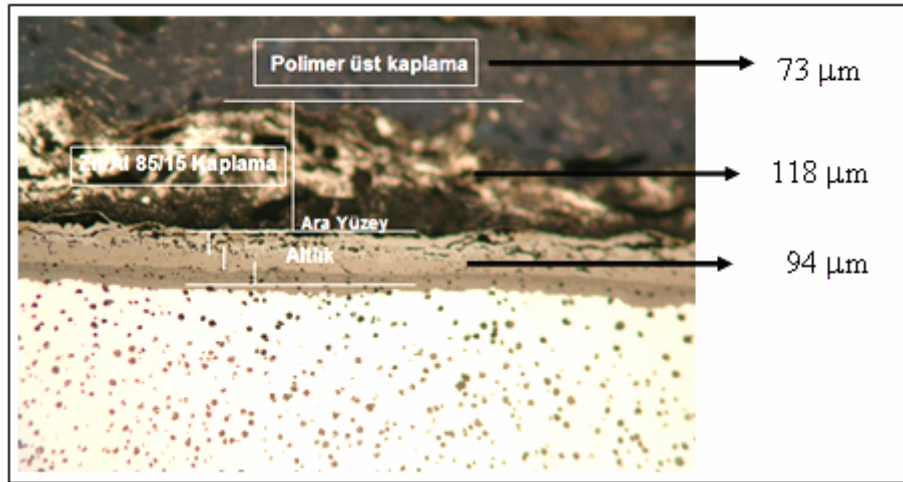
Bu formül Zn kaplama için uygulandığında kalınlığı; 127 gr/m^2 olup EN 545: 2002 (E)[47] standardının aşağısında kalmaktadır. Zn kaplamanın hemen altında düktil demir yapısında bulunan oksit tabakalarının toplam kalınlığı $67 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 8.50. Zn+polimer (bitüm) kaplamalı numunenin kaplama kalınlıkları ölçümleri (200x)

8.9.2. 85/15 Zn/Al kaplama+polimer (mavi epoksi) kaplamalı numune

Zn kaplamalı numunede olduğu gibi Zn/Al 85/15 kaplamalı boru numunesinde de kaplama kalınlıkları optik mikroskopta μm birimde ölçüldü. Zn/Al 85/15 kaplama yapısı Zn kaplama yapısı ile karşılaştırıldığında yüzeye daha homojen bir şekilde yayıldığı ve kalınlığının Zn kaplamaya nazaran daha fazla olduğu mikroyapı görüntülerinden anlaşılmaktadır. Zn/Al 85/15 kaplama kalınlığı ölçüm sonucu ortalama değer olarak $118 \mu\text{m}$ olup kalınlık $138 \mu\text{m}$ ile $99 \mu\text{m}$ arasında değişmektedir. Zn/Al 85/15 kaplama kalınlığı düktil demir boru uygulamaları için EN 545: 2002 (E) standardına göre en az 400 gr/m^2 kalınlığında olmalıdır[47]. Deney numunesinde ölçülen değer için yukarıda eşitliğe göre Zn/Al 85/15 kaplama kalınlığı 838 gr/m^2 'dir. Elde edilen bu değer Zn/Al 85/15 kaplamanın standardı sağladığını göstermektedir. Zn/Al 85/15 kaplamanın hemen üstünde bulunan polimer (mavi epoksi) üst kaplamanın kalınlığı Zn kaplamadaki polimer (bitüm) kaplama ile karşılaştırıldığında kalınlığının daha fazla olduğu Şekil 8.51'de görülmekle birlikte ortalama olarak kalınlığı $73 \mu\text{m}$ civarındadır. Bunun yanında yüzey oksit kalınlıkları Zn kaplamalı boru numunesi ile karşılaştırıldığında kalınlığının daha fazla olduğu Şekil 8.51 görülmekte ve ortalama olarak kalınlığı $94 \mu\text{m}$ dir.



Şekil 8.51. Zn/Al 85/15+polimer (mavi epoksi) kaplamalı numunenin kaplama kalınlıkları ölçümleri

8.10. Hızlandırılmış Korozyon Testi (Tuz Püskürtme Testi) Sonuçları

85/15 Zn/Al + polimer (mavi epoksi) kaplamalı, Zn + polimer (bitüm) kaplamalı ve kaplamasız sadece yüzey oksit tabakaları buluna toplam 24 numune 300 saat boyunca standart tuz püskürtme kabiniinde korozyon testine tabi tutulmuştur. Periyodik olarak her 100 saatte numuneler gözlenmiş ve birbiri ile karşılaştırılmıştır. Hazırlanan 24 numunenin sıralamaları ve yüzeylerindeki çizik durumlarına göre gruplandırılması Tablo 8.2.'de verilmektedir. Test şartları ASTM B-117 standardına göre ayarlanmış olup test sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır.

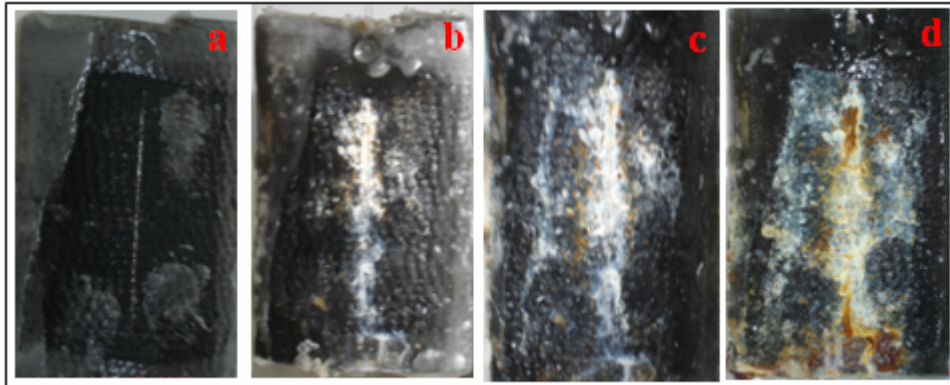
Tablo 8.2. Korozyon testine tabi tutulan kaplanmış düktil demir numuneler ve yüzey durumları

Kaplama Cinsi	Numune Yüzey Profili ve Sayısı		
	Altlığa ulaşan çizik	Sadece kaplama yüzeyindeki çizik	Yüzeyi Çizilmemiş
85/15 Zn/Al+Mavi Epoksi Kaplamalı	3	3	Yok
85/15 Zn/Al Kaplamalı	2	2	2
Zn+Bitüm Kaplamalı	3	3	Yok
Zn Kaplamalı	1	1	2
Yüzey Oksitli	1	Yok	1

8.10.1. Zn Kaplamalı Numuneleri;

8.10.1.1. Zn + Bitüm-sadece kaplama yüzeyi çizilmiş;

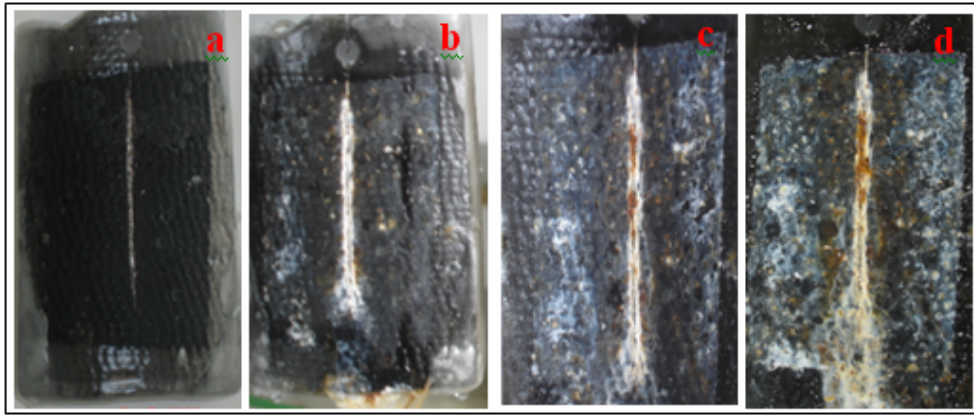
Şekil 8.52'den görüldüğü gibi sadece kaplama üzerinde çizik bulunan Zn + polimer (bitüm) kaplamalı numunenin başlangıç durumunda Zn kaplama tabakasında çizik açılmış olup, her 100 saatlik periyotta görüntüleri verilmektedir. 100. saatte çizikte bulunan kaplama kalınlığı korozif ortam nedeni azalmış olabileceğinden, düktil demir altlık ile Zn kaplama arasında galvanik çift oluşmuş ve bu davranışın sonucunda tercihli olarak korozyona uğrayan Zn'un korozyon ürünleri çizik boyunca doldurmaya başlamıştır. 200. saatte Zn kaplama tabaka kalınlığı yeterli olmadığı düşünülerek Zn'un altlığı aktif koruma yeterli şekilde sağlayamayarak çizik bölgesinde kırmızı pas (düktil demirin korozyon ürünü) oluşumu gözlenmiştir. Bu durumda artık düktil demirinde korozyona uğradığını göstermektedir. 300. saat sonunda ise kırmızı pas çizik boyunca ilerlemeye ve yoğunluğunu arttırmaya başladığı Şekil 8.52'de görülmektedir. Ayrıca bitüm üzerinde de düktil demir korozyon ürünü olan kırmızı pas bulunmaktadır. Çizikte Zn korozyon ürünleri bulunmakta fakat Zn koruyuculuğu çok düşük seviyelerde olduğu ve altlığı korozif atmosfere karşı korumasının yetmediği söylenebilir



