

**T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BORU HATLARINDA OLUŞAN ELEKTROKİMYASAL
KOROZYON MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ VE ALINACAK
ÖNLEMLER**

Muharrem ERGİNBAŞ

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN
2018
Her Hakkı Saklıdır.**

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN danışmanlığında, Muharrem ERGİN BAY tarafından hazırlanan bu çalışma 10/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans olarak oybirliği/oy çokluğu (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

İmza:

Danışman :Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

İmza:

Üye :Doç. Dr. Murat GÜLNAHAR

İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 24.09/2018 tarih ve 32/16 sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Prof Dr. Paşa YALÇIN
Enstitü Müdürü

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

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Boru Hatlarında Oluşan Elektrokimyasal Korozyon Miktarının Ölçülmesi Ve Alınacak Önlemler” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 10/08/2018


**Muharrem
ERGİN BAY**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORU HATLARINDA OLUŞAN ELEKTROKİMYASAL KOROZYON MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ VE ALINACAK ÖNLEMLER

Muharrem ERGİN BAY

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

Korunmasız boru hatları, ister toprakta, ister atmosferde isterse su içerisinde olsun sürekli olarak korozyon ile karşı karşıyadır. Gerekli önlemler alınmadığı müddetçe boru hatlarının bozulması kaçınılmazdır. Korozyon olarak tanımlanan bu bozulma, bir boru hattının yapısal bütünlüğünü zayıflatır ve hatta daha da öteye geçerek tehlikeli madde transferinde çok tehlikeli bir araç haline gelebilir. Boru hattının bu duruma gelmemesi için yapısal ömrünü uzatacak önlemler alınmalıdır. Katodik koruma (CP), bu koruma yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntemde doğrudan elektrik akımı kullanılarak metal bir borunun dış korozyonu önlenmektedir. Uygulama olarak, bir boru hattının tamamının veya bir kısmının yeraltına gömülmesi veya suyun içine batırılması durumlarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, boru hatlarında korozyonu kontrol etmek için kullanılan koruma yapım yöntemleri incelenmiştir. Yapılan test uygulamaları neticesinde elde edilen veriler değerlendirilmiş ve bir boru hattının korozif durumlara karşı korunmasının sürdürülebilirliği irdelenmiştir. Etkili katodik koruma kontrolü sayesinde tüm boru hatlarının kullanım ömrünün uzatılabildiği gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak korozyon kontrol sistemlerinin kurulumunun, izlenmesinin ve muhafaza edilmesinin oldukça maliyetli olduğu bilinmektedir. Katodik koruma yöntemi ile olası korozyonlar önlenmiş ve buna bağlı olarak ortaya çıkan giderlerde en aza indirgenmiştir. Bu yolla, çevrenin korunmasına ve kamu güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunulmuştur.

2018, 114 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Boru Hatları, Galvanik Anot, Katodik Koruma, Korozyon

ABSTRACT

Master Thesis

MEASURING THE AMOUNT OF ELECTROCHEMICAL CORROSION IN PIPELINES AND MEASURES TO BE TAKEN

Muharrem ERGİN BAY

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Engineering

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Mustafa ŞAHİN

Unprotected pipelines are vulnerable to corrosion if buried in soil, exposed to the atmosphere or submerged in water. Without proper maintenance, every pipeline system will eventually fail. Corrosion can weaken the structural integrity of a pipeline and can become a dangerous vehicle during the transport of dangerous goods. However, if implemented correctly and maintained continuously, there is a technology that will extend the pipeline structural lifetime indefinitely. Cathodic protection (CP) is a technology that uses direct electrical current to prevent normal external corrosion of a metal pipeline. CP is used when a part or all of a pipeline is buried underground or immersed in water. In this work, commonly used coating, painting and cathodic protection methods for controlling corrosion in pipelines were examined individually and applied. The sustainability of the protection of the pipeline against corrosive environments was observed with the measurement and tests made as a result of the application. The effective lifetime extension of all pipelines has been studied with effective cathodic protection control. The increased risk of pipeline failure is far beyond the costs associated with the installation, monitoring and maintenance of corrosion control systems. Therefore, by using cathodic protection method applied to pipelines, it is aimed to prevent possible corrosion, to reduce the costs and risks of failures in this scope, to protect the environment and to protect the public security.

2018, 114 Pages

Keywords: Cathodic Protection, Corrosion, Galvanic Anode, Pipelines

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardımlarını ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN' e, ayrıca yüksek lisansım süresince yardımlarını benden esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Yüksel OĞUZ ve Doç. Dr. Murat GÜLNAHAR' a, bu çalışmanın temelini teşkil eden ve daha önce hazırlanmış olan şartnamelerden yararlanmama izin veren TANAP Projesinde de yer alan KORTEK ve TUARTEK firmalarına, bu süreçte desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Yasin ALTUNBAŐ ve Elçin KILIÇ' a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü borç bilirim.

Muharrem ERĖNBAY

Eylül, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. Korozyona Genel Bakış.....	6
2.2. Perspektifte Korozyon	7
2.2.1. Sıklık ve sonuçları.....	7
2.2.2. İletim boru hatları.....	9
2.2.3. Doğalgaz dağıtım boru hatları.....	10
2.3. Korozyona İlişkin Bilgi Durumu	11
2.4. Katodik Koruma.....	12
2.4.1. Nasıl çalışır.....	12
2.4.2. Katodik koruma temel teorisi.....	12
3. KURAMSAL TEMELLER.....	15
3.1. Korozyon Süreci	15
3.1.1. Korozyon hücresi	15
3.1.1.1. Anot	15
3.1.1.2. Katot.....	15
3.1.1.3. Elektrolit	16
3.1.1.4. Metalik yol.....	16
3.1.2. Konsantrasyon hücre korozyonu.....	17
3.1.2.1. Benzer ortam.....	18
3.1.2.2. Oksijen konsantrasyonu.....	18
3.1.2.3. Nemli / Kuru elektrolit.....	19
3.1.2.4. Beton / Toprak arayüzü.....	19
3.1.3. Galvanik korozyon.....	19

3.1.3.1. Benzer olmayan metaller	20
3.1.3.2. Eskiden yeniye sendromu	20
3.1.3.3. Bozuk veya çizik yüzey	21
3.1.3.4. Sıcaklık	21
3.1.4. Kaçak akım korozyonu	22
3.1.4.1. DC geçiş sistemleri	23
3.1.4.2. Yüksek gerilim doğru akım (HVDC) elektrik iletim hatları.....	24
3.1.4.3. Katodik koruma sistemleri.....	25
3.2. Korozyon Oranı	25
3.2.1. Korozyon hızına ilişkin elektriksel etkiler	26
3.2.1.1. Potansiyel fark	26
3.2.1.2. Elektrolitin dirençliliği.....	26
3.2.1.3. Temas direnci.....	26
3.2.1.4. Yapının kaplanması	26
3.2.1.5. Akım akışı miktarı	27
3.2.2. Korozyon oranı üzerine kimyasal etkiler	27
3.2.2.1. Sıcaklık	27
3.2.2.2. İyon konsantrasyonu.....	27
3.2.2.3. Elektron konsantrasyonu.....	28
3.2.2.4. Elektrolitin pH'ı	28
3.3. Galvanik Serisi.....	28
3.4. Katodik Koruma.....	30
3.5. Galvanik Katodik Koruma.....	33
3.5.1. Galvanik anot çeşitleri.....	35
3.5.1.1. Magnezyum anotları	35
3.5.1.2. Çinko anotlar.....	36
3.5.1.3. Alüminyum anotlar	36
3.5.2. Galvanik anot sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	38
3.5.2.1. Avantajları	38
3.5.2.2. Dezavantajları	38
3.6. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma	39
3.6.1. Harici akım doğrultucular	39

4. METERYAL ve YÖNTEM	41
4.1. Ortak Ekipmanlar	41
4.1.1. Voltmetre.....	41
4.1.1.1. Voltmetre ve direnç	41
4.1.1.2. Voltmetre seçimi.....	42
4.1.2. Özdirenç test cihazları.....	42
4.1.3. Kayıt cihazları	44
4.1.4. Duvar kalınlığı ve çukur ölçerler	45
4.1.5. Akım kesiciler	46
4.1.6. Darbe üreticileri	47
4.1.7. Boru ve kablo bulucuları.....	47
4.1.8. Test redresörleri	48
4.2. Katodik Koruma Bileşenleri	49
4.2.1. Referans elektrotları.....	49
4.2.2. Anotlar.....	52
4.2.2.1. Kurban (galvanik) anotları.....	52
4.2.2.2. Dış akım kaynaklı katodik koruma anotları.....	54
4.2.3. Doğrultulmuş akım kaynakları.....	56
4.2.4. Diğer akım kaynakları.....	59
4.2.5. Teller ve kablolar	60
4.3. Katodik Koruma Sistemlerinin Türleri	60
4.3.1. Dış akım kaynaklı katodik koruma	60
4.3.1.1. Doğrultucu türleri	61
4.3.1.2. Doğrultucu boyutunun seçilmesi	64
4.3.1.3. Dış akım kaynaklı sistemde zemin yatakları	64
4.3.1.4. Doğrultucu verimliliği	69
4.3.1.5. Doğrultucu montaj detayları	71
4.3.2. Galvanik anotlarla katodik koruma.....	72
4.3.2.1. Boru hattı kullanımı için galvanik anot çeşitleri.....	72
4.3.2.2. Galvanik anotların çalışma prensibi	74
4.3.2.3. Galvanik anot uygulamaları.....	74
4.3.2.4. Anot geri dolgusu.....	75
4.3.2.5. Anot ömrünün hesaplanması	75
4.3.2.6. Galvanik anot kurulum detayları	76

5. ARAŞTIRMA BULGULARI	81
5.1. Potansiyel Ölçümler.....	81
5.1.1. Katodik koruma altında olmayan boru hatları	81
5.1.2. Katodik koruma altındaki boru hatları	82
5.1.3. Uzak - Yakın potansiyel ölçümler.....	84
5.1.3.1. Yakın toprak	84
5.1.3.2. Uzak toprak.....	84
5.1.4. Hat üzerinde potansiyel ölçümler (yakın aralıklı).....	85
5.2. Hat Akımı Ölçümleri	86
5.2.1. Kalıcı iki kablolu test noktaları	86
5.2.1.1. Potansiyel test noktası (CP)	88
5.2.1.2. Dış akım drenaj noktası (DP).....	89
5.2.2. Kalıcı çok kablolu test noktaları	90
5.2.2.1. 4 kablolu kalibre edilen ortak test noktası (ATP).....	92
5.2.2.2. Yabancı hat test noktası (ETP)	93
5.2.2.3. Gövde test noktası (CTP).....	94
5.3. Toprak Direnç Ölçümleri	95
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	98
6.1. Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sistemleri.....	98
6.2. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemleri	99
KAYNAKLAR	102
EKLER	106
Ek-1. Potansiyel test noktası (CP).....	107
Ek-2. Dış akım drenaj noktası (DP)	108
Ek-3. 4 Kablolu kalibre edilen ortak test noktası (ATP).....	109
Ek-4. Yabancı hat test noktası (ETP)	110
Ek-5. Gövde test noktası (CTP)	111
Ek-6. Toprak direnç ölçümleri - 1	112
Ek-7. Toprak direnç ölçümleri - 2	113
Ek-8. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	114
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Diferansiyel korozyon hücresi	2
Şekil 1.2. Boru-toprak potansiyeli ölçümü	4
Şekil 2.1. Kara ve deniz boru hatlarındaki önemli olayların nedenleri.....	7
Şekil 2.2. Önemli korozyon olaylarının geçmişi.....	8
Şekil 2.3. Karada ve denizde tehlikeli sıvı iletim boru hatlarında önemli olayların nedenleri.....	9
Şekil 2.4. Karada ve denizde doğal gaz nakil boru hatlarındaki önemli olayların nedenleri	9
Şekil 2.5. Doğalgaz dağıtım boru hatlarındaki önemli olayların nedenleri	10
Şekil 2.6. Temel CP kurulumu.....	13
Şekil 3.1. Korozyon hücresi	16
Şekil 3.2. Korozyon hücresi, kuru pil batarya.....	17
Şekil 3.3. Farklı oksijen konsantrasyonlarının neden olduğu konsantrasyon hücresi.....	19
Şekil 3.4. Eski ve yeni çeliklerin neden olduğu galvanik korozyon hücresi.....	21
Şekil 3.5. Bir DC geçiş sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi.	24
Şekil 3.6. Bir HVDC iletim sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi.....	24
Şekil 3.7. Katodik koruma sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi	25
Şekil 3.8. Elektrolit pH' ın korozyon oranına etkisi	28
Şekil 3.9. Doğrudan ek galvanik (kurban) katodik koruma sistemi.....	34
Şekil 3.10. Dağıtılmış kurban (galvanik) katodik koruma sistemi	35
Şekil 4.1. Bataryalı multimetre	42
Şekil 4.2. Dört pimli toprak direnci ölçümü	43
Şekil 4.3. Toprak direnç ölçer	44
Şekil 4.4. Elektronik çift kanallı kaydedici.....	45
Şekil 4.5. Boru çukuru ölçer	45
Şekil 4.6. Ultrasonik duvar kalınlığı ölçer	46
Şekil 4.7. Kuvars kristal kontrollü akım kesicisi	47
Şekil 4.8. Boru ve kablo bulucu	48
Şekil 4.9. Taşınabilir test doğrultucu	49
Şekil 4.10. Ag / AgCl referans elektrotu.....	50
Şekil 4.11. Referans elektrot	51

Şekil 4.12. Toprak potansiyeli ölçüm kurulumu.....	52
Şekil 4.13. Toprakta kullanılmak üzere hazırlanan magnezyum anotları.....	53
Şekil 4.14. HSI anotlar için karbonlu anot yatağı.....	56
Şekil 4.15. Transformatör ve selenyum, silikon elemanlarına dayalı bir doğrultucu devresi.....	57
Şekil 4.16. Tipik sabit potansiyel doğrultucu diyagramı.....	58
Şekil 4.17. Termoelektrik alan jeneratörü.....	59
Şekil 4.18. Doğrultucu şematik diyagramları.....	61
Şekil 4.19. Hava soğutmalı ünite.....	62
Şekil 4.20. Yağa daldırılmış ünite.....	62
Şekil 4.21. Tipik sabit potansiyel doğrultucu diyagramı.....	63
Şekil 4.22. Tipik dikey anot kurulumu.....	65
Şekil 4.23. Tipik dikey anot tasarım tablosu.....	66
Şekil 4.24. Tipik yatay anot kurulumu.....	68
Şekil 4.25. Tipik yatay anot tasarım tablosu.....	69
Şekil 4.26. Doğrultucu verimliliği -60V, 60A tam yük DC çıkışlı doğrultucu ünitesi...	70
Şekil 4.27. Doğrultucu verimliliği -40V, 34A tam yük DC çıkışlı doğrultucu ünitesi...	70
Şekil 4.28. Direğe montajlı doğrultucu sistemi.....	71
Şekil 4.29. Zemine sabitlenmiş doğrultucu.....	72
Şekil 4.30. Tipik çinko anot.....	73
Şekil 4.31. Tipik magnezyum anot.....	73
Şekil 4.32. Tek paketli anot kurulumu.....	77
Şekil 4.33. Çift paketli anot kurulumu.....	77
Şekil 4.34. Çoklu galvanik anot kurulumu – 1.....	78
Şekil 4.35. Çoklu galvanik anot kurulumu – 2.....	79
Şekil 4.36. Boru tesisatının altındaki galvanik anot.....	80
Şekil 5.1. Boru-Toprak potansiyeli ölçümü.....	82
Şekil 5.2. Katodik koruma akımının akışı ile boru-ortam potansiyeli değişimi.....	83
Şekil 5.3. Uzak toprakların ölçüm değerlendirilmesi.....	84
Şekil 5.4. Yakın aralıklı potansiyel ölçümleri.....	85
Şekil 5.5. Hat üzeri boyunca yapılan ölçümler (katodik koruma ile).....	86
Şekil 5.6. Akım ölçümü, 2 kablolu test noktası.....	87
Şekil 5.7. Akım ölçümü, 4 kablolu test noktası.....	90
Şekil 5.8. Boş ampermetre devresi.....	91