Şekil 8.52. Zn + polimer (bitüm) kaplamalı-sadece kaplama çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.1.2. Zn + Bitüm-Altlığa kadar ulaşan çizik

Şekil 8.53 'da görüldüğü gibi numunede ilk 100 saate çizik boyunca kırmızı pasın (düktül demir korozyon ürünü) oluştuğu ve sonraki 100 saatlik periyotlarda çizik boyunu tamamen sardığı görülmektedir. Altlığa kadar ulaşan çizikli numunelerde daha ilk andan itibaren Zn ile düktül demir arasında galvanik çift oluşup bunun neticesinde Zn'nun tercihli olarak korozyona uğrayarak Zn korozyon ürünleri olan beyaz pas çizik boyunu doldurmuştur (ilk 100 saat). Fakat aynı zamanda küçük bir miktarda kırmızı pas oluşumu gözlenmiştir. Bu durumda Zn korumanın daha ilk 100. saatte yeterli olmadığını göstermektedir. 200. saatte ise kırmızı pas ilerlemiş ve çizik boyunca devam ettiği görülmüştür. 300. saat sonunda ise kırmızı pas çizik boyunda daha geniş bir alana yayılmış olup Zn kaplama altlığı 300 saat sonunda koruyamadığı tespit edilmiştir. Bitüm kaplamanın olan bazı bölgelerin de ise (özellikle tepecikler) korozyonun meydana geldiği ve buralarda da galvanik etkiden dolayı Zn korozyon ürünleri olan beyaz pasın bulunduğu gözlenmiştir.

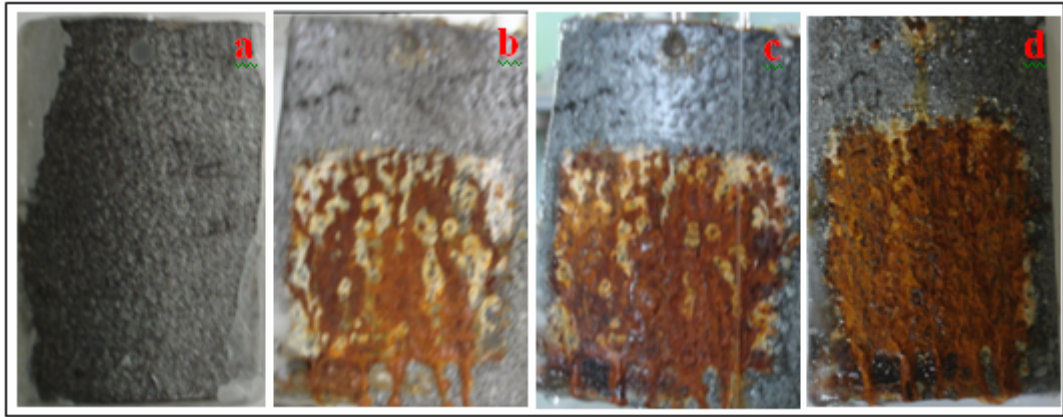


Şekil 8.53. Zn + polimer (bitüm) kaplamalı-altlığa kadar çizilmiş düktül demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.1.3. Zn kaplama-yüzeyde çizik yok

Üzerindeki bitümü kaldırılan düktül demir boru numunesinde korozyon hızlı ilerlediği ve yüzeyde yoğun kırmızı pasın oluştuğu 100. saatte sonundaki incelemede görülmektedir (Şekil 8.54). Korozyon başlangıcı, ilk 50 saat içerisinde olduğu tahmin

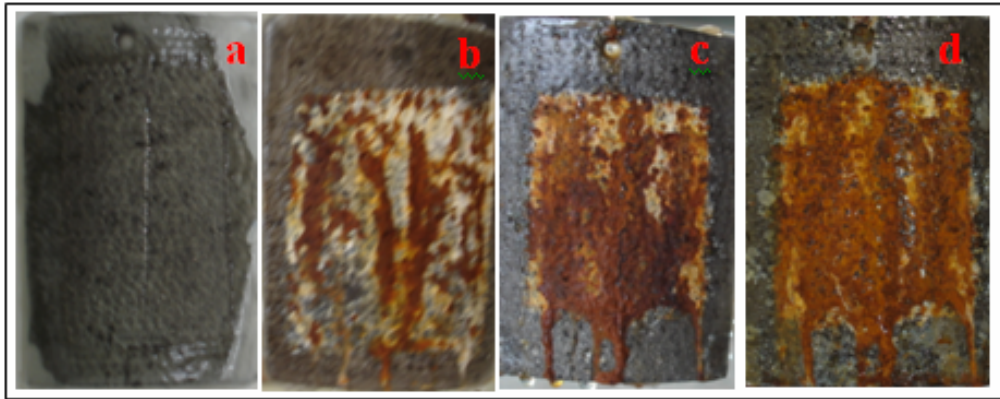
edilmekle birlikte korozyonun şiddetli olduğu Şekil 8.55’de görülmektedir. Yüzeydeki korozyon oranı yüzdelik olarak ifade edilirse ilk 100 saatte malzemenin parafin ile korunmuş alanın dışında %80 mertebesinde korozyona uğradığı, %20 mertebesinde de Zn korozyon ürünü bulunduğu söylenebilir. Bu oran 200. saat %90 ve 300. saatte %99–100 arasına çıkmaktadır. Zn’un korumasının çok yetersiz olduğu gözlenmiştir.



Şekil 8.54. Zn kaplamalı-çizik bulunmayan düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.1.4. Zn kaplama-kaplama çizilmiş

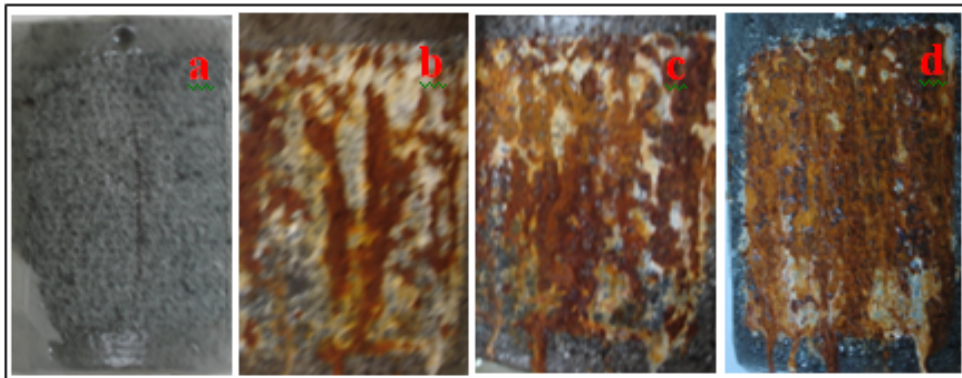
Şekil 8.55’de yüzeyinde çizik bulunmayan Zn kaplamalı numunede gözlemlenen durumun benzeri sadece kaplama yüzeyinde altlığa ulaşmayan çizigin bulunduğu Zn kaplamalı numune içinde gözlenmektedir. İlk 100. saatteki numunenin görüntüsünde yüzdelik olarak ifade edilirse %40–50 mertebesinde düktil demir korozyon ürünü ve aynı oranda Zn korozyon ürünü (beyaz pas) bulunmaktadır. 200. saatte bu durum kırmızı pas oluşum tarafında ilerlemiş olarak gözlenmiş ve yüzdelik ifade ile %80 civarında korozyonun meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 8.55. Zn kaplamalı-kaplamaya kadar çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.1.5. Zn kaplama-altlığa kadar ulaşan çizik

Zn kaplamalı düktil demir boru numunelerinde Zn kaplamanın yetersizliği dolayısıyla üzerlerinde çizik olup olmaması fark etmediği söylenebilmekle beraber çok hızlı bir şekilde korozyona uğradığı Şekil 8.56'a bakılarak söylenebilir. 300 saat sonunda bütün yüzey şiddetli korozyona uğramıştır. 100. ve 200. saatte çinko korozyon ürünleri yüzeyde mevcut iken 300. saat sonunda kırmızı pas bütün yüzeyi korozyon hızına bağlı olarak yüzeyi tamamen kaplamaktadır.