Şekil 5.9. 4 kablolu kalibre edilen ortak test noktası (ATP).....	92
Şekil 5.10. Yabancı hat geçişi test noktası.....	93
Şekil 5.11. Gövde test noktası (CTP).....	94
Şekil 5.12. Toprak direnci ölçümleri.....	95



TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Nötr topraklarda ve suda kullanılan malzemeler için pratik galvanik serisi....	3
Tablo 2.1. Boru hatlarında korozyon maliyeti	7
Tablo 2.2. 1988 ve 2007 arasındaki önemli korozyon olaylarının ortalama yıllık sonuçları.....	8
Tablo 3.1. Bir yıllık bir amper akımında belirli metallerin kilo kaybı (1 Amp-Yıl).....	23
Tablo 3.2. Çeşitli referans hücreleri ile metallerin elektrik potansiyeli.....	30
Tablo 3.3. Çıplak çeliğin katodik koruması için güncel gereksinimler	32
Tablo 3.4. Kaplamalı çeliğin katodik korunması için güncel gereksinimler	33
Tablo 4.1. Magnezyum ve çinko anotlar için dolgu verileri	75
Tablo 5.1. Çelik boru direnci	88
Tablo 5.2. Toprak direnci ve korozivite derecesi.....	97

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

Φ	Potansiyel ve Potansiyel Dağılım
ω	Döngüsel Frekans
Ω	Diferansiyel Denklemin Geçerli Olduğu Alan
ρ	Özgül Direnç, Özdirenç
Γ	Bir Alanın Sınırı
Z	Empedans
V	Boru Çeliği Ve Anot Malzemesinde Gerilim Dağılımı
U	Voltaj, Potansiyel
T	Sıcaklık
t	Zaman
R	Elektriksel Direnç, Topraklama Direnci
Q	Yarı Potansiyel
p	Basınç, Gaz Basıncı
N	Kusur Yoğunluğu
L	Koruma Aralığı, Uzunluk
k	Kinetik Parametre
i	Akım Yoğunluğu
I	İyonik Güç
G	Gaz Sabiti
F	Faraday Sabiti
ρ_s	Yoğunluk, Özgül Ağırlık
r_p	Özgül Polarizasyon Direnci
m_p	Birim Uzunluk Başına Boru Kütlesi
Z_i	Derecelendirme Numarası (Toprak Agresifliği)
U_{on}	On Potansiyeli
U_{off}	Off Potansiyeli
U_S	Koruma Potansiyeli
U_H	Standart Hidrojen Elektroduna Karşı Ölçülen Potansiyel
R_u	Kaplama Direnci
R_p	Polarizasyon Direnci
Q''	Birim Hacimdeki Galvanik Anotların Mevcut İçeriği
Q'	Birim Kütle Başına Mevcut Galvanik Anotları Sabiti
K_w	Oksijen Korozyonunda Reaksiyon Sabiti

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım
ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
AOPL	Petrol Boru Hatları Derneği
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
BOTAŞ	Boru Hatları ile Taşıma A.Ş.
CP	Katodik Koruma
CSE	Bakır / Bakır Sülfat Elektrot
DC	Doğru Akım
DS	Downstream (Aşağı Akıntı)
EC	Dış Korozyon
ECDA	Dış Korozyon Direkt Değerlendirmesi
ERW	Elektrik-Direnç Kaynağı
GPS	Global Konumlandırma Sistemi
GTI	Gaz Teknolojisi Enstitüsü
HSI	Yüksek Silikonlu Demir
HVDC	Yüksek Voltaj Doğru Akım
IC	İç Korozyon
ICCP	Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma
ICDA	İç Korozyon Direkt Değerlendirmesi
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MAOP	İzin Verilen Maksimum Çalışma Basıncı
MFL	Manyetik-Akı Sızıntısı
MIC	Mikrobiyolojik Etkilenen Korozyon
NACE	Ulusal Korozyon Mühendisleri Birliği
NDT	Tahribatsız Muayene
NEB	Ulusal Enerji Kurulu
O&M	Operasyon Ve Bakım
OTD	Operasyon Teknoloji Geliştirme Şirketi
P&M	Önleyici Ve Azaltıcı Önlemler
PHMSA	Boru Hattı ve Tehlikeli Malzeme Güvenliği Yönetimi
R&D	Araştırma Ve Geliştirme
RFEC	Uzak Alan Girdap Akımı
SCC	Stres Korozyon Çatlama
TANAP	Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı
US	Upstream (Yukarı Akıntı)
UT	Ultrasonik Test

1. GİRİŞ

Korozyon, bir malzemenin çevresel etkileşim yoluyla bozulması olayı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, hem doğal olarak meydana gelen hem de insan yapımı olan tüm malzemeleri kapsar. Bu çalışma, yer altı boru hatlarında kullanılan karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin korozyonuna odaklanmaktadır. Bu noktada korozyon oluşumunda ki en temel soru, metallerin neden paslandıdır. Bunun cevabı, korozyon gibi bir işlemin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini söyleyen termodinamik alanındadır. İkinci bir mantıksal soru ise, korozyon oranının ne kadar olduğu ve bir boru hattında ne kadar süreceğidir. Korozyon kinetiği, bu soruya bir cevap vermede yardımcı olmaktadır. Her iki konu ilerleyen bölümlerde daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu kısımda yeraltı korozyonu konusuna giriş yer almaktadır.

Önemli miktarda enerji, madenlerden çıkarılan bir metalin içine konularak, yüksek enerjili bir duruma getirilir. Yüksek enerjili duruma getirilen metaller, genel olarak alüminyum için çelik, boksit ($Al_2O_3 \cdot H_2O$) için hematit (Fe_2O_3) gibi metal oksitleridir. Bir malzemenin daima en düşük enerji durumunu isteme eğilimi termodinamiğin en temel prensibidir. Başka bir deyişle, çoğu metal termodinamik olarak kararsızdır ve daha düşük bir enerji durumunu aramaya eğilimlidir. Metallerin düşük enerjili oksitlere dönüşme süreci korozyon olarak adlandırılır.

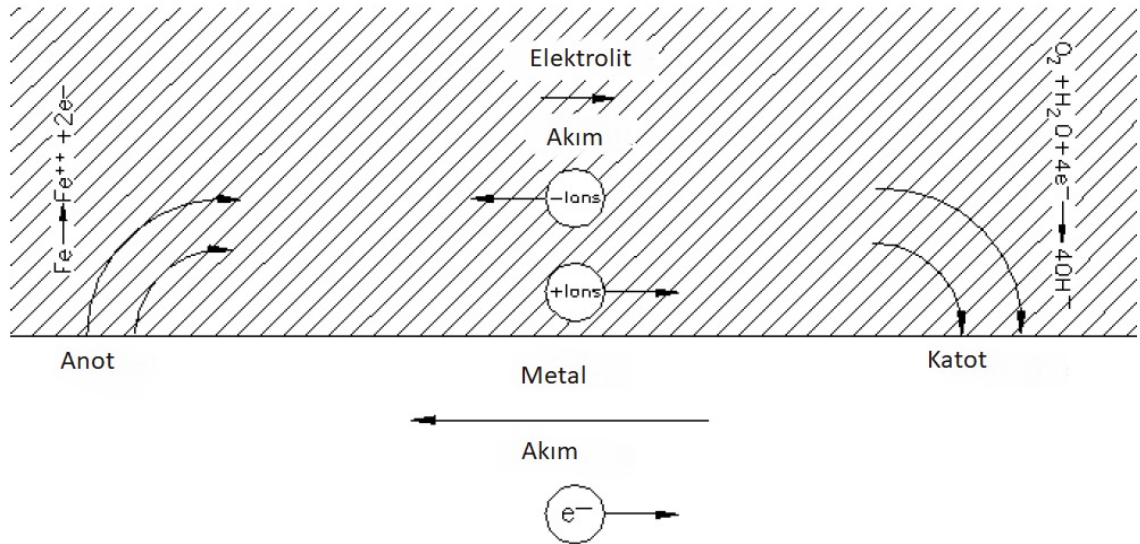
Yaygın olarak kullanılan boru hattı malzemelerinin korozyonu, sulu (su içeren) ortamlarda oluşur ve doğada elektrokimyasaldır. Sulu ortam, elektrolit olarak da adlandırılır ve yeraltı korozyonu durumunda, nemli topraktır. Korozyon işlemi, metalin [Denklem (1.1)] elektronlarından ayrılmasını ve bu elektronların oksijen veya su ile indirgeme reaksiyonuna [Denklem (1.2) ve (1.3)] girerek tüketilmesini içerir (Peabody, 2001).



Oksidasyon (oksitlenme) reaksiyonu genellikle anodik reaksiyon, indirgeme reaksiyonu ise katodik reaksiyon olarak adlandırılmaktadır. Korozyonun meydana gelmesi için her iki elektrokimyasal reaksiyonda gereklidir. Oksidasyon reaksiyonu, gerçek metal kaybına neden olurken; indirgeme reaksiyonu, oksidasyon reaksiyonu tarafından serbest bırakılan elektronların tüketilmesine neden olur.

Oksidasyon ve indirgeme reaksiyonları yarı hücre reaksiyonları olarak da adlandırılır ve lokal ve fiziksel olarak 2' ye ayrılır. Elektrokimyasal reaksiyonlar fiziksel olarak ayrıldığında, işlem bir diferansiyel korozyon hücresi olarak adlandırılır. Farklı bir korozyon hücresi şeması, Şekil 1.1' de verilmiştir. Metalin oksitlendiği yer, anot veya anodik bölge olarak adlandırılır. Bu bölgede, elektrik akımı (pozitif bir yük akışı olarak tanımlanır), metal yüzeyden doğrudan elektrolite akar. Ayrıca bu akım, elektrolit içinde oksijen, su veya diğer bazı türlerin azaldığı bölgeye yönelir. Bu bölgeye katot veya katodik bölge denir. Diferansiyel korozyon hücresinin dört gerekli bileşeni vardır.

1. Bir anot olmalı
2. Bir katot olmalı



Şekil 1.1. Diferansiyel korozyon hücresi

3. Anodu ve katodu elektriksel olarak bağlayan metalik bir yol olmalıdır. (Normalde, bu boru hattının kendisi olacaktır.)

4. Anot ve katot, elektriksel olarak iletken bir elektrolit (normal olarak nemli toprak) içine daldırılmalıdır. (Peabody, 2001; Szeliga, 1994).

Korozyon işleminin elektrokimyasal yapısı, korozyonu tespit sürecinde, yeraltı yapılarının korozyonunu tespit etmek, hafifletmek ve tamamen ortadan kaldırmak için çözümler sunar.

Bir metal parçası toprak gibi bir elektrolit içerisine konduğunda, metal-elektrolit ara yüzeyinde bir gerilim oluşacaktır. Bu gerilimi doğrudan ölçemeyiz, ancak bir voltmetre kullanarak, toprağa yerleştirilen iki farklı metal arasındaki voltajı ölçebiliriz. Aynı zamanda, bir metal ve bir referans elektrot arasındaki voltaj farkını da ölçebiliriz. Toprak ortamlarında, kullanılan en yaygın referans elektrot bakır-bakır sülfat referans elektrodu (CSE)' dur.

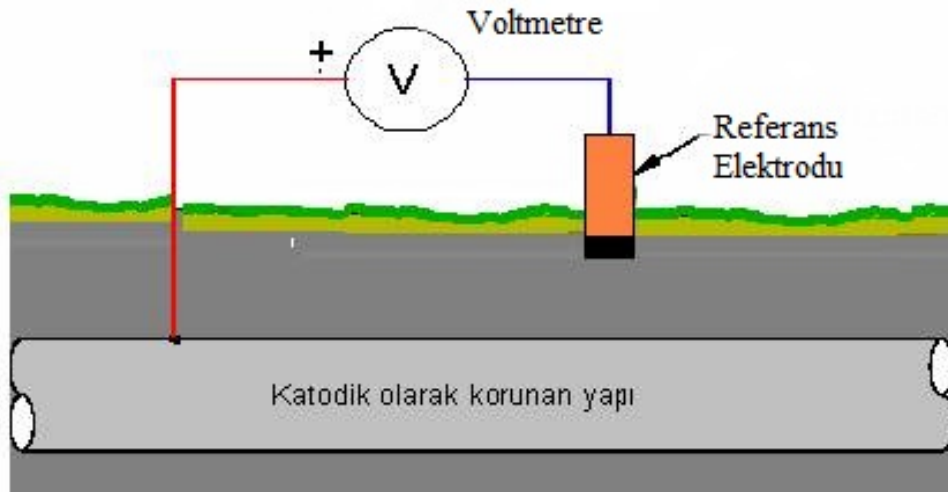
Bir galvanik seri, metallerin ve alaşımların, korozyon potansiyellerine göre düzenlenmiş bir listesidir. Tablo 1.1, nötr topraklarda ve suda bulunan metaller için bir galvanik seri göstermektedir, bu da karbonun listelenen metaller arasında en yüksek potansiyele, magnezyumun ise en düşük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 1.1.Nötr topraklarda ve suda kullanılan malzemeler için pratik galvanik serisi (Wagner and Traud, 2006)

Malzeme	Potansiyel Volt
Karbon, Grafit	+0,3
Çelikte Değirmen Ölçeği	-0,2
Platin	0'dan -0,1'e
Yüksek Silikonlu Döküm Demir	-0,2
Bakır, Pirinç, Bronz	-0,2
Betonda Hafif Çelik	-0,2
Kurşun	-0,5
Dökme Demir (Grafitsiz)	-0,5
Hafif Çelik (Paslanmış)	-0,2 ila -0,5
Hafif Çelik (Temiz ve Parlak)	-0,5 ila -0,8
Ticari Saf Alüminyum	-0,8
Alüminyum Alaşım (% 5 Çinko)	-1,05
Çinko	-1,1
Magnezyum Alaşımı (% 6 Al,% 3 Zn,% 0.15 Mn)	-1,6
Ticari Saf Magnezyum	-1,75

Tablo 1.1 aynı zamanda, hafif çelik potansiyelinin, yüzeyin temiz ya da paslı olma durumuna göre değişebileceğini göstermektedir.(Peabody, 2001; Wagner and Traud, 2006).

Potansiyel ölçümler, bu tip diferansiyel korozyon hücrelerinin varlığını tespit etmek için yer altı boru hatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Boruya bir elektrik bağlantısı yapılır ve borunun potansiyeli boru üzerine yerleştirilmiş bir referans elektroduna göre ölçülür. Bu işlem Şekil 1.2’ de şematik olarak gösterilmektedir. Normal olarak, referans elektrot negatif bir okuma elde etmek için dijital voltmetrenin negatif ucuna bağlanır. Tablo 1.1’ de gösterildiği gibi, topraklardaki potansiyellerin çoğu negatiftir. Bu tip ölçümlerle yapının en negatif bölgeleri anotlardır ve diferansiyel korozyon hücreleri nedeniyle hızlandırılmış korozyona uğrarlar.



Şekil 1.2. Boru-toprak potansiyeli ölçümü

Akım ölçümleri ayrıca diferansiyel korozyon hücrelerini tespit etmek için kullanılabilir. Bu hücreler, boru veya diğer yeraltı yapıları üzerinde yapılan ölçümlerle tespit edilebilen uzun hat akımları oluşturur. Ohm yasası ($V = I \times R$) sayesinde topraktaki akım akışının bir gerilim gradyanı oluşturacaktır. Bu gradyan, iki referans elektrotunu boru üzerine yerleştirerek ve voltaj farkını ölçerek tespit edilebilir. Voltaj ölçümleri diferansiyel hücre akımının yönünü göstermek için kullanılabilir. Boru hattındaki anodik ve katodik alanlar, boru hattı boyunca alınan bir dizi hücre-hücre potansiyeli ölçümü gerçekleştirilerek tespit edilmektedir.

Yeraltı boru hatlarında korozyonun azaltılmasına yönelik başlıca yöntemler, kaplamalar ve katodik korumadır (CP). Her biri daha detaylı ele alınacak olsa da, bu iki yöntem kısaca burada açıklanmaktadır.