Şekil 8.56. Zn kaplamalı-altlığa kadar çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

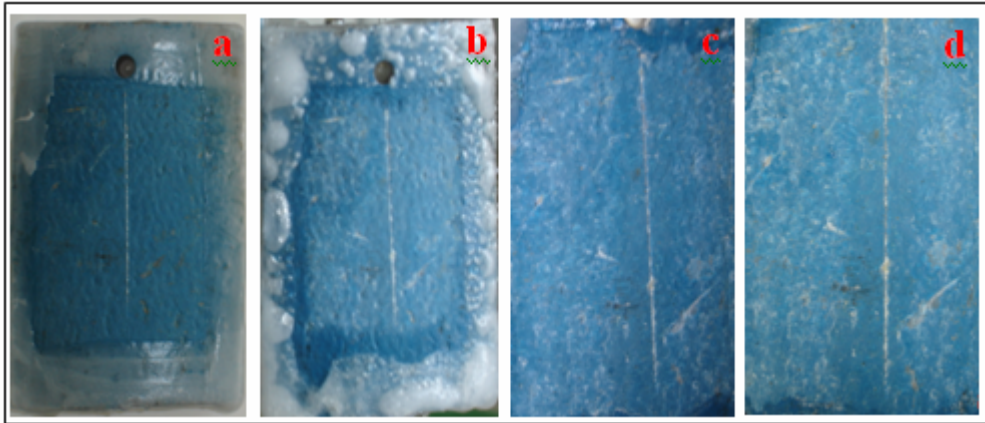
Polimer (bitüm) kaplamanın bulunmadığı Zn kaplamalı deney numunelerinin polimer (bitüm) kaplama bulunan numunelere göre daha fazla korozyona uğradığı

Şekil 8.54–8.56'den görülebilmektedir. Böylece Polimer (bitüm) üst kaplamanın korozyona karşı bir bariyer görevi gördüğü anlaşılmıştır.

8.10.2. Zn/Al 85/15 Kaplamalı Düktil Demir Boru Numunesi;

8.10.2.1. Zn/Al 85/15 + mavi epoksi kaplama-kaplama yüzeyi çizilmiş;

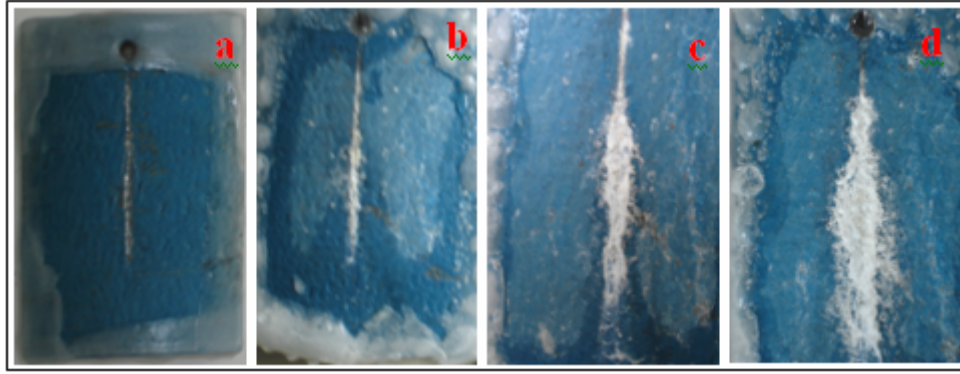
Şekil 8.57'de görüldüğü gibi Zn/Al 85/15 + polimer (mavi epoksi) kaplamalı düktil demir numunesinin 300. saat sonra bile başlangıç durumdan farkının olmadığı tespit edilmiştir. Çizik boyunca bazı bölgelerde çok düşük miktarda Zn korozyon ürünü bulunmaktadır. Burada hem Zn/Al 85/15 kaplamanın hem de polimer kaplamanın koruyuculuğundan söz edilebilmektedir.



Şekil 8.57. Zn/Al 85/15 + polimer (mavi epoksi) kaplamalı-sadece kaplama çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.2.2. Zn/Al 85/15 + mavi epoksi kaplama-altlığa kadar ulaşan çizik

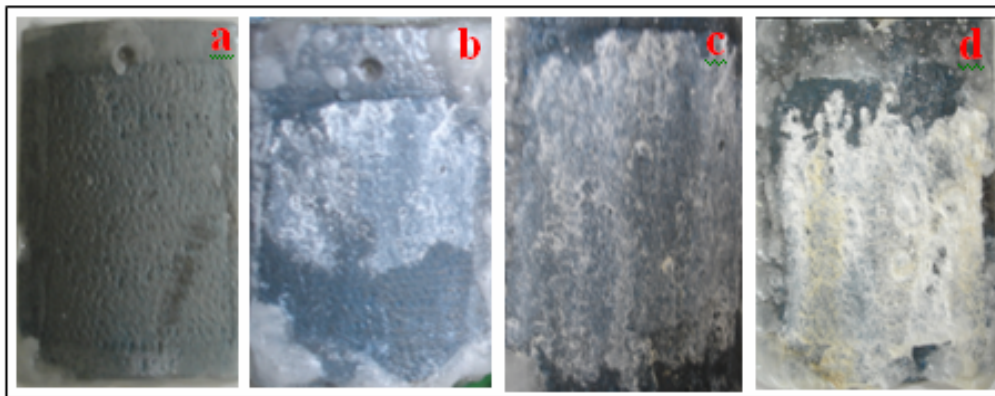
Zn/Al 85/15 kaplamalarda altlığa ulaşan çiziklerde galvanik çiftin oluştuğu ve bu olay neticesinde çizik boyunca Zn'nun korozyon ürünleridir (beyaz pas) bulunduğu Şekil 8.58'da görülmektedir. 300. saat sonunda gözlenen çizikteki beyaz pas miktarındaki artıştır. Şekil 8.58' da görülebileceği gibi Zn/Al 85/15 kaplamanın korozyon koruması 300 saat sonra bile devam etmekte olduğu gözlenmektedir. Zn kaplamalarda ise ilk 100. saatte korozyonun yüzeyde ilerlediği görülmektedir.



Şekil 8.58. Zn/Al 85/15 + polimer (mavi epoksi) kaplamalı-altılığa kadar çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.2.3. Zn/Al 85/15 kaplama-çizik yok

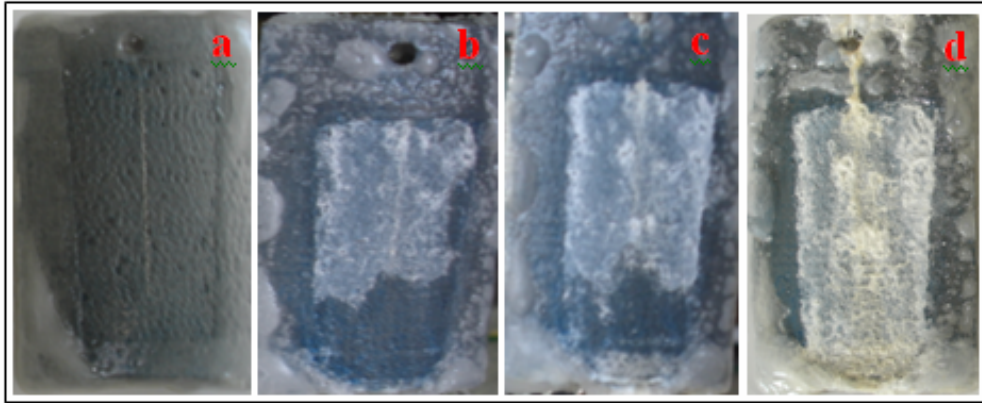
Zn/Al 85/15 kaplamalı deney numunelerin 100 saatlik periyotlardaki gözlemlerinde sadece yüzeydeki Zn korozyon ürünlerinin (beyaz pas) yüzeydeki yoğunluklarının arttığı görülmüştür. Şekil 8.59'da açıkça bu durum görülmektedir. Yalnızca 300 saat sonunda kaplamalarda tam yeri tespit edilemeyen kırmızı renkli sıvının yüzeyde bulunduğu gözlenmiştir. Fakat yüzey bölgede halen koruma vardır ve 300 saat test süresi sonunda kaplama yüzeyi sağlam bir şekilde olduğu Şekil 8.59'da görülmektedir.