Kaplamalar, korunacak metalik yüzey üzerinde elektriksel olarak yalıtkan bir malzemedir. metalik yüzeyi tamamıyla kaplayacak bir film oluşturmak için tasarlanmıştır. Bu tür bir kaplamanın işlevi, metali çevreleyen elektrolit ile doğrudan temastan (elektrolitin metale temas etmesini önleyerek) izole etmesini ve elektrokimyasal reaksiyonların kolayca gerçekleşemeyeceği yüksek bir elektrik direncini oluşturmaktır. Gerçekte, tüm kaplamalar, genel kaliteye bakılmaksızın, tatbik sırasında veya kaplanmış borunun taşınması veya kurulumu sırasında oluşan delikler içerir. Kaplamalardaki bozulmalar, kaplamanın tümüyle bozunması, toprak gerilmeleri veya borunun zeminde hareket etmesi sonucu da meydana gelebilmektedir. Kaplamanın bozulması ayrıca boru yüzeyinden ayrılmasına ve metalin yer altı ortamına maruz kalmasına neden olabilmektedir. Bir bozulma veya dağınık bir bölge içinde yüksek bir korozyon oranı, kaplamanın boru yüzeyindeki büyük bir kısmı etkili bir şekilde koruduğu durumlarda bile, bir sızıntıya neden olabilir. Bu nedenle, kaplamalar CP'nin yokluğunda yer altı boru hatlarında nadiren kullanılmaktadır. Katodik olarak korunan bir boru üzerindeki bir kaplamanın ana işlevi, boru hattındaki maruz kalan metalin yüzey alanını azaltmak ve böylece katodik olarak metali korumak için gerekli akımı en aza indirmektir.

Katodik koruma ayrıca, bir elektrokimyasal hücreyi katot haline getirerek, metal yüzeyin korozyon oranını düşürmektedir. Bu, bir harici güç kaynağı kullanımıyla veya bir galvanik anot kullanılarak metalin negatif yöne kaydırılmasıyla gerçekleştirilir. Gerekli CP akımını sağlamak için, dış akım kaynaklı bir sistemde, yapıya redresör olarak adlandırılan bir güç kaynağı, bir galvanik anot sisteminde ise, çinko veya magnezyum gibi bir kurban anot malzemesi kullanılmaktadır (Peabody, 2001; Davies and Scott, 2003).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu çalışma gaz ve sıvı boru hatlarına yönelik korozyon tehdidine genel bir bakış sunarak, öncelikle boru hatlarında, iç ve dış korozyonun önlenmesi, tespiti ve yönetimine odaklanmaktadır. Çalışma, boru hattı korozyon kontrolünün durumu, mevcut bilgi boşlukları ve mevcut araştırma ve geliştirme yönüyle ilgili bilgiler sağlamaktadır.

2.1. Korozyona Genel Bakış

Korozyon, karayolu iletim boru hatlarındaki (hem gaz hem de tehlikeli sıvılar) arızaların önde gelen nedenlerinden biridir. Aynı zamanda gaz dağıtım şebekeleri ve servislerinin yanı sıra petrol ve gaz toplama sistemleri için de bir tehdit oluşturmaktadır.

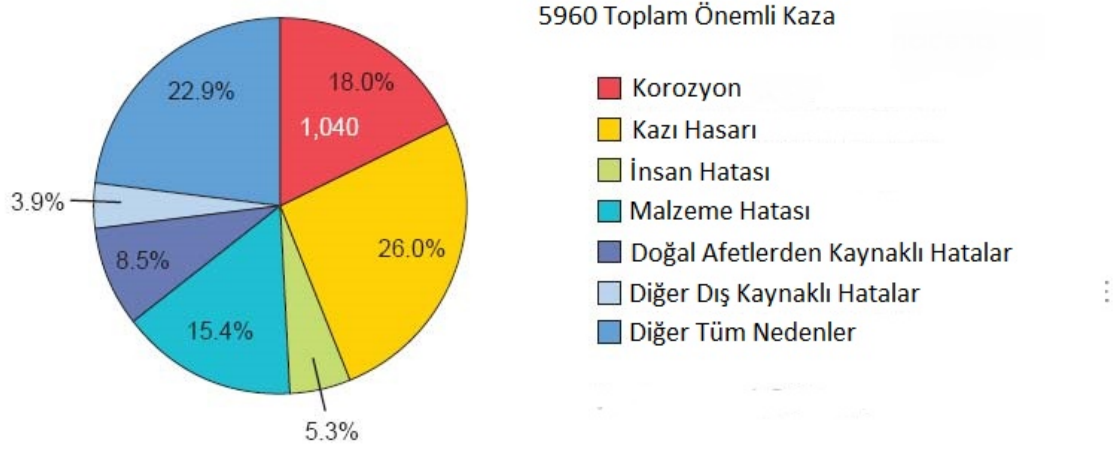
PHMSA(Boru Hattı ve Tehlikeli Malzeme Güvenliği Yönetimi), boru hattı güvenliği açısından önemli olan olayları tanımlamak için belirli kriterler kullanılmaktadır. Bir olay, aşağıdaki koşullardan herhangi birini karşılıyorsa önemli olarak tanımlanır:

- Hastanın yaralanma durumu veya hastanede yatması sırasında ölümü
- Toplam maliyetin 200.000 ABD Doları veya daha fazlası olma durumu
- Beş varil veya daha fazla sıvının havaya, 50 varil veya daha fazla sıvının toprağa karışması
- Sıvı salınımlarının bir yangın veya patlamaya neden olması

Şekil 2.1' de gösterildiği gibi, korozyon, 1988'den 2008'e kadar olan 20 yıllık dönemde önemli olayların (hem karada hem de açık denizde) yüzde 18'inden sorumlu olmuştur. Buna karşılık, aynı dönemde kazı hasarı yüzde 26' dır. Aynı dönemde, hastanede yatış gerektirecek yaralanma veya ölüm ile sonuçlanan olayların (karada ve açık denizde) sadece yüzde 5,8' ini oluşturan korozyon, tüm ciddi olayların yüzde 34,5' inden sorumlu olmuştur.

NACE şu anda tüm korozyon türlerine karşı toplam maliyetin 276 milyar \$ olduğunu tahmin ediyor. Karada bulunan gaz ve sıvı iletim boru hatlarının korozyonu bu toplamın 7 milyar dolarını oluşturmaktadır. Tablo 1.1, karayolu iletim boru hatları için 1990' larda tahmini korozyon maliyetlerini göstermektedir. Maliyetler, sermaye, işletme, bakım ve arızaların maliyeti gibi bölümlere ayrılmaktadır. Boru hattı rehabilitasyonu ve yenileme

maliyetleri sermaye maliyetlerine dâhildir. İşletme ve bakım maliyetleri, korozyon ile ilişkili toplam maliyetlerin yaklaşık yarısını içermektedir.



Şekil 2.1. Kara ve deniz boru hatlarındaki önemli olayların nedenleri(PHMSA, 2018)

Tablo 2.1’ de boru hatlarının korozyon maliyeti gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Boru hatlarında korozyon maliyeti (PHMSA, 2018)

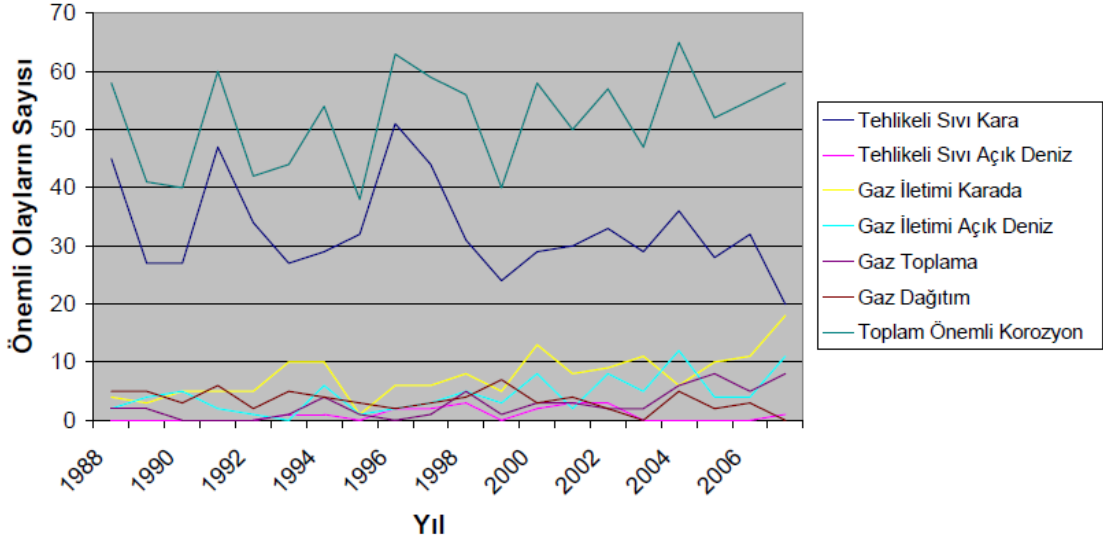
	Düşük Tahmin	Yüksek Tahmin	Ortalama	
	(Milyon ABD Doları)	(Milyon ABD Doları)	(Milyon ABD Doları)	Yüzde
Sermaye Maliyeti	2,500	2,840	2,670	38
İşletme ve Bakım (O&M)	2,420	4,840	3,630	52
Hataların Maliyeti (O&M Hariç)	471	875	673	10
Korozyona Bağlı Toplam Maliyet	5,391	8,555	6,973	100

2.2. Perspektifte Korozyon

2.2.1. Sıklık ve sonuçları

Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi, son 20 yılda boru hatları üzerinde yılda 40 ila 65 önemli korozyon olayı yaşanmış olup, bu rakam yılda ortalama olarak 52'dir. Tipik olarak, yarısı veya daha fazlası karada sıvı boru hatlarını içermektedir; Bir sonraki en yüksek sıklık, karadan geçen gaz iletim boru hatlarını içermektedir. Boru hattı arıza oranının 20 yıllık

bir aralıkta önemli ölçüde artmadığı gerçeği, korozyon kontrolünde endüstri çabalarının etkinliğini göstermektedir.



Şekil 2.2. Önemli korozyon olaylarının geçmişi (PHMSA, 2018)

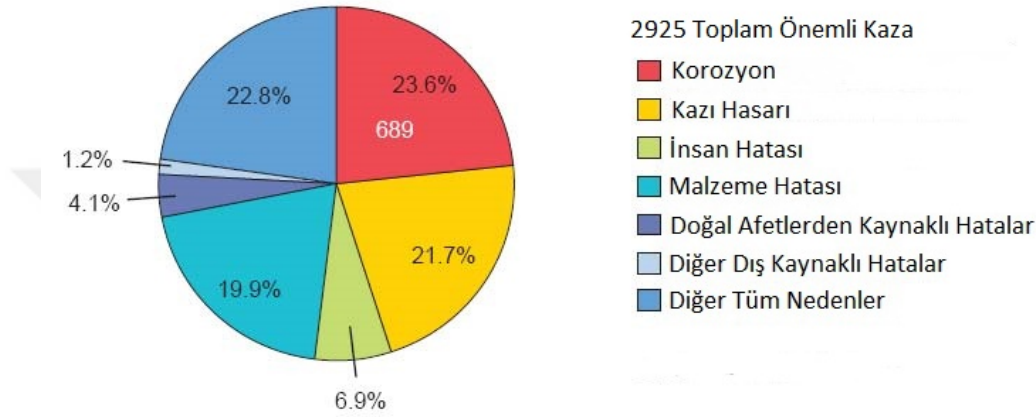
Bu 20 yıllık dönemde yaşanan 1.074 önemli olayda 30 ölüm, 100 yaralanma ve 551 milyon dolar maddi hasar meydana gelmiştir. Tablo 2.2, önemli korozyon olayı sonuçlarıyla ilgili karşılaştırılabilir veriler sunmaktadır (Romanoff, 1989; PHMSA, 2018).

Tablo 2.2. 1988 ve 2007 arasındaki önemli korozyon olaylarının ortalama yıllık sonuçları (PHMSA, 2018)

Boru Hattı Türü	Kilometre		Numara	Ölümler	Yaralanmalar	Maddi Hasar
	1988	2007				
Tehlikeli Sıvı İl.	153K	166K				
Kara			33	0.05	0.8	\$14M
Deniz			0.9	0	0	\$1.4M
Gaz İletimi						
Kara	284K	294K	7.7	0.6	0.2	\$8.2M
Deniz	7K	7K	4.4	0	0	\$1.2M
Gaz Toplama	32K	20K	2.7	0	0.2	\$1.2M
Gaz Dağıtım	802K	1172K	3.4	0.8	3.9	\$0.6M
Toplam	1278K	1659K	51.9	1.4	5.2	\$25M

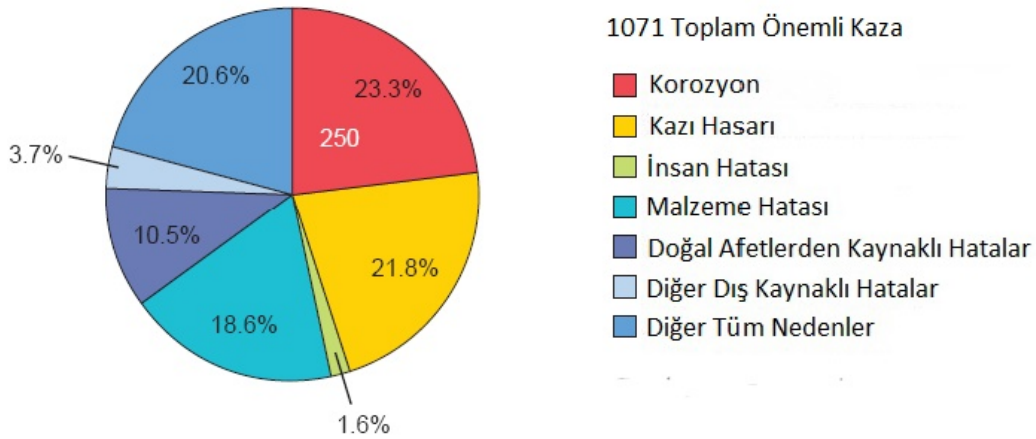
2.2.2. İletim boru hatları

Şekil 2.3 ve 2.4' de gösterildiği gibi, korozyon hem tehlikeli sıvı hem de gaz iletim boru hatlarındaki önemli arızaların yaklaşık yüzde 23' ünü oluşturmaktadır. Mutlak sayılar bakımından, yirmi yıllık dönemde, gaz boru hatlarına kıyasla sıvı boru hatlarıyla ilişkili daha önemli arızalar ve daha fazla maddi hasar meydana gelmiştir.



Şekil 2.3. Karada ve denizde tehlikeli sıvı iletim boru hatlarında önemli olayların nedenleri(PHMSA, 2018)

Şekil 2.4 gaz nakil boru hatlarındaki önemli olaylar gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Karada ve denizde doğal gaz nakil boru hatlarındaki önemli olayların nedenleri(PHMSA, 2018)

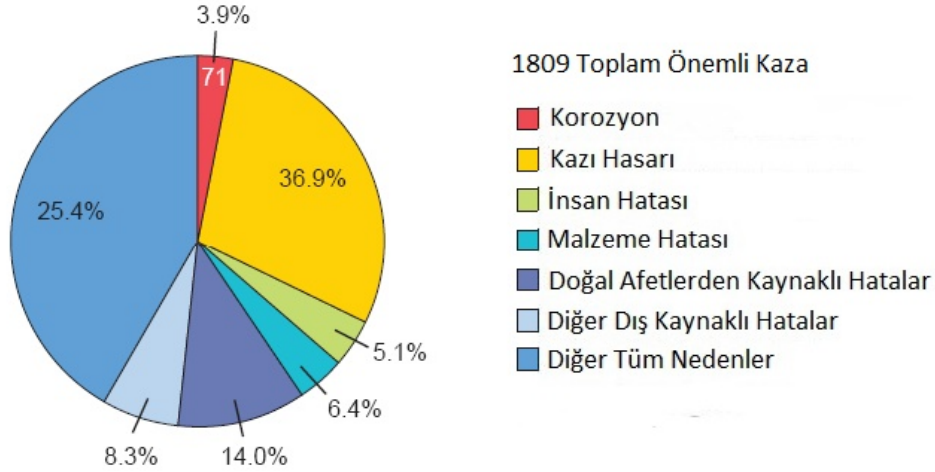
Korozyon arızaları sızıntıya veya kırılmaya neden olabilmektedir. Sızıntılar daha yaygındır. Gaz boru hatlarındaki sızıntılar genellikle maddi hasara neden olmaz çünkü

kaçan gaz atmosfere yayılır. Bununla birlikte, bir sıvı hattında oluşan sızıntılar toprağı, yer altı suyunu veya yüzey suyunu kirletmektedir. Tersine, bir gaz boru hattındaki sızıntıların patlamaya ve yangına neden olma olasılığı daha yüksektir, bu da ortalamada daha fazla ölüm ve yaralanmalara neden olmaktadır. (Romanoff, 1989; PHMSA, 2018).

Sıvı boru hatlarındaki korozyon olaylarının hemen hemen tamamı kara üzerindeki hatlarda meydana gelmektedir. Açık deniz hattındaki çalışmalar, çok fazla ne ölümcül ne de yaralanmalara neden olmuştur, bu da şaşırtıcı değildir, çünkü bir bireyin açık denizdeki bir kazaya yakınlık olasılığı son derece uzaktır.

2.2.3. Doğalgaz dağıtım boru hatları

Dağıtım boru hatlarının çoğunluğu metalik olmadığından ve genellikle daha yoğun nüfuslu bölgelerde yer aldığından, dağıtım boru hatları için hasar oluşumu, iletim boru hatlarına göre çok daha yaygındır. Çeşitli nedenlere bağlı olarak dağıtım boru hatlarının kaza oranı Şekil 2.5' de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Doğalgaz dağıtım boru hatlarındaki önemli olayların nedenleri(PHMSA, 2018)

Dış korozyon, dağıtım boru hatlarında korozyona bağlı arızaların yüzde 90' ından fazlasına neden olmuştur(Romanoff, 1989; PHMSA, 2018).

2.3. Korozyona İlişkin Bilgi Durumu

Bilimsel açıdan bakıldığında, hem nedensel mekanizmalar hem de kontrol yöntemi açısından korozyon iyi anlaşılmamaktadır. Bir çelik parçanın, bir tuzlu su bardağı içindeki korozyon davranışı tahmin edilebilir ve kontrol edilebilir.

Bununla birlikte, mevcut endüstri bilgisi seviyesine rağmen, boru hatları korozyondan dolayı küçük ancak önemli sayıda arıza yaşamaya devam etmektedir. Bunun nedeni, gömülü bir boru hattının korozyon davranışının, bir bardak tuzlu sudaki bir çelik parçasından çok daha karmaşık olmasıdır. Korozyonun araştırılmasını ve / veya hafifletilmesini zorlaştıran en önemli faktörler şunlardır:

- Gömülü bir boru hattını çevreleyen ortamın kimyasal özelliklerinin yeterince anlaşılabilmesi
- Oksijen içeriğindeki, nem içeriğindeki ve boru uzunluğundaki ve borunun yukarıdan aşağı kısmındaki kimyasal bileşimlerindeki çeşitlilik, korozyona neden olabilecek konsantrasyon hücreleri olarak işlev görebilmesi
- Toprağın nem içeriğinin ve oksijen içeriğinin de zamanla değişmesi
- Kaplama kalitesinin bir boru hattının uzunluğu boyunca değişmesi
- Kaplamaların boru yüzeyinden ayrılarak zamanla yeraltı suyunun çeliğe temas etmesi ve bunun hesaplamalarının yanlış ya da tam yapılamaması
- Yüzey kaplaması, alttaki korozyon koşullarının yer üstü yüzey araştırmasını önlemesi
- Toprak özelliklerinde ve yerleşimlerdeki fiziksel değişimler (boşluklar, vb.) Katodik koruma akımının dağılımını etkilemesi
- Borunun dış yüzeyinin görsel olarak tam olarak incelenmemesi
- Yakındaki gömülü yapılardan kaçak akımların, bir boru hattının katodik koruma sistemine müdahale edebilmesi

Bu nedenle, boru hatlarında katodik koruma için birçok değişken problemle karşılaşmaktadır. Çoğunlukla belirsiz kimyasal ve fiziksel özelliklerden oluşan bir ortamda bulunan çok uzun (ve genellikle büyük çaplı) bir metal yapıdaki korozyonun önlenmesi için tüm bu problemlerin hesaplanması yapılarak bir dizi önlemler alınabilir (Metin, 2007).

2.4. Katodik Koruma

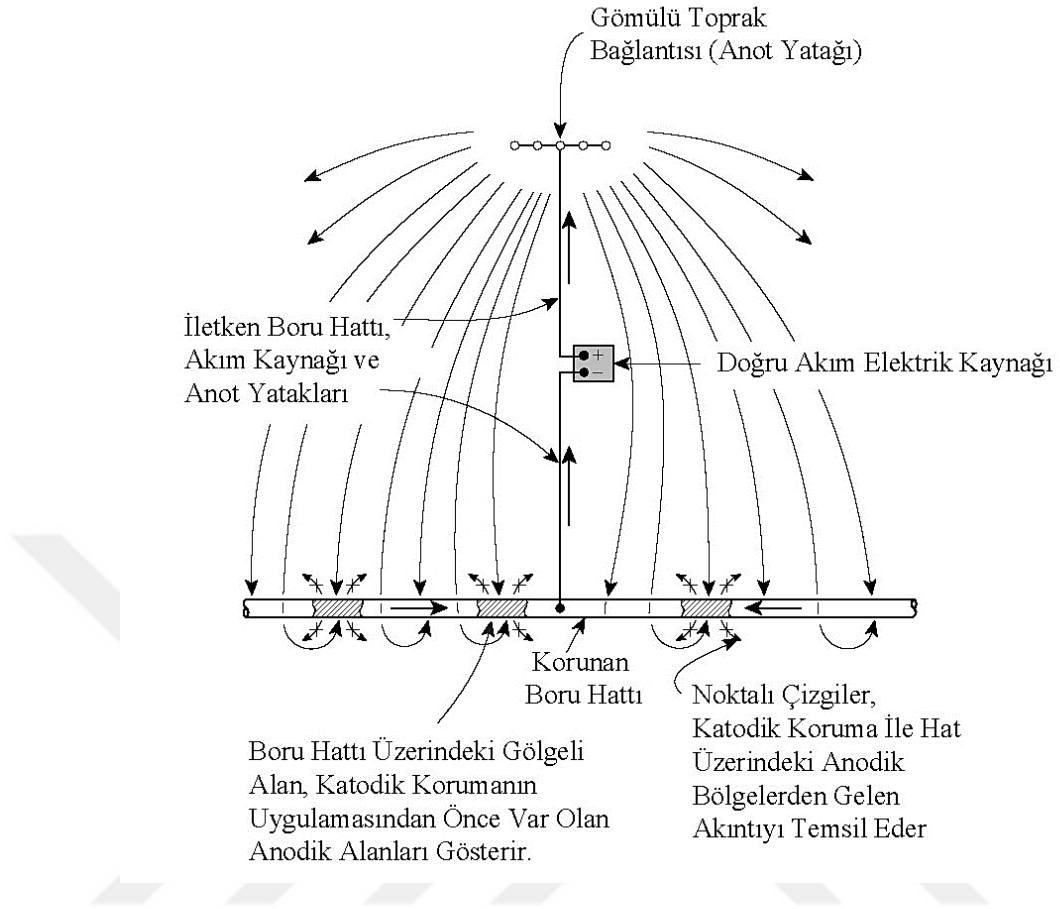
2.4.1. Nasıl çalışır

Yıllar geçtikçe, katodik koruma (CP), korozyon kontrolü çalışmaları yapanlar tarafından bir tür gizemli bir terim olarak ele alınmaya devam etmiştir. Görünüşe göre, birçok kişi CP'nin karmaşık bir prosedür olduğunu düşünüyor. Gerçekte, CP'nin temel fikri çok basittir. Bununla birlikte, eğitilmiş boru hattı korozyon mühendislerinin, boru hattı sistemlerine temel CP kavramını uygulamak ve çok yüksek düzeyde etkin korozyon kontrolü sağlamak için gerekli bilgi ile donatmaları gerekmektedir.

2.4.2. Katodik koruma temel teorisi

Giriş bölümünde tanımlandığı üzere, CP bir elektrokimyasal hücreyi katot yaparak bir metal yüzeyin korozyon oranını düşüren bir tekniktir.

Boru hattı korozyonuna neden olan çeşitli koşullar üçüncü bölümde daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Her durumda, boru yüzeyinde anodik alanlar ve katodik alanlar bulunmaktadır. Anodik bölgelerde akım, boru hattı çeliklerinden, bu çeliği çevreleyen elektrolite (toprak veya su) akar. Katodik bölgelerde akım elektrolitten boru yüzeyine akar ve korozyon oranı azalır.



Şekil 2.6. Temel CP kurulumu(Peabody, 2001)

Doğru akımın boru hattının tüm yüzeylerine yayılması zorlanır. Bu doğru akım, boru hattının potansiyel yönde potansiyelini değiştirir ve bu da metalin korozyon hızının düşmesine neden olur. Akan akım miktarı doğru ayarlandığında, boru hattındaki anodik alanlardan boşalan korozyon akımını yenecek ve bu noktalarda boru yüzeyine bir net akım akışı olacaktır. Tüm yüzey daha sonra bir katot olacaktır ve korozyon oranı azalacaktır. Bu kavram, Şekil 2.6' da gösterilmiştir.

Eğer, Şekil 2.6' da gösterildiği gibi, akım daha önce boşaltma akımını azaltmaya zorlanmışsa, CP sisteminin harekete geçirici voltajı, korozyon hücrelerinin harekete geçirici voltajından daha büyük olmalıdır. Borudaki orijinal katodik alanlar, anodik bölgelerden akımı toplar. CP kapsamında, bu katodik alanlar, CP sisteminden daha fazla akım toplamaktadır.

CP sisteminin çalışması için, akım, toprak bağlantısından (zemin yatağı) deşarj edilmelidir. Bu yer yatağının tek amacı akıntıyı boşaltmaktır. Akıntıyı boşaltırken, yer

yatağındaki anotlar korozyon ile tüketilir. Normal boru hattı metallerinden çok daha düşük bir oranda tüketilen (yıllık / kilogram / yıl başına) zemin yatağı için malzemelerin kullanılması tercih edilmektedir. Bu anotlar için oldukça uzun bir ömür sağlayacaktır (Peabody, 2001; Jakobs and Hewes, 1984).



3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Korozyon Süreci

Korozyon sürecinin doğasını anlamak, katodik koruma sistemlerinin prensiplerini anlamada yardımcı olmaktadır. Metallerin korozyonu bir elektrokimyasal işlemdir. Bu kimyasal reaksiyonlar elektrolite maruz kalan metalin yüzeyinde meydana gelir. Oksidasyon reaksiyonları (korozyon) anodun yüzeyinde, indirgeme reaksiyonları ise katodun yüzeyinde meydana gelir. Bu oksidasyon reaksiyonlarını yeniden konumlandırarak korozyon kontrol sistemleri, korunan yapıyı bir katot haline getirerek “katodik” bir koruma sistemi oluşturur.

3.1.1. Korozyon hücresi

Korozyon, bir malzemenin çevresi ile reaksiyona girmesi sonucunda bozulması olayıdır. Bir metalde, bu bozulma esas olarak bir elektrokimyasal işlem ile gerçekleşir. Elektrokimyasal süreç dört farklı bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırası ile; anot, katot, elektrolit ve metalik yoldur. Bu dört bölüm, “korozyon hücresi” olarak adlandırılan şeyi oluşturmaktadır. Elektrokimyasal korozyon, sadece korozyon hücresinin dört kısmı mevcut olduğunda oluşur.

3.1.1.1. Anot

Korozyon hücresinin en belirgin kısmı anottur. Bu, korozyonun meydana geldiği yerdir. Anot, elektriğin metal yüzeyinden elektrolitlere kimyasal yollarla geçtiği korozyon hücresindeki bir noktadır. Bu kimyasal reaksiyon, bir elektronu kaybetme ve genellikle oksijen olmak üzere başka bir elementle birleşen metal ile karakterize edilen bir oksidasyon reaksiyonudur. Çelik durumunda, ortaya çıkan malzeme demir oksittir (pas).

3.1.1.2. Katot

Korozyon hücresinin ikinci kısmı katottur. Korumanın meydana geldiği yer burasıdır. Katot, elektrolitten metal yüzeyine elektriğin kimyasal yollarla geçtiği korozyon hücresindeki bir noktadır. Bu kimyasal reaksiyon, elektrolitin elektrolit ile geçişi ile karakterize edilen bir indirgeme reaksiyonudur.

3.1.1.3. Elektrolit

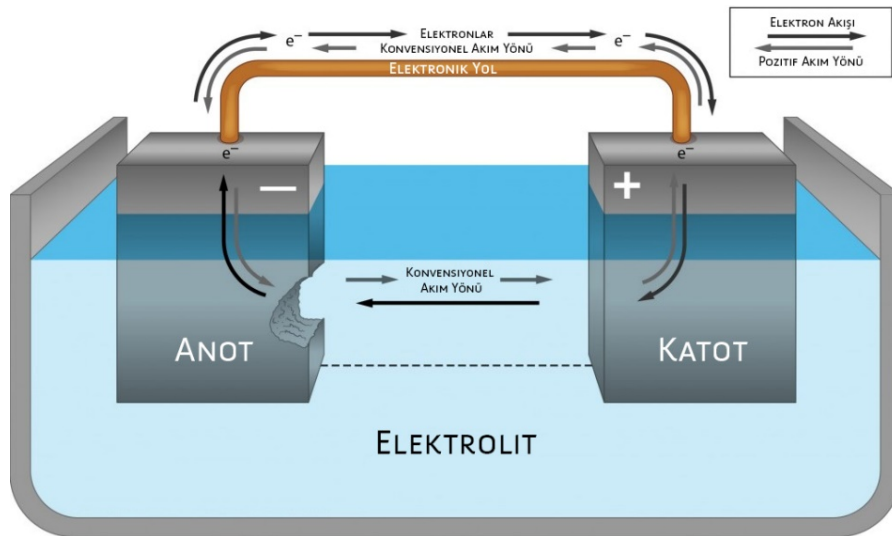
Korozyon hücresinin üçüncü kısmı elektrolittir. Elektrolit iyonların aktığı yerdir. Elektrolit, iyonların geçişine izin verecek şekilde hem anot hem de katot ile temas halinde olan herhangi bir materyaldir. Elektrolit, oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarının meydana gelmesine izin veren korozyon hücresinin bir parçasıdır. Elektrolit, metal elektrotlara (anot ve katot) iyon geçişi için gerekli olan elementlerin veya atomların kaynağını içermektedir.

3.1.1.4. Metalik yol

Korozyon hücresinin dördüncü kısmı metalik yoldur. Metalik yol devreyi tamamlar ve elektronların akmasına izin verir. Korozyon hücresine ait şema Şekil 3.1’ de gösterilmektedir. Elektron akışının meydana gelmesi için elektrokimyasal korozyon mevcut olmalıdır. Bir tank veya boru hatlarında, bu tank veya boru metalik yolun bizzat kendisi olabilir veya farklı metalik yapıya sahip bir bağ olabilir.