Şekil 8.59. Zn /Al kaplamalı-çizik bulunmayan düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.2.4. Zn/Al 85/15 kaplama-kaplamaya yüzeyi çizilmiş

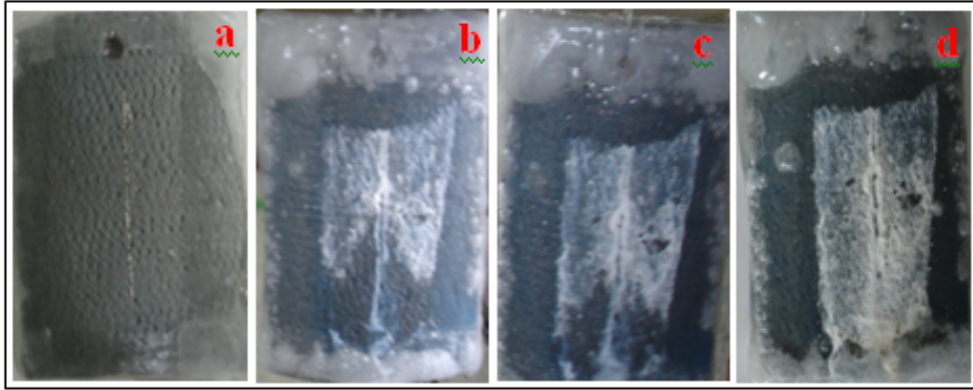
Zn/Al 85/15 kaplamalı ve kaplama yüzeyinde çizik bulunan deney numuneleri de Şekil 8.59’ de görülen yüzeyinde çizik bulunmayan Zn/Al 85/15 kaplamalı deney numunelerine test süresindeki gözlemleri birbirine yakındır. İlk 200 saatte yüzeyde Zn korozyon ürünleri yoğun bir şekilde çizik boyunca ve numune yüzeyini sarmakta olduğu ve 300. saat sonunda ise yüzeyin rengi az miktarda değiştiği gözlenmiştir (Şekil 8.60). Böylece 300. saattin sonunda Zn/Al 85/15 kaplamada kırmızı pas oluşmaya başlamış denebilir.



Şekil 8.60. Zn/Al 85/15 kaplamalı-sadece kaplama yüzeyi çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

8.10.2.5. Zn/Al 85/15 Kaplamalı- Altlığa Kadar Çizilmiş

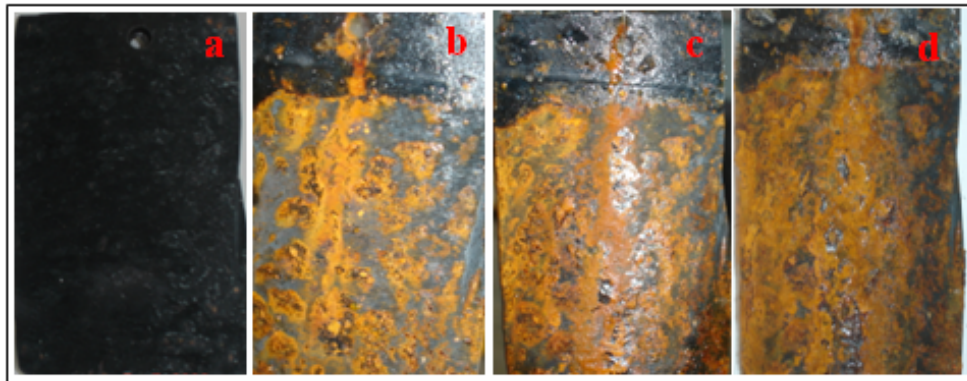
Şekil 8.61’de görülen altlığa kadar çizilmiş Zn/Al 85/15 kaplamalı numunelerin 300 saat boyunca teste tabi tutulup sonucu görülebilmektedir.. İlk 200 saatte çizik boyunca ve yüzeydeki Zn korozyon ürünleri olan beyaz pas oluşumu ve yoğunluğunun artışı Şekil 8.61 görülmekle beraber 300. saat sonrasında numunede yoğun bir beyaz pas tabakasının oluştuğu ve beyaz pasın renginin kırmızıya doğru değiştiği görülmüştür. Bu durumda 300. saat sonunda kırmızı pas oluşumu meydana gelmekte yorumu yapılabilir. Fakat Zn/Al 85/15 kaplamanın koruyuculuğu 300. saatin sonunda da devam etmekte olduğunu oluşan kırmızı pası yoğunluğun çok küçük miktarda olduğu bu görüntülerden söylenebilmektedir..



Şekil 8.61. Zn/Al 85/15 kaplamalı-altılığa kadar çizilmiş düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları (a-başlangıç, b-100. saat, c-200. saat, d-300 saat)

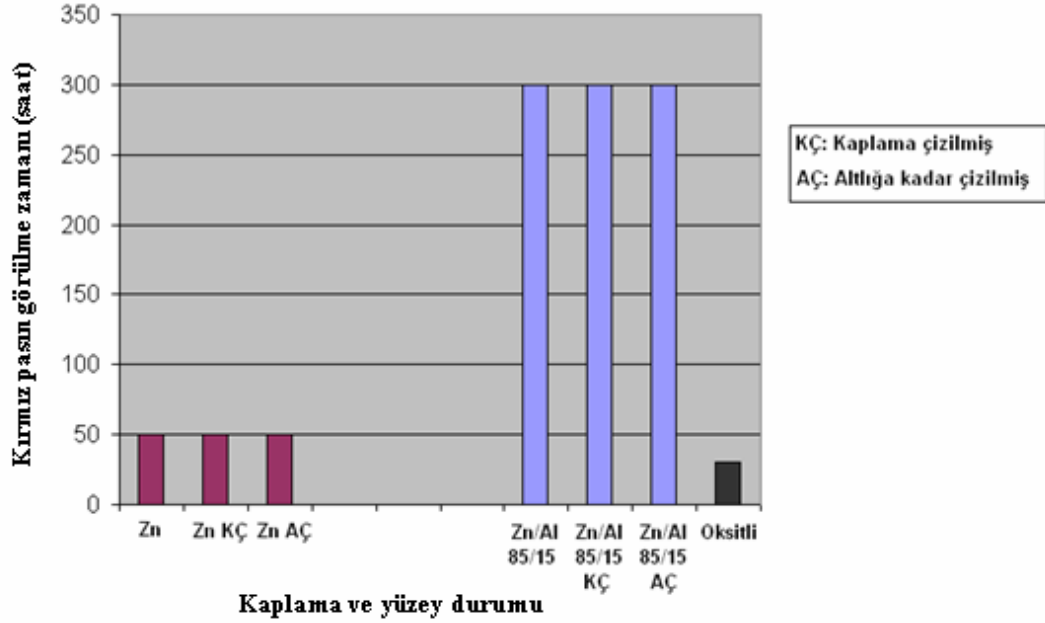
8.10.3. Yüzey oksitli numune

Sadece yüzey oksit tabakalarının bulunması düktil demir boruya korozyon direnci kazandırmakta olup ayrıca Zn ve Zn alaşımı kaplanmasına gerek olmadığı belirtilmiştir [48–49–50]. Fakat Tuz Püskürtme Testi sonrası kaplama bulunmayan sadece ısıl işlem sırasında oluşan yüzey oksit tabakası bulunan numuneler, daha ilk 100. saate yoğun korozyona uğradığı ve bunu sonucunda oyuklanmanın (pitting) olduğu görülmektedir. 300. saat sonunda ise yüzeyde korozyona uğramamış bölgenin kalmadığı gözlemlenebilir. Böylece yüzey oksit tabakalı ve kaplama bulunmayan düktil demir boruların korozyon direncinin diğer kaplamalı borulara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir(Şekil 8.62).