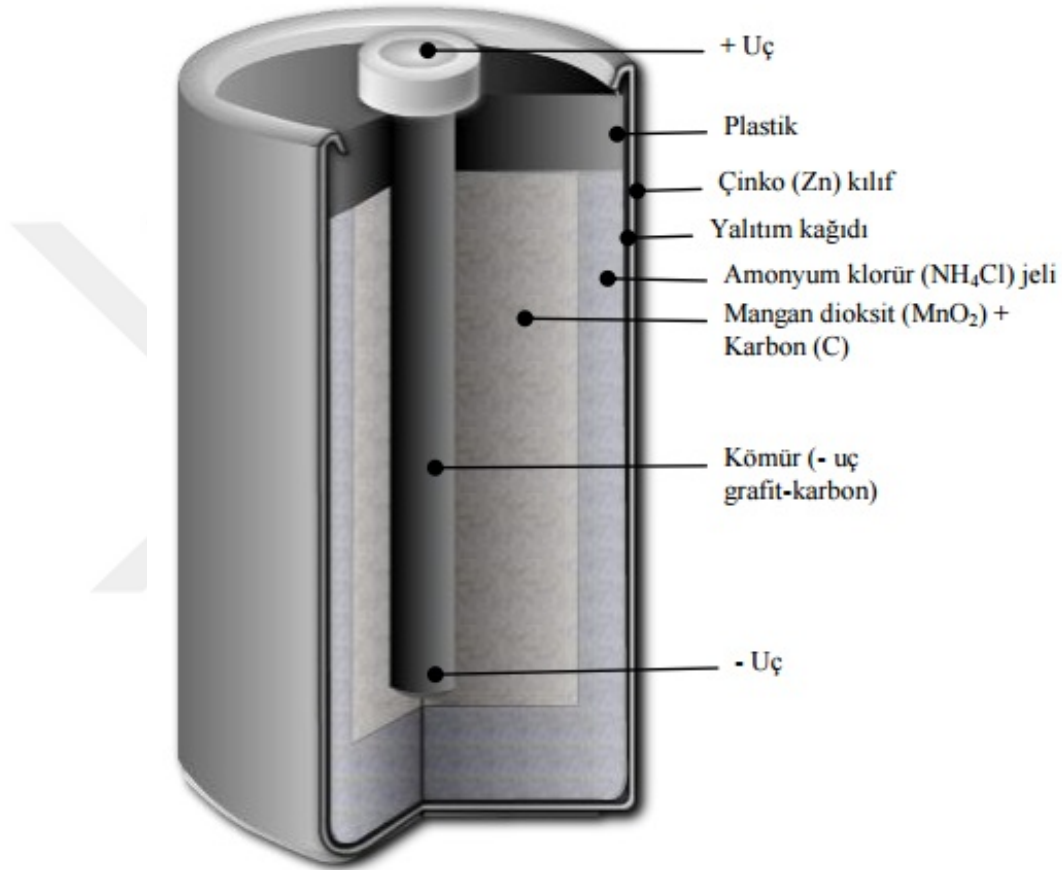
Korozyon hücresinin dört bölümünün de elektrokimyasal korozyon oluşması için mevcut olması gerekir. Dört parçanın tümü mevcut olduğunda, bir kapalı devre durumu oluşacaktır.

Korozyon, sadece oksidasyon reaksiyonlarının meydana geldiği hücrenin anodunda meydana gelmektedir. Korozyon hücresinin bilinen bir örneği Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi kuru pil bataryadır. (Çelebi, 2018).



Şekil 3.1. Korozyon hücresi (Çelebi, 2018)

Korozyon reaksiyonu, genel elektrokimyasal korozyon reaksiyonunun devam etmesi için hücrenin bileşenlerinin her birinin bulunmasının ve çalışmasının gerekli olduğu dögüsel bir olgu olarak düşünölmelidir. Elektrokimyasal hücrenin bileşenlerinden herhangi biri çıkarılırsa veya anot veya katottaki bireysel reaksiyonların oluşması engellenirse, tüm korozyon işlemleri önlenir (Gev, 2018; Bard and Faulkner, 2001).



Şekil 3.2. Korozyon hücresi, kuru pil batarya (Gev, 2018)

3.1.2. Konsantrasyon hücre korozyonu

Bu korozyon türü, bir elektrokimyasal korozyon hücresinden kaynaklanmaktadır. Elektrolit içindeki bileşenlerin konsantrasyonundaki farklılıklar, potansiyel farka neden olur. Metal ile temas eden elektrolit içindeki herhangi bir fark, metalde ayrı anot ve katot bölgelerini oluşturur. Bir elektrolite maruz kalan herhangi bir metal ölçülebilir bir potansiyel veya voltaj sergiler. Aynı metal, farklı elektrolitlerde farklı bir elektrik potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel fark, metali anodik ve katodik bölgeler

oluşturmasına neden olur. Ayrıca bir elektrolit ve bir metalik yol olduğunda, devre tamamlanır, akım akar dolayısıyla elektrokimyasal korozyon meydana gelecektir.

Toprak birçok farklı malzemenin birleşimidir. Birçok farklı toprak türü vardır ve aynı tür topraklar bile bileşenlerinin yoğunluğunda büyük ölçüde değişiklik gösterir. Bu nedenle, gerçekten homojen toprak diye bir şey yoktur.

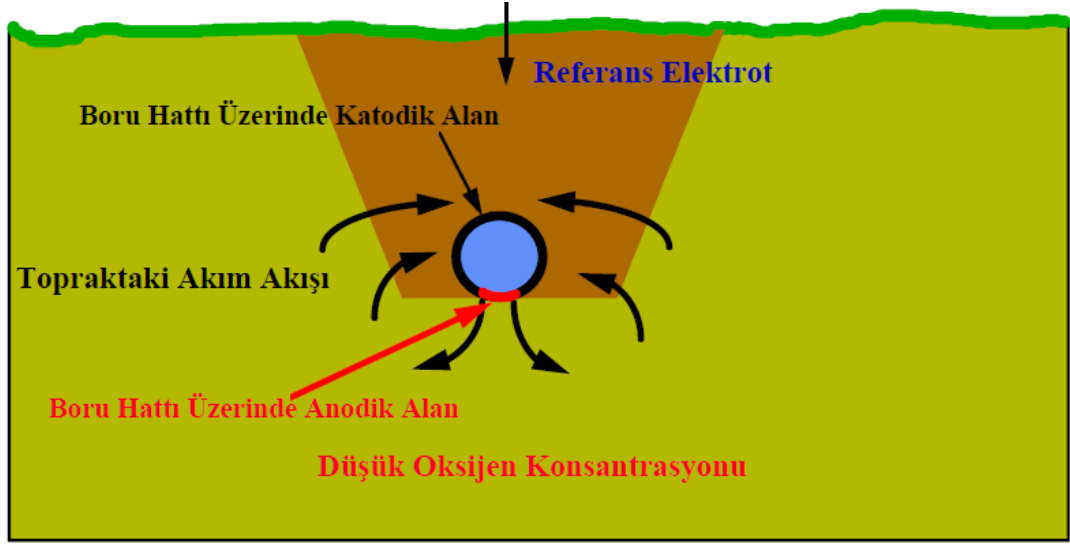
Bu toprak çeşitliliği, metal yüzey üzerinde elektrokimyasal korozyon hücrelerine yol açan potansiyel farklılıklara (elektromotor kuvvet) neden olur. Sıvılar daha düzenli olma eğilimindedir, ancak oksijen gibi bazı bileşenlerin konsantrasyonunda yoğunluk ve akış hızları değişiklik gösterebilir. Biyolojik organizmalar, neredeyse tamamen doğal sulu ortamlarda bulunurlar, bu organizmalar, yapısal materyallerin yüzeyine yapışmaya ve büyürken, biyolojik bir film veya biyofilm oluşmasına neden olurlar. Bu filmler materyali çevreleyen elektrolitlerden farklıdır ve birçok olumsuz etkiye sahiptir. Aşağıda, yaygın konsantrasyon hücre korozyonu örnekleri verilmektedir (Gev, 2018; Pope vd.,1990).

3.1.2.1. Benzer ortam

Korozyon özelliklerine sahip 50' den fazla genel toprak türü vardır. Farklı toprak türlerinin her biri farklı toprak direnci değerlerine sahiptir. Boru hatları birçok farklı türde topraktan geçer. Metal, farklı topraklarda farklı elektrik potansiyelleri sergiler. Bu topraklardaki elektriksel potansiyel, hangi alanların anodik hale geldiğini ve hangi alanların katodik hale geldiğini belirler. Hem anot hem de katot elektriksel olarak sürekli olduğundan ve elektrolit her ikisi ile temas halinde olduğundan, akımlar oksidasyon ve indirgeme reaksiyonları (korozyon ve koruma) ile sonuçlanır. Dolayısıyla boru hattında anot olan bölge korozyona uğrar. (UFC, 2018; Pope vd.,1990).

3.1.2.2. Oksijen konsantrasyonu

Düşük oksijen konsantrasyonuna sahip bir elektrolite maruz kalan boru hatları, genellikle, yüksek oksijen içeriği olan bir elektrolite göre anodik özellik gösterir. Bu, kazı alanına bir boru hattı yerleştirildiği zaman en yüksektir, daha sonra dolgu, yapının kalan kısmının etrafına yerleştirilir. Dolgu, kazı ve dolgu çalışması sırasında nispeten yüksek miktarda oksijen içerir. Şekil 3.3' de farklı oksijen konsantrasyonuna maruz kalmış boru hattı gösterilmektedir. Metal, farklı seviyelerde oksijen içeriğine sahip alanlara maruz kaldığında da bu durum ortaya çıkabilir.



Şekil 3.3. Farklı oksijen konsantrasyonlarının neden olduğu konsantrasyon hücresi (UFC, 2018)

3.1.2.3. Nemli / Kuru elektrolit

Elektrolitte düşük ve yüksek su içeriğine maruz kalan boru hatları, bu farklı alanlarda farklı potansiyeller sergiler. Genel olarak, daha fazla su içeriğine sahip alan, elektrokimyasal korozyon hücresindeki anot haline gelir. Bu, bir boru hattının kuru alanlara bitişik bir bataklık bölgesinden geçmesi durumunda en şiddetlidir.

3.1.2.4. Beton / Toprak arayüzü

Çimento ile temas halinde olan ve başka bir elektrolite maruz kalan boru hatları, her alanda farklı potansiyeller sergiler. Çimento ile temas halinde olmayan alan bu elektrokimyasal korozyon hücresindeki anot haline gelir. Beton ve toprak (veya su) ile temas halinde olan bir boru hattı, iki farklı elektrolit içerisindeki metalin yüksek potansiyel farkı nedeniyle çok şiddetli bir korozyon hücresi olabilir (UFC, 2018; Pope vd.,1990).

3.1.3. Galvanik korozyon

Bu korozyon türü, metalin potansiyel farklılıklarından dolayı hücrenin bir kısmının anot diğer kısmının katot olmasıyla meydana gelir. Farklı metallerin aynı elektrolitte farklı potansiyelleri vardır. Bu potansiyel fark, hücrenin itici gücü veya voltajıdır. Herhangi bir elektrokimyasal korozyon hücresinde olduğu gibi, eğer elektrolit anottan katoda sürekli

ise ve elektron için mevcut bir metalik yol varsa, devre tamamlanır ve akım akar ve elektrokimyasal korozyon meydana gelir.

3.1.3.1. Benzer olmayan metaller

Bu tip korozyonun en belirgin şekli, elektrolit içerisindeki iki farklı metal türünün bir şekilde metalik olarak bağlanması veya kısa devre yapmasıdır. Bütün metaller bir elektrik potansiyeli gösterir; Her metalin kendine özgü potansiyeli veya voltajı vardır. İki farklı metal bağlandığında, en negatif potansiyele sahip metal anottur; Daha az negatif metal katottur. “Aktif” bir metal, yüksek negatif potansiyele sahip metaldir, bu da diğer birçok metalle karşılaştırıldığında anodik olduğu anlamına gelmektedir. “Kararlı” bir metal, düşük negatif potansiyele sahip bir metaldir, bu da diğer birçok metalle karşılaştırıldığında katodik olduğu anlamına gelmektedir. Benzer olmayan metal korozyonu, iki metal veya “sürüş voltajı” arasındaki potansiyel fark en büyük olduğunda en şiddetlidir.

Aktif metallerin örnekleri; yeni çelik, alüminyum, paslanmaz çelik (aktif durumda), çinko ve magnezyumdur. Soy metallerin örnekleri; aşınmış çelik, paslanmaz çelik (pasif halde), bakır, bronz, karbon, altın ve platinumdur. Kaplanmış çelik boru hatları, çıplak bakır topraklama sistemlerine veya diğer bakır boru hatlarına (genellikle su hatları) metalik olarak bağlandığında bu tip korozyonun bir örneği ortaya çıkar.

3.1.3.2. Eskiden yeniye sendromu

Bu tip korozyon da oldukça şiddetli olabilmektedir. Çelik, üretim sürecinde uygulanan işlemlerden dolayı metaller arasında en kararsızdır. Yeni çelik, aşınmış çelikten daha aktiftir. Yeni çeliğin yüksek negatif potansiyeli ile eski çeliğin düşük negatif potansiyeli arasındaki potansiyel fark, bu elektrokimyasal korozyon hücresinin itici gücü veya voltajıdır. Eski bir çelik boru hattının arızalanması ve boru hattının küçük bir bölümünün kaplanmış yeni bir çelik profil ile değiştirilmesi, bu tip korozyonun ciddi ve yaygın bir örneğidir. Şekil 3.4’ de eski ve yeni çeliklerin neden olduğu galvanik korozyon hücresi gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Eski ve yeni çeliklerin neden olduğu galvanik korozyon hücresi (Di Biase and Cigna, 2008)

3.1.3.3. Bozuk veya çizik yüzey

Bozuk veya çizik metal yüzeyinde anodik hale gelir. Bu eskiden yeniye sendromuna benzer. Bu elektrokimyasal korozyon hücresi, çizilen yüzeyin elektrik potansiyelindeki fark ile yapının kalan yüzeyine göre ayarlanır. Dışlı boru, civata, boru anahtarlarından ve diğer aletlerden gelen işaretler bu tip elektrokimyasal korozyon hücresinin genel örnekleridir.

3.1.3.4. Sıcaklık

Yüksek sıcaklıkta olan metal, daha düşük bir sıcaklıktaki aynı metale göre daha anodiktir. Daha önce tartışıldığı gibi, daha aktif bir metal daha soylu bir metale göre daha anodiktir. Yüksek sıcaklık bir metali daha aktif hale getirdiğinden, metalin geri kalanı için anodik hale gelir. Bu elektrokimyasal korozyon hücresi, yüksek sıcaklıklarda olan metallerde hızlandırılmış korozyona neden olabilir (Di Biase and Cigna, 2008; UFC, 2018).

3.1.4. Kaçak akım korozyonu

Bu tür elektrokimyasal korozyon hücresine, elektrolitte potansiyel bir eğim oluşturarak veya metalde bir akım indükleyerek, yapıyı etkileyen bir dış kaynaktan gelen elektromotor bir kuvvet neden olur. Bu, yapının bir kısmını anot, başka bir kısmını katot haline getirmeye zorlar. Metalik bir yapı, elektrolit içinde akan akım için daha düşük dirençli bir yol sunduğunda, akım toplanması ve boşaltılması meydana gelir. Bu tip korozyon, çeşitli kaynaklarla toprağı zorlayabilecek çok yüksek gerilimler nedeniyle son derece şiddetli olabilir. Elektrolit içindeki potansiyel gradyan, akımı biriktirmek için yapının bir kısmını (bir katot haline gelmesine) ve akımı deşarj için yapının diğere bir kısmını (anot haline gelmesine) zorlar.

Dış kaynaktan gelen akımın metal yapıyı terk ettiğı ve harici güç kaynağı katodu yakınında elektrolit içerisine girdiğı yerlerde kaçak akım korozyonu meydana gelir. Harici güç kaynağı, hücrenin itici gücü veya voltajıdır. Kaçak akım korozyonu, doğal olarak korozyondan farklıdır. Çünkü dış etkilerle indüklenen bir elektrik akımından kaynaklanır ve temel olarak konsantrasyon hücreleri, öz direnç, pH ve galvanik hücreler gibi çevresel faktörlerden bağımsızdır. Akım (korozyon) miktarı, harici güç kaynağına ve metalik yapı içerisindeki anot ile katot arasındaki yolun direncine bağılıdır.