Şekil 8.62. Kaplamaya bulunmayan sadece yüzey oksit tabakalı düktil demir boru numunesinin korozyon testi boyunca fotoğrafları

Tuz Püskürtme Testi Sonrası Kaplamaların Korozyon Performansı Grafiği



Şekil 8.63. Test süresine bağlı olarak kaplama numunelerinde kırmız pasın görülmesi ve korozyon performansı grafiği

8.11 Ağırlık Ölçüm Sonuçları

Tuz püskürtme deneyi öncesi üzerinde polimer kaplama bulunmayan Zn ve 85/15 Zn/Al kaplamalı ve sadece yüzey oksit tabakalı olmak üzere toplam 7 numunede ağırlık değişimlerini gözlemlemek amaçlı yüzeylerine çizik açılmamış olup ilk ağırlıkları ölçülmüştür. Tuz püskürtme deneyi sonrası bu ağırlıkları ölçülen numunelerin yüzeylerindeki korozyon ürünleri %10'luk HCl ile kaldırılarak tekrar ölçülmüştür.

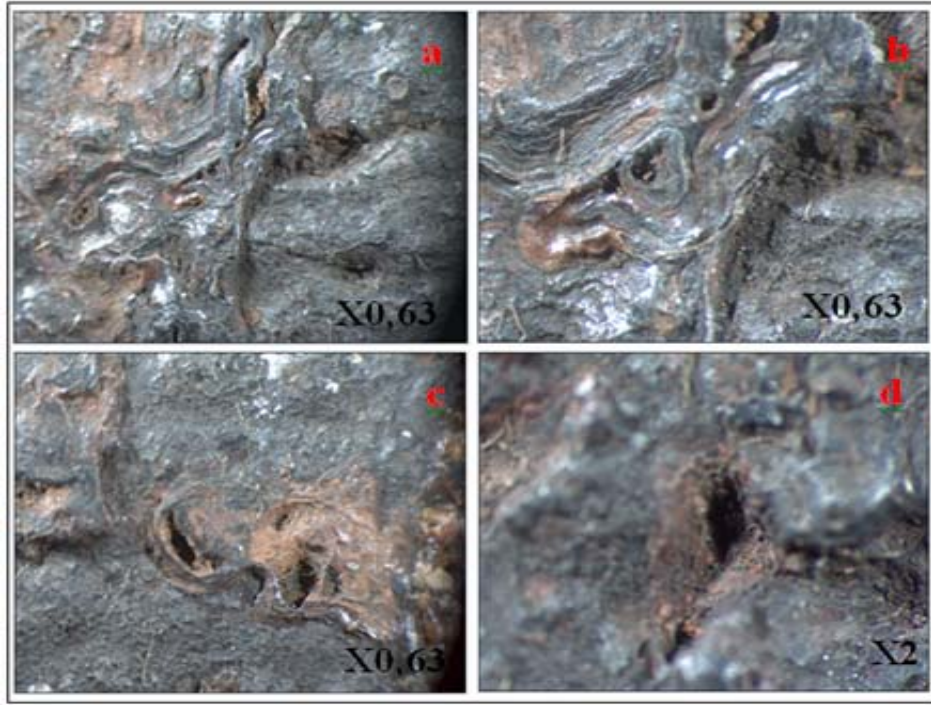
Tablo 8.3. Deney numunelerdeki ağırlık değişimi

Zn kaplama için	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Toplam ağırlık değişimi (gr)
1. numune	256,813	257,071	+0,258
2. numune	240,328	240,744	+0,416
85/15 Zn/Al kaplama için	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Toplam ağırlık değişimi (gr)
1. numune	187,137	186,984	-0,153
2. numune	170,776	170,830	+0,054
Oksit tabakalı numuneler için	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Toplam ağırlık değişimi (gr)
1. numune	305,103	302,834	-2,269
2. numune	320,410	319,773	-0,637

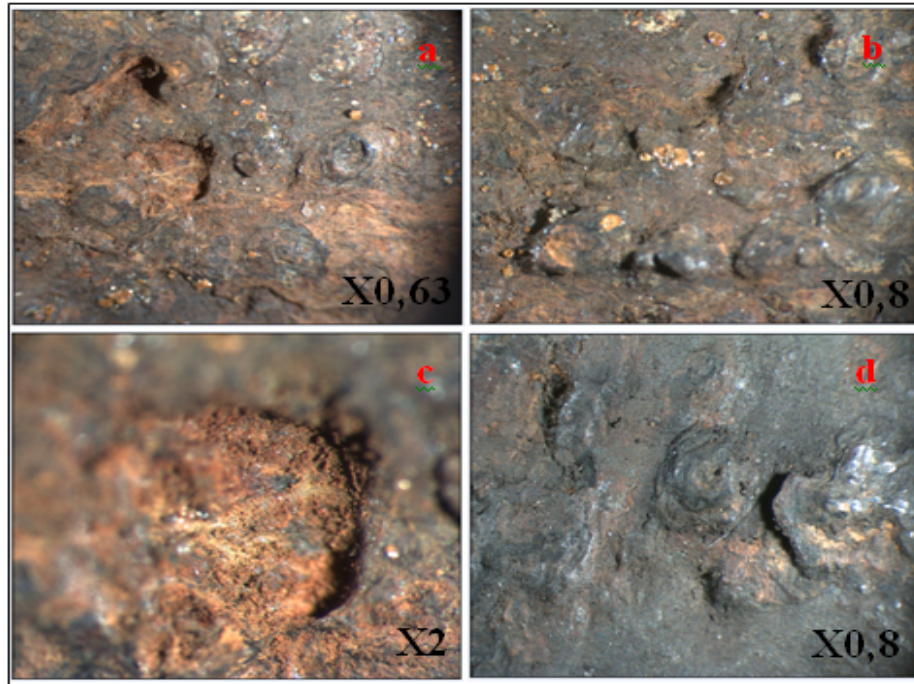
8.12 Stereo Mikroskop Görüntüleri

Tuz püskürtme testi sonrası kullanılan numunelerdeki oyuklanma (pitting) oluşumunun gözlenmesi ve derinlikleri ile ilgili tahminler yürütülebilmesi için numunelerin stereo mikroskop görüntüleri alınmıştır. Oyuklama (pitting) oluşumu düktil demirlerin ana korozyon mekanizmalarından biri olduğu için yapılan bu çalışma su iletim hatlarında kullanılan bu malzemelerin kullanım ömürleri hakkında bize bilgi verebilmektedir. Stereo mikroskop çalışması ile sadece oyuklanmalar (pitting) gözlenmemiş olup bunun yanında Zn/Al 85/15 kaplamaların çizik yüzeylerde incelenmiştir. Görüntülerde de görüleceği gibi Zn/Al 85/15 kaplama yapısı net bir şekilde sağlam bir biçimde durmaktadır.

Yoğun bir şekilde korozyona uğrayan Zn kaplamalı ve oksit yüzeyli numunelerdeki pitting oluşumlarının Şekil 8.64'de görülmektedir. Korozyonun yüzeyi nasıl kazıyıp yüzey görünümünü değiştirdiği Şekil 8.65 görülmektedir.



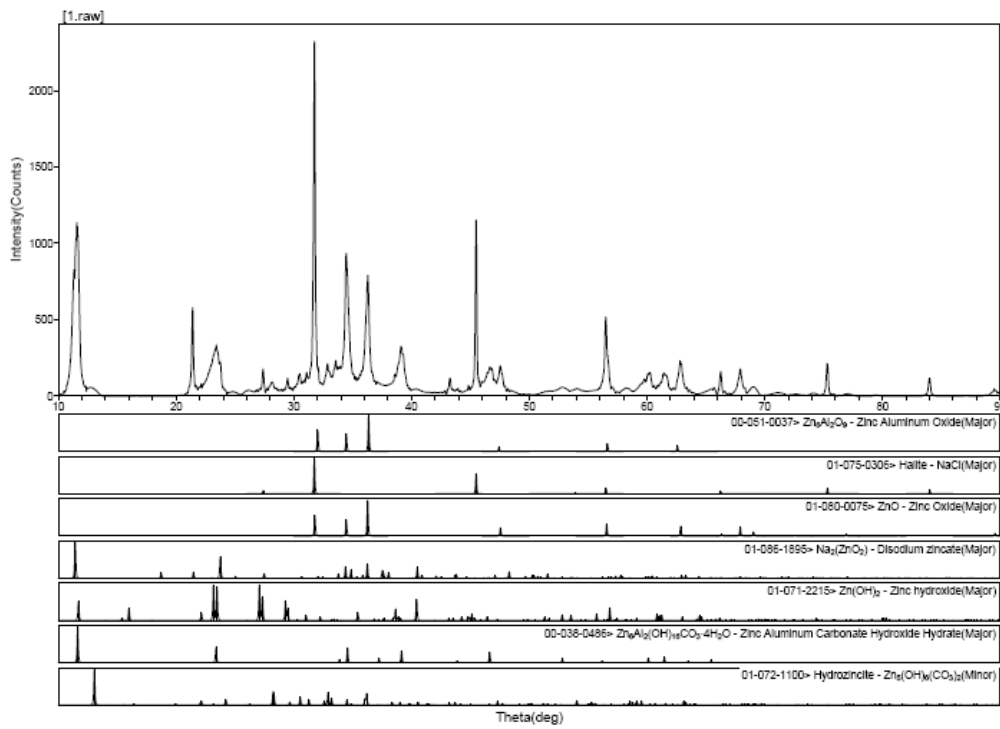
Şekil 8.64. Yüzey oyuk oluşumları



Şekil 8.65. Yüzey topografyasının korozyon nedenli değişimi

8.13 XRD Analizi

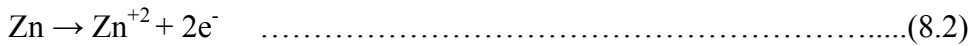
Tuz püskürtme deneyi sonrası kaplama çizik yüzeylerinde meydana gelen Zn korozyon ürünü olan beyaz pası, Zn'un korozyon mekanizması hakkında fikir vermesi için X-ışınları analizi yapılmıştır. X-ışınları analiz sonucu şekil 8.66'de görülmektedir. Analizde en yüksek piki veren NaCl tuz püskürtme test kabin ortamından geldiği bilinmekle beraber NaCl ardından ZnO ikinci en yüksek pike sahip bileşik olarak analizde görülmektedir.



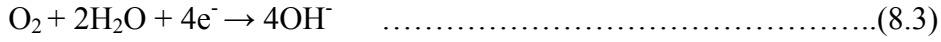
Şekil 8.66. Zn korozyon ürünlerinin X- ışınları analizi

ZnO'nin yüzeydeki korozyon ürünü olarak yüksek miktarda oluşu, kabin içindeki korozyon mekanizmasının aşağıdaki oksidasyon formülü ile açıklanabileceğini göstermiştir.

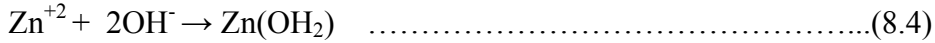
Anodik reaksiyon: çinkonun çözünmesi



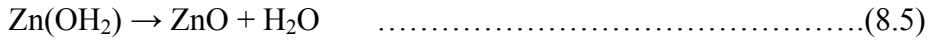
Katodik reaksiyon: oksijen indirgenmesi



Böylece Zn^{+2} ile OH^- reaksiyona girerek çinko kaplama yüzeyinin yanında çinko hidroksiti oluşturur.



Bu reaksiyon sonucu oluşan düşük çözünürlüğe sahip çinko hidroksit yüzeyde çökelir ve yavaş bir şekilde çinko oksite dönüşür.



Böylelikle yüzeyde korozyona karşı koruma sağlayan ve kaplamada çizilmiş bölgeyi dolduran pasif film tabakası oluşur[51].

8.14 Deneysel Sonuçların İrdelenmesi

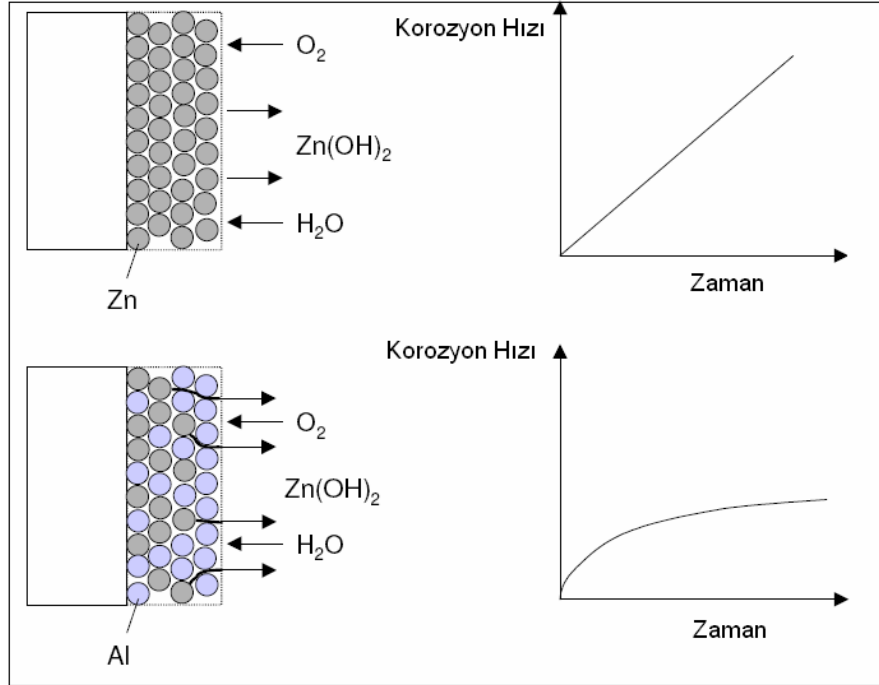
Bu çalışmada amaçlanan piyasadan temin edilen elektrik ark püskürtme yöntemiyle Zn ve Zn/Al 85/15 kaplamalı ve kaplamasız yüzey oksitli düktil demir boru numunelerinin korozyon davranışlarının tuz püskürtme testi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlarda ortaya çıkan tablo Zn/Al 85/15 numunelerin korozyon performansları Zn kaplamalı ve oksit yüzeyli numunelere göre çok daha yüksek olmaktadır. Tuz püskürtme korozyon testi öncesi Zn/Al 85/15 kaplama teli ve döküm numunesi, Zn ve Zn/Al 85/15 kaplamaların ve oksit yüzeyli numunelerin optik, SEM, EDS analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- i. Zn/Al 85/15 döküm numunesinde çinkoca zengin primer β dentritlerinin oluştuğu ve bununla birlikte alüminyumca zengin α ve Zn fazı olan η fazının bulunduğu tespit edilmiştir.

- ii. Zn ve Zn/Al (85/15) kaplama yapısı poroziteli ve oksitli bileşenler içermektedir.
- iii. Zn kaplamanın kalınlığının Zn/Al 85/15 kaplamaya göre daha düşük olduğu ve yüzeyde homojen tabaka kalınlığına sahip olmadığı gözlenmiştir.
- iv. Tuz püskürtme testi sonrası özellikle Zn ve oksit yüzeyli numunelerin yoğun bir şekilde korozyona uğradığı görülmüştür. Böylelikle çinkonun korozyon koruyuculuğunun ilk 50 saatlik periyod sonunda sona erdiği düşünülmektedir ve bu çalışmada korozif ortamda maruz bırakılan oksitli yüzeylerin ise korozyona karşı koruyuculuğunun bulunmadığı tespit edilmiştir.
- v. Zn kaplamalı ve oksit yüzeyli numunelerin tuz püskürtme testi sonrasında yüzeyindeki korozyon ürünleri %10'luk HCl çözeltisi ile kaldırıldığında ağırlık kaybı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu numunelerin yüzeylerinde yoğun oyuklanmalar görülmüştür.
- vi. Kaplama çizik yüzeylerinde bulunan beyaz pasın XRD analizinde ZnO 'in varlığı tespit edilmiştir.
- vii. Tuz püskürtme testinde Zn/Al (85/15) kaplamaların diğer Zn kaplamalı ve oksit yüzeylere göre korozyona karşı daha yüksek performans gösterdiği gözlenmiştir.