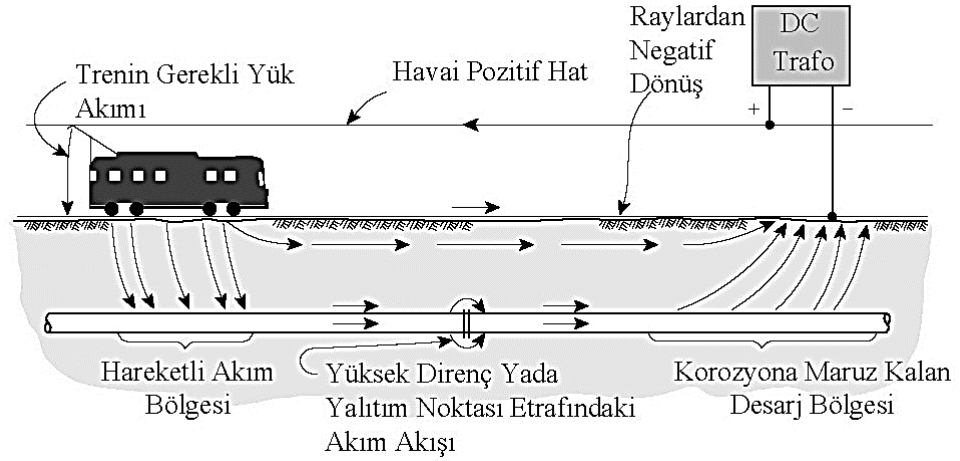
Kaçak akım korozyonuna bir örnek, korunan yapı anotlarının yakınında elektriksel olarak sürekli yabancı bir yapı geçtiğinde ve daha sonra korunmuş yapıyla (katot) kesiştiğinde, mevcut katodik koruma sistemlerinden kaynaklanır. Bu korozyon genellikle yabancı yapıda meydana gelen arızalardan sonra bulunur. Kaçak akım korozyonu en şiddetli korozyon şeklidir çünkü metalik yapı bir anot olmaya zorlanır ve akım miktarı doğrudan metal kaybına dönüşür. Elektrolit içine girecek bir yapının akım kayıp miktarı ölçülebilirse, bu doğrudan metalik kilo kaybına dönüştürülebilir. Farklı metallerin mevcut deşarja maruz kaldıklarında belirli miktarda kilo kaybı vardır. Bu kilo kaybı normal olarak bir yıl boyunca (bir amper yıl) bir amper akımı nedeniyle kaybolan metalin kilogramı olarak ölçülür. Tablo 3.1' de farklı metallere ait kilo kayıpları verilmiştir. Örneğin, çelik boru hattında sadece iki amperlik bir kaçak akım mevcut olsaydı, sonuç bir yılda 18,2 kilogram çelik kaybı olurdu. Kaplanmış bir boru hattı için bu, kaplamada ki bir kusurun çok kısa bir sürede, hatta bazen sadece birkaç gün içinde delme ile sonuçlanmasına neden olabilir (Szeliga, 1994; UFC, 2018).

Tablo 3.1. Bir yıllık bir amper akımında belirli metallerin kilo kaybı (1 Amp-Yıl)

METAL (İYON)	KİLO KAYBI (KG)
Magnezyum	4,00
Alüminyum	2,95
Çinko(Zn++)	10,66
Krom	5,65
Kadmiyum	18,39
Demir(Fe++)	9,13
Kobalt	9,63
Nikel	9,58
Bakır(Cu+)	20,77
Bakır (Cu++)	10,39
Kalay	19,39
Kurşun (Pb++)	33,87
Karbon (C+)	1,91
Karbon (C++++)	1,00

3.1.4.1. DC geçiş sistemleri

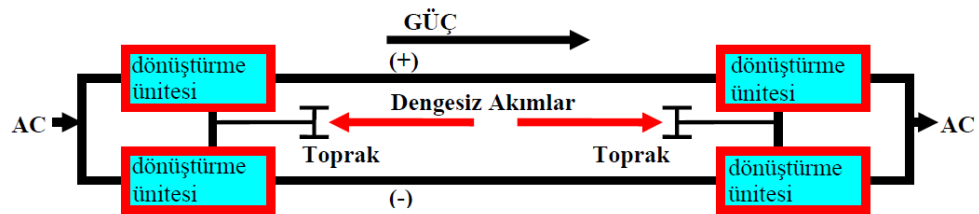
Elektrikli taşıtlar, metro sistemleri, sokak demiryolu sistemleri, madencilik sistemleri ve DC ile çalışan arabalar, kaçak akım korozyonunun başlıca kaynaklarıdır. Şekil 3.5' de bunun bir örneği gösterilmektedir. Bu sistemler, 600 voltluk bir çalışma potansiyeline sahip binlerce amperlik yük akımını çalıştırabilir. Parçalar zemin seviyesinde döşenir ve topraktan tamamen yalıtılmaz. Yük akımının bir kısmı yeryüzünden geçebilir. Bir hat arızası durumunda, bu akımlar çok yüksek olabilir. Bu rayların yakınında (birkaç m) gömülü metalik yapılar, kaçak akım etkilerine maruz kalabilir. Paralel uzanan, rayların altından geçen ya da DC trafo merkezinin yakınında bulunan boru hatları, özellikle bu kaçak akıma eğilimlidir. Boru hattında yüksek dirençli bağlantılar varsa, akım eklemi bypass edebilir, boru hattını eklemin bir tarafında bırakabilir ve diğer tarafa dönebilir. Kaçak akımın kaynağı hareket ettiğinden, bu akımların bunu etkileyip etkilemediğini görmek için 24 saat boyunca metalik yapıyı izlemek gerekebilir.



Şekil 3.5. Bir DC geçiş sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi (Boteler and Seager, 1998).

3.1.4.2. Yüksek gerilim doğru akım (HVDC) elektrik iletim hatları

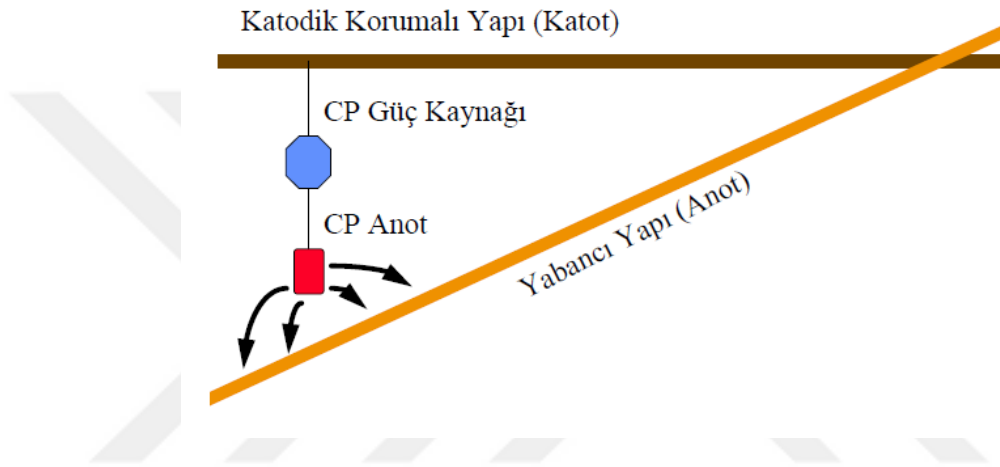
Güç dağıtım sistemleri başka bir kaçak akım kaynağıdır. Çoğu güç sistemi AC'dir, bazen topraklanmış nötr olan DC sistemleri de kullanılabilir. Bu iletim hatları, arıza koşullarında, topraklamayı DC akımı için geri dönüş yolu olarak kullanabilir. DC, üç telli iletim yerine yalnızca iki tel gerektirdiğinden, bazen büyük miktarlarda gücün büyük mesafelere taşınması gerektiğinde kullanılır. Dönüşüm üniteleri, iletim hatlarınının her bir ucunda bulunur. Bu dönüşüm birimlerinin her biri geniş bir toprak şebekesine bağlanır. Dengesiz bir yük, bu iki toprak şebekesi arasındaki toprakta bir akıma neden olur. Bu dengesiz akımlar doğal olarak sabit değildir, yön ve büyüklükte farklılık gösterirler. HVDC hat voltajları 750.000 volt veya daha yüksek olabilir. Şekil 3.6' da bir HVDC iletim sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Bir HVDC iletim sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi (Boteler and Seager, 1998).

3.1.4.3. Katodik koruma sistemleri

Katodik koruma sistemleri, diğer metalik yapılarda önemli bir kaçak akım kaynağıdır. Bu elektrokimyasal korozyon hücresinin bir örneği, yabancı bir boru hattının bir anodun yanından geçtiği sırada korunmuş yapı (katot) ile kesiştiği zaman oluşmasıdır. Bir sonraki bölümde bu problemlerin test edilmesi ve azaltılması için ayrıntılı prosedürler ve yöntemler anlatılmaktadır. Şekil 3.7’ de katodik koruma sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi gösterilmektedir (UFC, 2018; Boteler and Seager, 1998).



Şekil 3.7. Katodik koruma sisteminin neden olduğu kaçak akım korozyon hücresi (Boteler and Seager, 1998)

3.2. Korozyon Oranı

Hemen hemen tüm korozyon olayları bir elektrokimyasal reaksiyon olduğundan, kimyasal reaksiyonun hızını veya akım akış miktarını etkileyen herhangi bir şey korozyon oranını da etkileyecektir. Korozyon oranı, elektrokimyasal korozyon hücresinde akan akım miktarıyla doğru orantılıdır. Akım ölçülebilirse, metal kaybının tam bir hesaplaması yapılabilir. Bu, amper veya mili amper cinsinden bir ölçümün, amper yıldaki kilogram cinsinden matematiksel olarak hesaplanabileceği anlamına gelmektedir. Bir amper/yıl, bir yıl boyunca akan bir amperdir. Farklı metaller farklı tüketim oranlarına sahiptir.

3.2.1. Korozyon hızına ilişkin elektriksel etkiler

Bir devrede akan akım miktarını etkileyen herhangi bir faktör, elektrokimyasal tepkime de (korozyon) elektriksel kısmının oranını etkileyecektir. Aşağıda, korozyonun elektriksel kısmının oranını etkileyen faktörlerin bir açıklaması ve örneği yer almaktadır.

3.2.1.1. Potansiyel fark

Anot ve katot arasındaki potansiyel fark elektromotor kuvvettir ve voltaj olarak ölçülebilmektedir. Bu fark veya voltaj arttıkça, korozyon potansiyeli de artar. Gerilim, bir elektrokimyasal hücrede akımla ve dolayısıyla korozyonla doğru orantılıdır. Voltaj iki katına çıkarsa ve diğer tüm faktörler aynı kalırsa, korozyon miktarı da iki katına çıkar.

3.2.1.2. Elektrolitin dirençliliği

Elektrolitin direnci, normal olarak korozyon oranını belirlemede önemli bir faktördür. Bu, toprağın veya suyun (elektrolit) kontrol edilemez bir özelliğidir. Bir elektrolitin tanımı, iyonların taşınmasına izin verecek bir malzemedir ve özdirenç, iyonların taşınmasına izin verdiği hızdır. Özdirenç iletkenliğin tersidir. Direnç, bir elektrokimyasal hücrede akım ile ters orantılıdır ve bu nedenle korozyona uğrar. Özdirenç iki katına çıkarsa ve diğer tüm faktörler aynı kalırsa, korozyon miktarı yarı yarıya düşer.

3.2.1.3. Temas direnci

Anodun ve katodun elektrolit ile temas direnci, direncin bir ölçüsü olduğu için özdirenç ile aynı etkiye sahiptir. Direnç ne kadar düşükse, akım o kadar büyük olur (korozyon). Anodun veya katodun temas direnci iki katına çıkarsa ve diğer tüm faktörler aynı kalırsa, korozyon miktarı ikiye bölünür. Hem anodun hem de katodun temas direncinin iki katına çıkarılması durumunda, korozyon miktarı, orijinal değerinin yalnızca dörtte biri kadar olur.

3.2.1.4. Yapının kaplanması

Yapının kaplanması normal olarak anodun ve katodun temas direncini artırır çünkü çoğu kaplama dielektriktir (iletken değildir).

3.2.1.5. Akım akışı miktarı

Akım akışı miktarı doğrudan korozyon oranını etkiler. Korozyon, mevcut akım akış miktarından belirlenebilir. Her bir metal, oksidasyon işleminde verilen elektronların sayısında ve metalin bir kilogramında bulunan atomların sayısında belirli özelliklere sahiptir. Bu nedenle, bu, amper başına kilograma çevrilebilir. Normal ölçü birimi, amper yıl başına bir yıllık bir kilogram kaybını kapsar. (UFC, 2018)

3.2.2. Korozyon oranı üzerine kimyasal etkiler

Kimyasal reaksiyonun hızını etkileyen herhangi bir faktör, elektrokimyasal reaksiyonun kimyasal kısmının oranını etkileyecektir (korozyon). Aşağıda, korozyonun kimyasal kısmının oranını etkileyen faktörlerin bir açıklaması ve örneği yer almaktadır.

3.2.2.1. Sıcaklık

Sıcaklık karmaşık bir dış değişkendir. Genellikle sıcaklık arttıkça korozyon artar. Bununla birlikte, aynı zamanda bu, oksijenin bulunabilirliğine de bağlıdır. Atmosfere kapalı bir sistemdeki demirin korozyon hızı, yaklaşık 40 ° C ila 160 ° C arasındaki sıcaklıkla neredeyse doğrusal olarak artar. Bununla birlikte, açık bir sistemde, korozyon oranı yaklaşık 80 ° C'ye kadar artar ve daha sonra azalır. Bir sıvının pH'ı, sıcaklık yükseldikçe daha asidik hale geleceği ve aynı zamanda korozyon oranını da etkileyeceği de unutulmamalıdır.

3.2.2.2. İyon konsantrasyonu

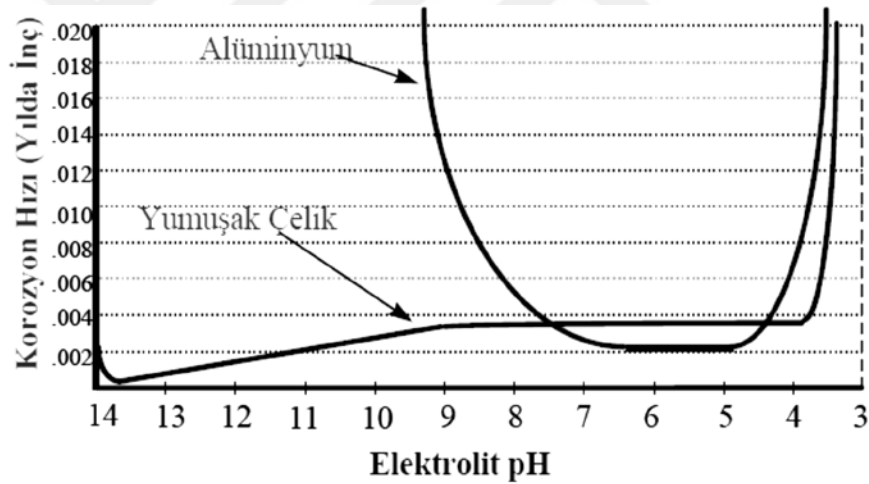
İyon konsantrasyonu, pH' a benzer bir etkiye sahiptir. Örneğin, alüminyum sadece alkaliler tarafından değil, sulu ortamda bakır iyonlarının izleri ile de belirgin bir aşınma gösterir ve cıva metali, cıva iyonları ve susuz klorlu çözücüler tarafından hızlı bir şekilde aşındırılır. Demir, klorür ve klorür iyonları için bazı elektrolitlerde korozyon hızını artırabilir. Bununla birlikte, bromür ve iyodür iyonları korozyonu engelleyebilir (korozyon hızını yavaşlatır). Bir bileşenin yoğunluğunun korozyon üzerindeki etkisi, genellikle tuz oranı, oksijenin olması ve oksijen yoğunluğu, pH ve sıcaklıktaki farklılıklar gibi diğer çevresel değişkenlere bağlıdır.

3.2.2.3. Elektron konsantrasyonu

Elektrolit içindeki katot çevresinde serbest elektron konsantrasyonları, ortamın maksimum iyon yer değişim hızına ulaşmasından dolayı korozyonu engelleyebilir.

3.2.2.4. Elektrolitin pH'ı

Bir elektrokimyasal korozyon hücresindeki toprağın veya su elektrolitinin pH'ı, anot ve / veya katottaki kimyasal reaksiyonları hızlandırarak veya yavaşlatarak korozyon oranını etkilemektedir. Bir elektrolitin pH' ı temelde hidrojen iyonlarının konsantrasyonudur. 4'ün altındaki bir pH, yumuşak çeliğin korozyon oranını artırır. pH' ın 3 olduğu seviyede korozyon oranı muazzam artar. Amfoterik metaller ayrıca alkali ortamlarda korozyon oranında da artış gösterir. Alüminyum ve kurşun amfoterik metallerin örnekleridir. Şekil 3.8' de elektrolit pH' ın korozyon oranına etkisi gösterilmektedir (Von Baekmann vd., 1997).



Şekil 3.8. Elektrolit pH' ın korozyon oranına etkisi (Von Baekmann vd., 1997)

3.3. Galvanik Serisi

Bir elektrokimyasal korozyon hücresinde, korozyon oranını etkileyen iki ana faktör vardır. Bunlar elektrolitin elektriksel özellikleri (özdirenç) ve anot - katot arasındaki voltaj farkıdır. Elektrolitin özdirenciliği kontrol edilebilir bir özellik değildir, ancak ölçülebilirdir. Metalin anot - katot potansiyeli de ölçülebilir bir özelliktir. Ölçülen potansiyel iki elektrot arasındaki voltaj farkını oluşturur. Daha önce belirtilen metallerin hepsinin farklı potansiyelleri vardır ve herhangi bir metal farklı elektrolit içerisinde farklı

potansiyel değer göstermektedir. Diğer elektrotları ölçmek için referans olarak kullanılacak bir elektrot için, metal ile temas halinde olan metal ve elektrolit belirtilmelidir. Bu yapıldıktan sonra, elektrot bir referans elektroduna dönüşür.