BÖLÜM 9. TARTIŞMALAR

Düktil demir içme su boruları özellikle toprak altında servis vermektedirler. Toprak yapısı ve içeriği bakımından heterojen bir oluşum olduğundan yoğun korozif ortam oluşturabilmekte ve kullanılan düktil demir boru hatlarının korozyona karşı korunması gerekmektedir. Bu amaçla düktil demir borular koruyucu kaplama olarak elektrik ark püskürtme ile Zn kaplanırlar. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalar Zn/Al 85/15 elektrik ark püskürtme kaplamaların Zn göre 10 kat daha üstü performansının olduğunu belirtmektedir. Özellikle hem pasif hem de aktif korozyon koruma mekanizmalarının her ikisini birden tek bir kapama yapısının gösterebileceği literatürde vurgulanmıştır. Zn/Al 85/15 kaplamaların koruma mekanizması Marita Bütüfür[52]'ün doktora çalışmasında aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

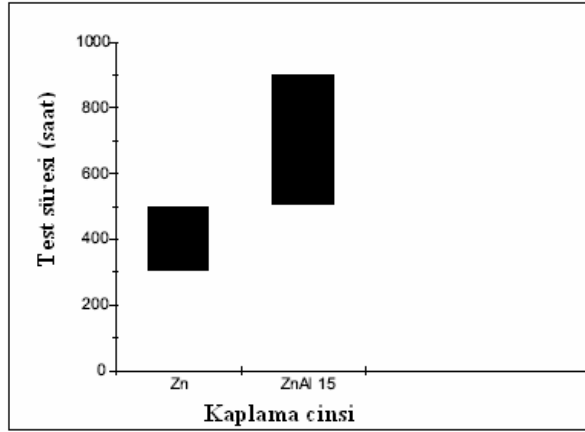


Şekil 9.1. Zn ve Zn/Al 85/15 kaplamaların koruma mekanizmaları korozyona hızı ve zaman arasındaki ilişki[52]

Şekil 9.1’ de görüldüğü Zn kaplamaların altlığı korozyona karşı sadece kendisi tercihli korozyona uğrayarak (oksijenle birleşerek) korumaktadır. Böylelikle korozyon doğrusal bir şekilde Zn bitene kadar devam edecek ve Zn bittiğinde altlık korozyona uğrayacaktır. Zn/Al 85/15’de ise Al’un oluşturduğu kararlı oksit filmi ile ortamda bulunan oksijenin Zn’ya olan difüzyonu zorlaşacak ve böylece korozyon süresi geciktirilerek Zn’nun tercihli korozyona uğraması daha yavaş meydana geleceğini göstermektedir. Bu çalışmada da Zn/Al 85/15 kaplamaların korozyon performansları Zn ile kıyaslandığında şekil 9.1’de açıklanan gibi Zn/Al 85/15 kaplamanın daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Manuela Zecho[35] ve arkadaşları Zn ve Zn/Al 85/15 elektrik ark püskürtme kaplamaları çeşitli atmosferik koşullarda (kurak atmosfer, endüstri atmosferi ve deniz atmosferi) 3 yıl boyunca korozyon testine tabi tutmuşlar. Bu testlerin sonucunda özellikle endüstriyel ve deniz atmosferinde Zn/Al 85/15’in Zn göre daha az korozyona uğradığı sonucunu elde etmişlerdir. Bu çalışmada oluşturulan korozif ortam deniz atmosferine benzeri olup ve bu ortamda toplam 300 saat kalan Zn ve Zn/Al 85/15 kaplamalardan Zn/Al 85/15’in korozyon koruyuculuğunun Zn kaplamaya göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Zecho ve arkadaşlarının bulduğu sonuç ile aynı paralellikte deney sonuçları bulunmuştur.

Michael Knepper ve Jochm Spriestersbach[53]’ın yaptıkları çalışmada Zn ve Zn/Al 85/15 kaplamaları ile %5’lik NaCl çözeltisi ve 35°C’de 1320 saat tuz püskürtme testine tabi tutmuşlar ve ilk kırmızı pas oluşum zamanlarını tespit ederek korozyon performanslarını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada saf Zn kaplamalı numunelerde ilk kırmızı pas oluşumu 300–500 saat arası olarak bulunmuş. Zn/Al 85/15 içi ise bu aralık 500–900 arası bulunmuştur. Bu aralıkları Şekil 9.2’de görülmektedir.

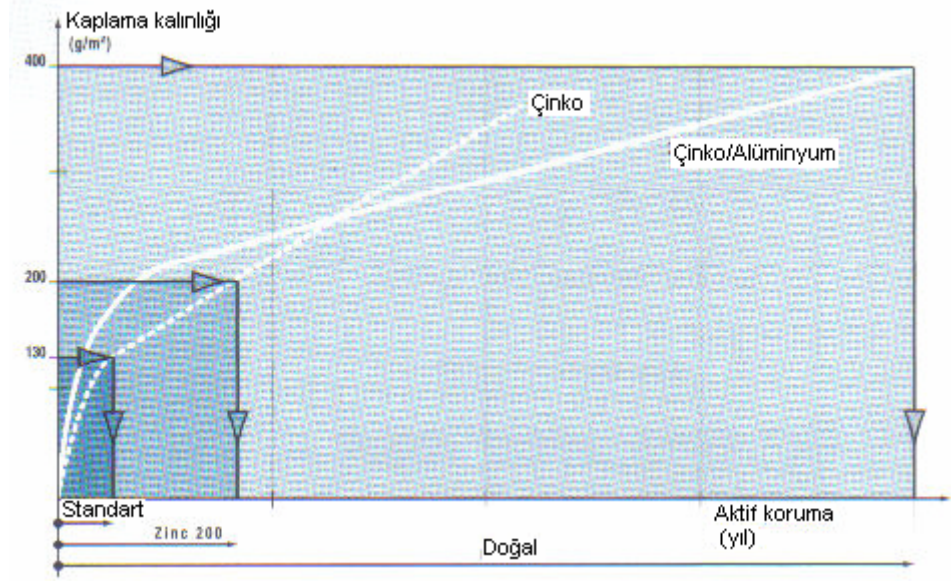


Şekil 9.2. Tuz püskürtme testinde kırmızı pas oluşum zaman aralıkları[53]

Bu çalışmada kaplama kalınlılarının eşit olmaması daha sonraki çalışmalara yeni zemin hazırlamaktadır. Çünkü Zn kaplamaların koruyuculuğu kaplama kalınlıları ile doğru orantılıdır.

Düktil demir borularda kullanılan son kat polimer kaplamaların Zn ve Zn/Al 85/15 kaplamalar ile düktil demirin korozyon performansını arttırdığı araştırılmalıdır.

Termal püskürtme kaplama ailesinden olan elektrik ark püskürtme kaplamaların korozyon performansı altlık ile iyi bağ oluşturmaları ile doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden yüzey hazırlama kaplama prosesi içinde en kritik faktördür. Fakat düktil demir borularda görülen oksit yüzeylerin varlığı, kaplama için yüzey hazırlığı yapılmadığını göstermektedir. Elektrik ark püskürtme prosesi ile kaplanan Zn ve Zn/Al alaşımları proste atomize gaz olarak havanın kullanılması sebebiyle oksitlenmektedir. Yüzeydeki oksitler ve kaplama esansında kaplama malzemesinde oluşan oksitlerin yüzey gerilimlerinden dolayı kaplama arayüzlerinde boşlukların olduğu tespit edilmiş olup bu konunun ilerde yapılacak çalışmalarda incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 9.3. Çinko ve Çinko/Alüminyum kaplama kalınlıkları ile aktif koruma performansları

KAYNAKLAR

- [1] DAVIDS J.R., Surface Engineering For Corrosion and Wear Resistance, ASM, 2001
- [2] ÇİZMECİOĞLU Z.İsale Hatlarının Katodik Korunması, İSKİ yayınları, 1998
- [3] ÇEVLİK, E, İsale ve Doğal Gaz Hatlarının Katodik İncelenmesi, SAÜ Yüksek Lisans Tezi, Ekim 1998.
- [4] CHAWIA, S.L., GUPTA, R.,K., Materials Selection for Corrosion Control, ASM; 1993
- [5] İBRAHİM E.S., “Corrosion control in electric power systems”, Electric Power Systems Research 52, pp:9-17, 1999
- [6] <http://www.angelfire.com/pop/myfile/EXTDIPhtml.htm>
- [7] SZELIGA J.M., and SIMPSON M.D., “Evaluating ductile iron pipe corrosion”, Materials performance, pp.22-28, July 2003
- [8] RAJAVI B.,and KLEINER Y., “Protecting ductile iron water mains:What protection methods Works best for condition?”, Journal of AWWA 95:11, pp. 110-125, November 2003
- [9] ASHBY M.F., JONES D:R:H:, “Engineering Materials”British Library Cataloguing in Publication Data, 1980
- [10] <http://www.metalogic.be/MatWeb/reading/soil/esoilhtm> “soil corrosivityparameters
- [11] <http://www.dipra.org>
- [12]... YILMAZ F,GULEC A, and CEVHER Ö, “Ductile iron pipe in harsh environments”,2nd. Conference on Application of Traditional and High Performance Materials in Harsh Environments, School of Engineering

American University of Sharjah, United Arab Emirate, January 17-19 2006

- [13] LEONG, C.S., Repair/Strengthening of Steel Angles Using Thermal Spray Metallizing, Master of Science Thesis, University of Manitoba, Canada, August 2000
- [14] JANDIN G., LIA H., FENG Z.Q., CODDET C., “Correlations between operating condition, microstructure and mechanical properties of twin wire arc sprayed steel coatings”, Received 22 April 2002; received in revised form 8 October 2002
- [15] PLANCE M.P., LIAO H., CODDET C., “Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure with a twin wire arc spray process and different working conditions”, LERMPS, UTBM – *Sevenans*, 90010 Belfort Cedex, France, Received 15 April 2003; accepted in revised form 18 July 2003.
- [16] JARDIN G, PLANCE P, LIAO H, and CODDET C, BELFORT/F, “Relationship between in-flight particle characteristic and coating microstructure for the twin wire arc spray process
- [17] HUSSARY N., “Investigations into the wire arc spraying process”, thesis of Doctor of Philosophy, University of Minnesota, May 2003
- [18] ZHU Y.L., LIAO H.L., CODDET C., XU B.S., “Characterization via image analysis of cross-over trajectories and in homogeneity in twin wire arc spraying”, *Surface and Coating Technology* 162, pp:301-308, 2003
- [19] TRAN T “The influences of preparation on the bond strength of zinc twin-wire arc spray coating on steel”, Master thesis, The Faculty of the department of chemical and materials engineering, San Jose University, August 2004
- [20] NEWBERY A.P., GRANT P.S., NEISER R.A. , “The velocity and temperature of steel droplets during electric arc spraying”, *Surface & Coatings Technology* 195, pp:91-101, 2005
- [21] RODIJNEN F.V., KNEPPER M. “Low energy arc spraying for applications in the capacitor industry”, International Thermal Spray Conference, Essen, Germany, 4-6 March 2002
- [22] KRÜGER J., KNEPPER M., “Arc spray coating for industrial application”, International Thermal Spray Conference, Essen, Germany, 4-6 March 2002

- [23] WANG X., HEBERLEIN J., PFENDER E., and GEBERICH W., “Effect of nozzle configuration, gas pressure, and gas type on coating properties in wire arc spray”, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 8, pp: 565-575, December 1999
- [24] Arc Flame Spray System, Process Manual” Metco Ltd., Cat. No. RG 555
- [25] David J.R., “Handbook of Thermal Spray Technology”, ASM Internatiol, 2004
- [26] OĞUZ B., “Ark Kaynağı”, OERLIKON Yayını, 1989
- [27] JONES R.T., REYNOLDS Q.G., and ALPORT M.J., “DC arc photography and modelling”, *Minerals Engineering*, Volume 15, Issue 11S1, pp.985-991, March 2002
- [28]... USHIO M., “Arc discharge and electrode phenomena”, *Pure and Application Chemical*, Vol. 60, No. 5, 809-814,1998
- [29] HUSSARY N.A., and HEBERLEIN J.V.R., “Atomization and particle-jet interactions in the wire-arc spraying process”, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume: 10 (4), pp. 604–610, December 2001
- [30] HALE D.L., SWANK W.D., HAGGARD D.C., “In-flight particle measurement of twin wire electric arc sprayed aluminum”, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 7 (1), pp.58-63, March 1998
- [31] STEFFENS H.D., and NASSENSTEIN K., “Influence of spray velocity on arc-sprayed coating structure”, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 8 (3), pp.454-560, September 1999
- [32] JANDIN G., PLANCHE M.P., LIAO H., and CODDET C., “Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure fort he twin wire arc spray process”, *International Thermal Spray Conference*, Essen, Germany, 4-6 March 2002
- [33] NEWBERY A.P., RAYMENT T., GRANT P.S. “A partical image velocimetry investigation of in-flight and deposition behaviour of steel droplets during electric arc sprayforming” Department of Materials, University of Oxford, Parks Road, Oxford OXI 3PH, UK, Reieved 27 January 2004

- [34] WATANABLE T., WANG X., PFENDER E., HEBERLEIN J., “Correlations between electrode phenomena and coating properties in wire arc spraying”, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku Tokyo152-8552, Japan, Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA
- [35] ZECHO M., NÜRNBERGER K.M., “Field tests on thermally sprayed zinc-(aluminum)-coating on steel”, Otto-Graf- Journal, Vol 10, pp.60-75, 1999
- [36] SAMPSON E.R., “Thermal spray coating for corrosion protection: An Overview”, Materials Performance, pp.27-30, December 1997
- [37] GUILMANY J.M, FERNANDEZ J.,DELGADO J, BARCELONA E,and A.V.BENEDETTI,ARARAQUARA/BR, “Drawbacks in corrosion resistance of thermal spray coatings against aqueous aggressive media” International Thermal Spray Conference, Essen, Germany, 4-6 March 2002
- [38] BERNDT, M.L, BERNDT C.C., “Thermal Spray Coatings”, Brookhaven National Laboratory, State University of New York, Stony Brook 05/24/2003
- [39] NCHRP Reports 528 “Thermally Sprayed Metal Coatings to Protect Steel Pillings: Final Report and Guide” National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of National Academies
- [40] galvanizeit.org
- [41] L B.S. and.KAIN R.M, “Structural Practices, Corrosion and Protection of Structures in Marine Atmospheres”, STRUCTURE Magazine, August 2004
- [42] DAILY S.F., GREEN W.K., “Galvanic Cathodic Protection of Reinforced and Prestressed Concrete Structures using CORRSpray-a Thermally Sprayed Aluminum Alloy”, Corpro Technical Library CP-51
- [43] TÜRK A.,“Çinko-alüminyum esaslı ZA-8 alaşımında alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi” doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, Eylül 1996
- [44] The Sorelmetal Book of Ductile Iron, Rio Tinto Iron &Titanium inc., Canada 2004

- [45] Covino B.S. Jr., Cramer S.D., Bullard S.J., Holcomb G.R. and Collins W.K., McGill G.E., "Thermal spray anodes for impressed current cathodic protection of reinforced concrete structure", *Materials Performance*, pp:27-33, January 1999
- [46] Gullien D.P., "Oxidation behavior of in-flight molten aluminum droplets in the twin-wire electric arc thermal spray process", Doctor of Philosophy thesis, Engineering and Applied Science, Idaho State University, May 2005
- [47] International Standard, case postale, 56. CH-1211 Genevre 20. Switzerland, 1998
- [48] Horn, G.L., "The design decision model for corrosion control of ductile iron pipelines", Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA), 2004
- [49] Kroon H.D., Lindemuth D., Sampson S. and Vincenzo T., "Corrosion Protection of Ductile Iron Pipe", *Materials Performance*, pp.24-29, January 2005
- [50] Bonds W. R., Barnard M.L., Horton M. A., Oliver L.G., "Corrosion and corrosion control of iron pipe", *Journal AWWA*, pp.88-99, June 2005
- [51] ARAMAKI K., "Effect of organic inhibitors on corrosion of zinc in an aerated 0.5. M NaCl solution", *Corrosion Science* 43, pp. 1985-2000, 2001
- [52] BÜTEFÜR M., "Influence of the aluminum content of sprayed zinc coatings on corrosion protection of steell", thesis of Doctora of Philosophy, Materialprüfungsanstalt Universitat Stuttgart, Otto-Graf-Institut, 2006
- [53] Knepper M., Spriestersbach J., "How to succesfully battle corrosion: Thermally spray coatings of zinc and zinc alloys", *Surface Engineering*, pp.384-391, 1997