Birçok referans elektrot tipi kullanılmaktadır. Laboratuvarda hidrojen / hidrojen (hidrojen elektrot, hidrojen elektrolit) yaygındır. Saha kullanımı için, bakır / bakır sülfat (bakır elektrot, tamamen doymuş bakır sülfat elektrolit), gümüş / gümüş klorür, (gümüş elektrot, gümüş klorür elektrolit) yaygın olarak kullanılır. Bu referansları kullanarak, herhangi bir elektrolit içindeki herhangi bir metalin potansiyel değeri, gelecekteki referanslar için kaydedilebilir ve diğer elektrotlarla karşılaştırılabilir. Böyle bir ölçüm tablosuna galvanik bir dizi ölçüm denir. Tablo 3.2' de çeşitli referans hücreleri ile metallerin elektrik potansiyeli gösterilmektedir (UFC, 2018).

Tablo 3.2. Çeşitli referans hücreleri ile metallerin elektrik potansiyeli

GALVANİK METALLER SERİSİ: METAL VEYA ALAŞIM REFERANSI: ELEKTROLİT	GÜMÜŞ / GÜMÜŞ KLOR	DOYMUŞ KALOMEL		BAKIR / BAKIR SÜLFAT	
		DENİZ	SUYU	NÖTR TOPRAK VE SULAR	
Saf Magnezyum		-1,60	-1,64	-1,75	
Standart Magnezyum				-1,55	
Çinko		-0,98	-1,04	-1,10	
Alüminyum alaşım	-0,79	-0,77	-1,00	-1,05	
Saf alüminyum				-0,80	
Düşük Karbonlu Çelik (temiz ve parlak)	-0,61	-0,60	-0,72	-0,50	-0,80
Düşük Karbonlu Çelik(paslı)				-0,20	-0,50
Dökme demir (grafiksiz)	-0,61	-0,60	-0,72	-0,50	
Kurşun		-0,18	-0,23	-0,50	
Düşük Karbonlu Çelik (beton içinde)				-0,20	
Bakır, Pirinç, Bronz	-0,36			-0,20	
Yüksek Silikonlu Dökme Demir				-0,20	
Çelikte Değirmen Ölçeği				-0,20	
Karbon, Grafit, Kok	+0,25			+0,30	

3.4. Katodik Koruma

Katodik koruma, normalde anot gibi davranan ve dolayısıyla korozyona açık bir metalin, katot gibi davranmasını sağlayarak aşındırıcı bir tepkimeye maruz kalmayacak forma getirilmesiyle korozyonun önlenmesi yöntemidir. Esasen, CP korozyon hücresindeki

anodu önceden belirler veya diğer küçük korozyon hücrelerini aşmak için büyük bir korozyon hücresi oluşturur. Katodik korumada, bu iki temel yoldan biriyle elde edilir.

Birinci yol, galvanik serileri tablosunu (Tablo 3.2) kullanarak, daha aktif bir metal seçmek, bu metali elektrolit içine yerleştirmek ve bir metalik yol sağlamaktır. Bu yöntemde kurban katodik koruma veya galvanik katodik koruma denir. Galvanik olarak daha aktif metal (anot), yapının (katot) korunması için kendisini kurban etmek için kurulmuştur. Voltaj (ve elde edilen akım), sadece iki farklı metal tipinin potansiyel farkıdır. Katodik korumanın ikinci temel yöntemi, akımın yüklü bir anottan yapıya akmasını zorlayan ve tüm yapının bir katot olmasına neden olan bir DC akım kaynağı uygulamaktır. Bu yöntemde, kalıcı katodik koruma denir. Devreye bir redresör, güneş pili, batarya, jeneratör veya başka bir DC güç kaynağı takılmıştır. Anot materyalinin seçimi galvanik seriden bağımsızdır ve anotlar ekonomik olan veya amper yılı boyunca küçük bir kilo kaybı olan metallerdir (Tablo 3.1).

Katodik koruma için gerekli olan akım, korunan metale ve çevreye bağlıdır. Uygun korumayı (kriterleri) belirlemek için gerekli olan potansiyeller ilerleyen kısımlarda daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu koruyucu potansiyelleri elde etmek için akım, anottan korunan yapıya doğru akmalıdır. Belirlenmiş bir yapıyı korumak için gereken akım miktarı, elektrolitlere maruz kalan yapının alanı ile orantılıdır. Bu nedenle, mevcut gereklilikler genellikle maruz kalan yüzeyin metre karesi cinsinden amper ya da mili amper (0.001 amper) birimlerinde akım yoğunlukları olarak verilir. Kaplamalar doğada dielektriktir ve bir dereceye kadar, yapıyı elektrolitten ayırır. Kaplanmış yapılar için, gereken akım miktarı, çıplak yapılardan çok daha düşüktür, çünkü sadece kaplamanın hasar gördüğü ya da bozulduğu bölgeler akım gerektirmektedir. Kaplama verimliliği, elektrolitten etkili bir şekilde izole edilen yapının yüzdesidir. Kaplamaların verimliliği, kaplama tipi, yüzey kalitesi, uygulama kalitesi, yapı kullanımı, yapı kurulumu, dolgu teknikleri ve kullanılan dolgu malzemesi nedeniyle büyük ölçüde değişebilir. Kaplamaların verimi normal olarak yaklaşık yüzde 80 ila yüzde 99,7 arasındadır. Kaplanmış yapılar için mevcut gereksinimler, en iyi yapı kurulduktan sonra gerçek testlerle belirlenir. Katodik koruma için gerekli olan mevcut yoğunluklar korunan metale ve çevreye bağlıdır. Çıplak çelik yapıların katodik korunması için gerekli akım yoğunlukları için tipik değerler Tablo 3.3' de gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Çıplak çeliğin katodik korunması için güncel gereksinimler

ÇEVRE	MİLİAMPER
	METREKARE BAŞINA
Dirençli toprak > 30,000 ohm-cm	10,7– 21,5
Dirençli toprak 10,000 — 30,000 ohm-cm	21,5– 32,3
Dirençli toprak 1,000 — 10,000 ohm-cm	43,0 – 64,6
Dirençli toprak < 1,000 ohm-cm	75,3 – 269,1
Anaerobik bakterilerle oldukça sert toprak	161,5 – 430,5
Durgun tatlı su	21,5 – 43,0
Durgun deniz suyu	10,7 – 32,3
Beton	5,4 – 16,1

Kaplanmış çelik yapıların katodik korunması için gerekli olan akım yoğunluklarının tipik değerleri Tablo 3.4’ de gösterilmiştir (Von Baeckmann, 1997; UFC, 2018).

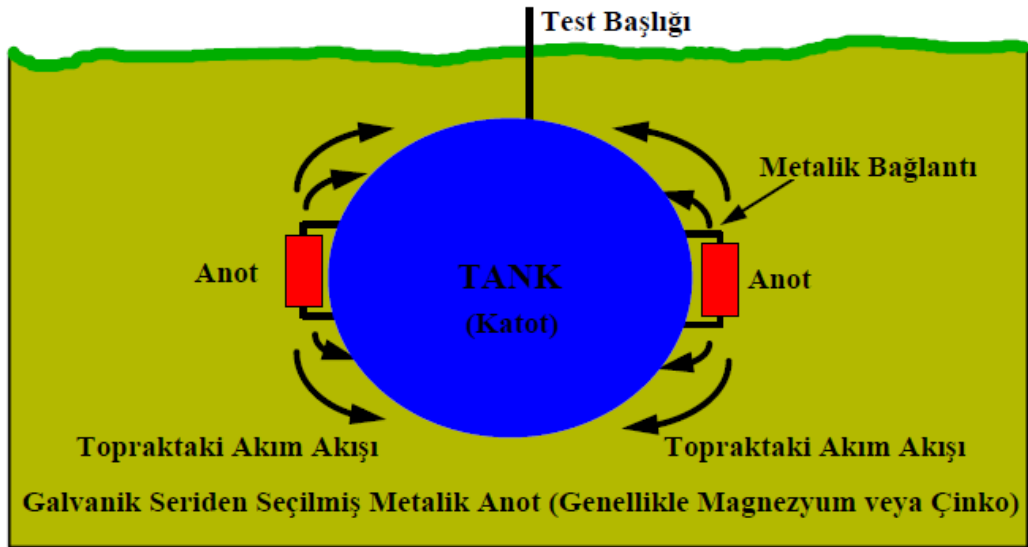
Tablo 3.4. Kaplamalı çeliğin katodik korunması için güncel gereksinimler

MİLİAMPER METREKARE			
BAŞINA			
YAPI	KAPLAMA SIZ	KAPLANMIŞ	KAPLAMA VERİMLİLİĞİ
Boru hattı, epoksi veya diğer yüksek performanslı kaplama	10,76(1)	0,010–0,054(0,001–0,005)	99,5 - 99,9
Boru hattı, güçlendirilmiş kömür katranı veya asfalt	10,76(1)	0,054–0,269(0,005–0,025)	97,5 - 99,5
Boru hattı, örtü ile yağ kaplama	10,76(1)	0,538–1,615(0,05–0,15)	85,0 - 95,0
Boru hattı, ½ ”kalınlığında mastik asfalt kaplama	10,76(1)	0,001–0,005(0,001–0,005)	99,5 - 99,9
Boru hattı, eski asfalt veya diğer bozulmuş kaplama	10,76(1)	0,538–3,767(0,05–0,35)	65,0 - 95,0
Boru hattı, eski boya kaplama	10,76(1)	1,076–0,522(0,10–0,30)	70,0 - 90,0
Tank dipleri	32,29(3)	0,538–21,529(0,05–2,00)	33,3 - 98,3
Soğuk içme suyu depoları	32,29(3)	0,538–21,529(0,05–2,00)	33,3 - 98,3
Soğuk deniz suyu depoları	53,82(5)	0,538–43,056(0,05–4,00)	20,0 - 99,0
Sıcak içme suyu depoları	53,82(5)	0,522–32,292(0,30–3,00)	40,0 - 94,0

3.5. Galvanik Katodik Koruma

Galvanik anot sistemlerinde katodik koruma için gereken akım, aktif bir metalin korozyonuyla sağlanır. Galvanik (kurban) anot sistemleri, farklı metallerde veya alaşımlarda meydana gelen korozyon reaksiyonları ile oluşan korozyon potansiyelindeki farklılıklara bağlıdır. Örneğin, bir bakır / bakır sülfat referans elektrotunda demirin doğal korozyon potansiyeli farkı genellikle -0,4 ile -0,6 volt DC arasındadır. Bakır / bakır sülfat referans elektrotunda çinkonun doğal korozyon potansiyeli yaklaşık -1,1 voltur. Böylece, eğer iki metal elektriksel olarak bağlanırsa, demir ile çinko arasındaki potansiyel fark yaklaşık olarak 0,5 ila 0,7 volt DC’ dir ve çinko korozyonu akım kaynağı haline gelir ve demir katodu korozyonunu önler. Bu, Şekil 3.9 ve 3.10’ de gösterilmektedir. Çinko, magnezyum ve alüminyum alaşımlarının hepsi, demir veya çelikten daha negatiftir ve

birçok yapıda, bu yapıların korunması için yeterli olabilecek potansiyellere sahiptir. Bakır ve bakır alaşımları gibi diğer metaller demir veya çelikten daha düşük bir potansiyele sahiptir ve çelik (ve diğer birçok metal) ile kolayca korunur. Demir veya çelikten daha yüksek potansiyele sahip alüminyum alaşımları gibi malzemelerin korunması daha zordur, ancak alüminyum alaşımları bile magnezyum alaşımları veya saf magnezyum ile etkili bir şekilde korunabilir. Daha az aktif bir metalin katodik korunmasında elektronların sağlanması sürecinde, daha aktif metal (anot) daha az aktif olan metali (katot) korumak için kurban edilir. Korozyon miktarı, anot olarak kullanılan metale bağlıdır ve sağlanan akım miktarıyla doğru orantılıdır. Diğer bir faktör de anodun kendiliğinden korozyon oranını ve katodik koruma akımının korozyon oranını hesaplayan anot verimliliğidir. Toprakta bir anot etrafında tekdüze bir elektrolit sağlamak, nemi korumak ve anot-toprak direncini azaltmak için özel bir dolgu kullanılır. Bu dolgu normal olarak yüzde 75 alçıtaşı, yüzde 20 bentonit ve yüzde 5 sodyum sülfattır. (Odabaşı, 2018)

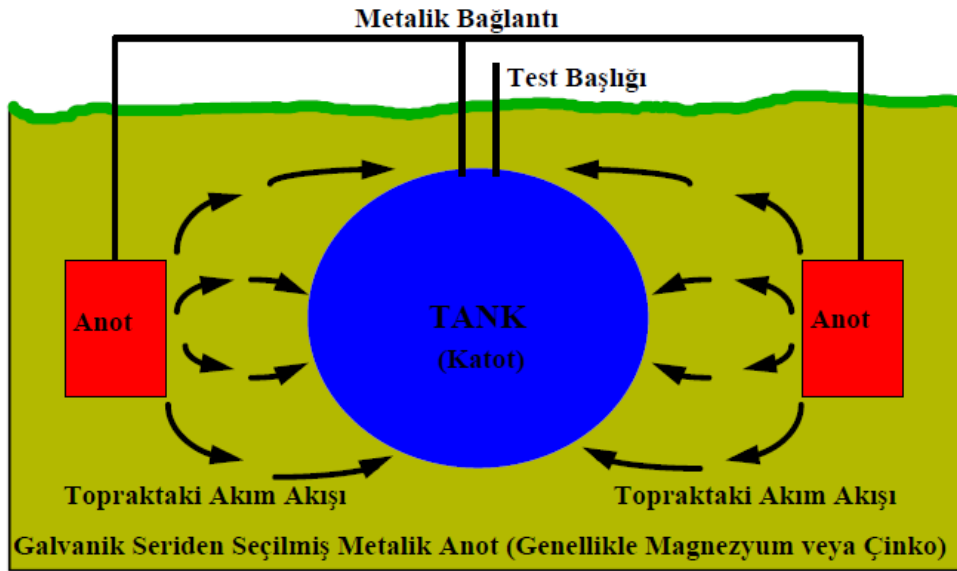


Şekil 3.9. Doğrudan ek galvanik (kurban) katodik koruma sistemi (Odabaşı, 2018)

Boru hatları gibi yeraltı yapılarının korunması için, anotlar genellikle doğrudan yapıya bağlanmazlar, fakat toprağa yerleştirilirler. Boru hattından kısa bir mesafede eşit olarak dağılırlar ve boru hattına, genellikle bir test istasyonu aracılığıyla bir kablo ile bağlanır. Bu tür kurban anot sistemi Şekil 3.10'de gösterilmiştir.

Galvanik anotların uygulanması, elde edilebilecek küçük potansiyel fark (normalde 1 volt DC'den az) ile sınırlıdır. Galvanik sistemler genellikle düşük dirençli elektrolitlerde küçük veya iyi kaplanmış yapılar üzerinde ekonomik olarak kullanılabilir. Tablo 3.5 ve

3.6’ da, farklı resistivite elektrolitlerinde, çeşitli kurban anotların mevcut ve tahmini çıkış voltajı verilmiştir. Katodik koruma miktarı, korunan yapıya sağlanan akım yoğunluğuna bağlı olduğundan, elektrolit direnci voltajın sağlayacağı akım miktarını belirler. Elektrolite maruz kalan metal miktarı, gereken akım miktarını belirler. Kaplanmamış (çıplak) yapılar yeterli koruma için aşırı sayıda anot gerektirebilir. Daha yüksek öz direnç elektrolitlerinde, küçük anot-yapı voltaj farkı, çok az miktarda anot akımı oluşturacak (Ohm yasası), dolayısıyla büyük miktarda anot gerektirecektir. Yüksek saflıkta magnezyum anotları mevcut en yüksek potansiyele sahiptir, fakat yüksek dirençli toprakta, çok iyi bir kaplamaya sahip olmadıkça bir yapıyı korumak için yeterli akım sağlamayacaktır (Tablo 3.6).



Şekil 3.10. Dağıtılmış kurban (galvanik) katodik koruma sistemi (Odabaşı, 2018)

3.5.1. Galvanik anot çeşitleri

Galvanik anotlarda yaygın olarak kullanılan üç malzeme vardır: magnezyum, alüminyum alaşımı ve çinko. Her malzemenin farklı sınıfları veya tipleri vardır. Her tür, çok sayıda boyut ve biçimde mevcuttur (Selwyn and Roberge, 2006).

3.5.1.1. Magnezyum anotları

Magnezyum, gömülü yapıların korunması için en yaygın kullanılan galvanik anot malzemesidir. Magnezyum anotları ayrıca su depoları ve ısıtıcılar, ısı dönüştürücüleri ile su kıyısında bulunan yapılarının korunmasında da kullanılır. Magnezyum anotları, 0,45

kilogramdan 90,72 kilograama kadar çok çeşitli ağırlığa sahip döküm ve profil olarak mevcuttur.. Buna ek olarak, magnezyum alaşımli anot malzemesi, 9,5 milimetre ile 19 milimetre ile çevrelenmiş 10 çelik telden oluşan bir “şerit” anot olarak mevcuttur.

Magnezyum anotlarda iki farklı anot bileşimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar standart alaşım ve ticari olarak saf veya “yüksek potansiyel” alaşımlardır. Yüksek saflıkta alaşım, en yüksek elektrik potansiyeline sahiptir, toprakta yaklaşık -1,75 volt DC potansiyel oluşturur. Standart alaşım, bir sonraki en yüksek elektrik potansiyeline sahiptir, toprakta yaklaşık -1,55 volt DC potansiyele sahiptir. Magnezyum tüketim oranı, yıl başına 4 kilogramdır. Kendi kendine tüketim oranını dikkate alarak katodik koruma sağlama etkinliği, standart alaşım için yüksek saflıkta alaşımdan daha yüksektir. Tasarım amaçları için her iki tipin verimliliği yüzde 50'dir (UFC, 2018).

3.5.1.2. Çinko anotlar

Çinko anotlar, plakalar ve çubuklar biçiminde ağırlık olarak 2,27 kg ila 113,4 kilogram arası ağırlıklarda mevcuttur. Çinko, 16 milimetrede 22,2 milimetre, 13 milimetre 14,3 milimetre ile şerit anotları olarak da mevcuttur. Çinko anotlar en çok tatlı veya tuzlu suya daldırma işlemlerinde kullanılır. Bununla birlikte, özel koşullar dışında, genellikle gömülü yapıların korunmasında, çok iyi kaplanmış yapılara sahip 2000 ohm santimetreden daha düşük toprak direncine sahip bölgelerde kullanılırlar. İki çinko anot bileşimi yaygın olarak mevcuttur. Bunlar, tatlı su ve toprakta kullanım için formüle edilmiş standart bir alaşım ve deniz suyunda kullanılmak üzere formüle edilmiş diğer bir alaşımdır.

Çinko anotların elektrik potansiyeli toprakta yaklaşık -1,10 volt DC' dir. Bazı tatlı sularda, 58,3 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda potansiyel tersine dönebilir; sonuç olarak, bu durumlarda çinko kullanılmamalıdır. Çinko tüketim oranı, yıl başına 10,6 kilogramdır. Verim, magnezyuma göre daha yüksektir (UFC, 2018).

3.5.1.3. Alüminyum anotlar

Alüminyum galvanik anotlar, çinko veya magnezyum anotlara göre daha yeni bir gelişmedir. Temel kullanımları deniz suyundaki yapıların korunmasıdır. Bununla birlikte, bazen tatlı suda veya toprakta kullanılabilirler. Kullanılan orijinal anotlar alüminyum

alaşım olduğunda ve performansları istenilen düzeyde olduğunda, aynı tipte anotlarla değiştirilmelidir (UFC, 2018).

Tablo 3.5. Katodik koruma için galvanik anot mevcut voltaj değerleri (UFC, 2018)

KATODİK KORUMA İÇİN POTANSİYEL FARK (İTİCİKUVVET)							
Korumalı Yapı	MAGNEZYUM ANODLARI		ÇİNKO ANODLARI		ALÜMİNYUM ANODLAR		
	Standa rt	Yüksek Saflık	Standa rt	Deniz Suyu	Tip I	Tip II	Tip III
Çelik	0,7	0,9	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3
Alüminyum	0,45	0,65	0	0	0	0	0,05
Paslanmaz Çelik	0,7	0,9	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3
Bakır	1,05	1,25	0,6	0,6	0,6	0,6	0,65

Tablo 3.6. Galvanik anotlarının tahmini çıkış akımı (UFC, 2018)

MİLİAMPERLER SEVİYESİNDE TAHMİNİ ANOT AKIM ÇIKIŞI										
ELEKTROLİTE DAYANIKLILIK (OHM-CM)										
ANOT MALZEMESİ	BOYUT (İNÇ)	AĞI RLI K	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000
Yüksek Safılıkta Magnezyum	3x3x5	3	127	64	32	16	8	4	2	1
Yüksek Safılıkta Magnezyum	2.75x2.75x26	9	242	121	61	30	15	8	4	2
Yüksek Safılıkta Magnezyum	3.75x3.75x60	40	413	206	103	52	26	13	6	3
Yüksek Safılıkta Magnezyum	3x3x78	42	456	228	114	57	29	14	7	4
Magnezyum	3x3x5	3	102	51	25	13	6	3	2	1
Magnezyum	2.75x2.75x26	9	194	97	48	24	12	6	3	2
Magnezyum	3.75x3.75x60	40	330	165	83	41	21	10	5	3
Magnezyum	3x3x78	42	365	182	91	46	23	11	6	3
Çinko	3x3x5	3	42	21	11	5	3	1	1	0
Çinko	2.75x2.75x26	9	81	40	20	10	5	3	1	1
Çinko	3.75x3.75x60	40	138	69	34	17	9	4	2	1
Çinko	3x3x78	42	152	76	38	19	10	5	2	1

3.5.2. Galvanik anot sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

3.5.2.1. Avantajları

- Yapı ile monte edildiğinde ekonomiktir.
- Arıza olasılığı düşüktür. Bu yüzden bakım gereksinimleri azdır.
- Aşırı koruma olasılığı son derece düşüktür. (kaplama hasarına neden olabilir).
- Kaçak akımın, diğer metalik (yabancı) yapılara müdahale etmesi küçük olasılıktır.

3.5.2.2. Dezavantajları

- Küçük potansiyel gerilimleri elde edilir.
- Yüksek özdirenç elektrolitlerinde son derece küçük akımlar oluşturur.
- Büyük veya geniş yapılar üzerinde anotların kurulması veya değiştirilmesi ekonomik olarak uygun değildir (Uhlig and Revie, 1985; UFC, 2018)

3.6. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma

Galvanik anot sistemlerinde olduğu gibi, katodik koruma sistemleri, bir metal yüzeyin katodik korunması için akım sağlamaktadır. Bununla birlikte, dış akım kaynaklı sistemlerde, koruma akımı anotun yapıya olan potansiyel farkı yerine bir doğrultucu (veya başka bir DC güç kaynağı) tarafından sağlanır. Anot ve katot arasındaki potansiyel fark, korozyon reaksiyonunda üretilecek elektron akışına etki için bir redresör ile bir anot yatağından sağlanır. Doğrultucunun “elektron enerji pompası” eylemi için enerji, sıradan alternatif akım ile sağlanır. Korunan yapıdaki bu elektronların etkisi, katodik koruma sistemlerinden olan galvanik anot tipinden oluşan elektronlar ile aynıdır.

Pratikte grafitler, yüksek silikonlu dökme demir (HSCI), platin veya karışık metal oksit gibi materyaller, yavaşça tüketildikleri için mevcut katodik koruma sistemi anotları için kullanılırlar (amper ağırlıkları başına çok düşük bir kilograma kaybına sahiptirler). Tek tip bir elektrolit, toprağı daha düşük dirençli hale getirmek ve asitlerin havalandırılmasını sağlamak için özel bir dolgu malzemesi kullanılır. Bu toprak dolgu normalde kok mıcırı veya kireçlenmiş sıvı petrol kokudur. Dış akım kaynaklı koruma sistemlerinde bulunan anotlar, tüketildiğinde veya başka bir şekilde hasar gördüğünde periyodik olarak kontrol edilmeli ve değiştirilmelidir.

Dış akım kaynaklı koruma sistemi, galvanik anot sistemleri ile esas olarak aynıdır, ancak bu sistemlerde, istenen koruyucu akımı sağlamak için anotlardan gelen elektronların potansiyelini arttırmak için bir doğrultucu veya başka bir doğru akım kaynağı kullanılır. Böylece bir dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi, bir anodun yanı sıra korunan yapıya ek bir bağlantı olarak, bir doğrultucu veya başka bir güç kaynağı kullanmaktadır. Bir güç kaynağı olarak bir batarya, güneş pili, doğru akım jeneratörü veya termoelektrik jeneratörü kullanılabilir (Yüksel, 1998; Jakobs, 1981).

3.6.1. Harici akım doğrultucular

Katodik koruma için kullanılan redresörler, genellikle ayarlanabilir transformatörü, doğrultucu grubu, çıkış akımını ölçmek için bir paralel devre, devre kesicileri, paratonerleri ve transformatör uç bağlantılarını göstermek için ölçüm cihazları kullanılırlar. Doğrultucunun fonksiyonu, alternatif akımı kontrollü doğru akıma dönüştürmektir.

Selenyum plakaları veya silikon diyotlar olmak üzere doğrultucu grupları iki genel tiptir. Yüksek voltaj veya yüksek akım ünitelerinde silikon diyotlar kullanılır. Selenyum üniteleri daha yüksek bir voltaj düşüşüne (daha az verimli) sahiptir ve voltaj dalgalanmalarından daha az etkilenir. Silikon diyot üniteleri, ani gerilim yükselmelerinden zarar görmeye yatkındır ve bu dalgalanmalardan, metal oksit varistörleri (dalgalanma koruyucuları) ve yıldırımlardan korunmalıdır.

Redresörler otomatik veya manuel olarak kontrol edilir. Elle kontrol edilen ünitelerde, transformatör uç bağlantıları normal olarak “merkez” bağlantılarını çevreler. Orta kademe bağlantıları, gövdenin girişidir ve negatif - pozitif uçlar gövdeden gelen çıktılardır.

Yapı ölçüsü (su seviyesinde değişen yüksek su depoları) sürekli olarak değiştğinde veya katodik koruma devresi direnci (aşırı kuru-ıslak şartlara bağlı anot-toprak direnci) önemli ölçüde değiştğinde bazen otomatik doğrultucular kullanılır. Bu birimler potansiyel kontrollü, akım kontrollü veya voltaj kontrollü olabilir.

Gövde ve çıkış uçları arasında normalde sayaç ve / veya bir paralel devre vardır, AC girişinde ve DC çıkışında yıldırım koruması, verimliliği artırmak için çıkış filtreleri ve / veya kapasitörler, üniteyi açmak ve kapatmak için devre kesiciler vardır (Jakobs, 1981).

4. METERYAL ve YÖNTEM

4.1. Ortak Ekipmanlar

Bu bölümde korozyon testine uygun ekipmanların çalışma karakteristikleri ve özellikleri incelenecektir.

4.1.1. Voltmetre

Muhtemelen korozyon test çalışmalarında en sık yapılan tespit, boru hattı ve bir referans elektrot arasındaki voltajın ölçülmesidir. Uygun voltaj ölçüm ekipmanı kullanılmıyorsa, elde edilen değerler yanıltıcı veya tamamen anlamsız olabilir.

4.1.1.1. Voltmetre ve direnç

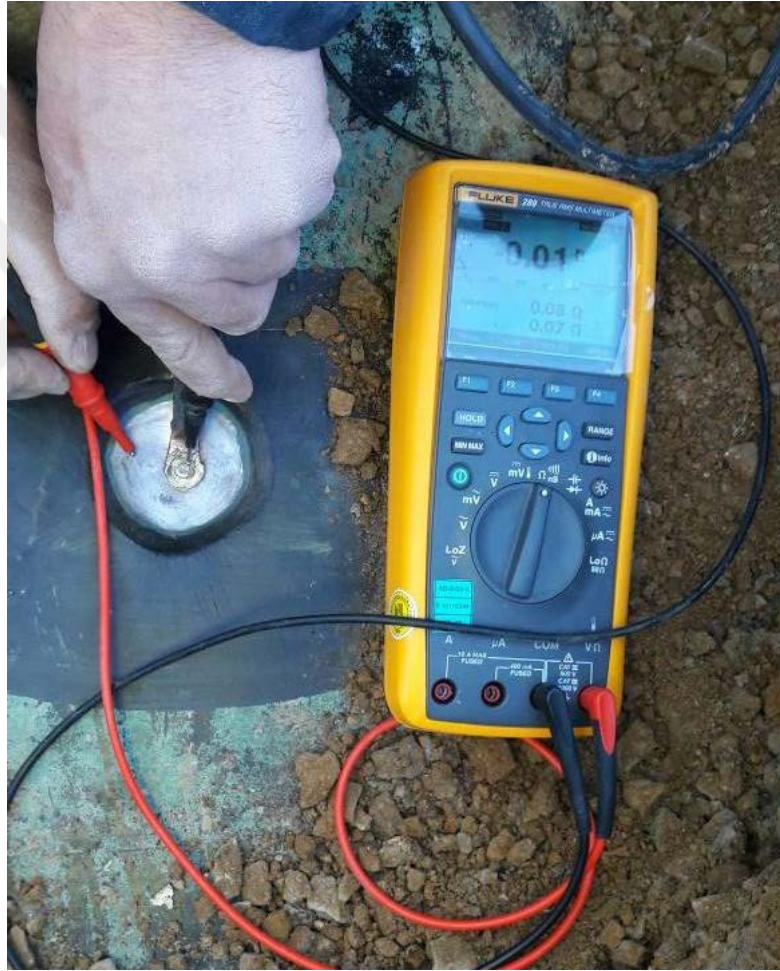
Ölçüm teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle, elektronik voltmetreler çok çeşitli özelliklerle üretilmektedir. Yaygın olarak mevcut birçok voltmetre, multimetreler olarak adlandırılır çünkü voltaja ek olarak çok sayıda elektriksel değeri ölçme kabiliyetine sahiptirler. Bu cihazların çok yönlülüğünü ve sınırlılıkları büyük önem arz etmektedir. Bazı multimetre fonksiyonları ve özellikleri, korozyon mühendisliği çalışmaları için önemliyken, bazıları yetersiz veya gereksiz olabilir.

Bir boru-toprak potansiyel değerini belirlemek için, bir voltmetre, bir çevreden diğerine büyük ölçüde değişebilen bir dış devre direncini ölçmelidir. Örneğin, bir referans elektrotun nemli veya ıslak toprakla temas halinde olan direnci, kuru kum veya donmuş veya yağlı toprakla temas halinde olandan çok daha az olacaktır. Bu nedenle, referans elektrotun temas direnci, gerilimin ölçüleceği devrenin genel direncinin büyük bir bölümünü temsil eder.

Ölçüm devresindeki bu değişimleri telafi etmek için voltmetreler yüksek empedans veya giriş direncine sahip olmalıdır. Yüksek bir dış direnç, ölçümler sırasında doğruluğu korumak için yüksek bir giriş direncini gerektirir. Şu anda üretilen çoğu geleneksel multimetrenin 10 milyon ohm veya daha fazla bir iç empedansı vardır.

4.1.1.2. Voltmetre seçimi

Yüksek giriş empedansına ek olarak, uygun aralık, hassasiyet ve doğrulukla bir voltmetre seçilmesi önemlidir. Birçok standart voltmetre, korozyona bağlı voltajları ölçmek için uygundur. Şekil 4.1' de tipik bir batarya ile çalışan multimetre görülmektedir. Gösterilen sayaç, beş farklı aralıkta maksimum 1000 volt (AC ve DC) ölçebilir ve %0,1'lik bir hassasiyete sahiptir. Cihaz, en yüksek dirençlilik ortamlarının hepsine uygun olan 10 megaohm giriş direncine sahiptir. Bu cihaz ayrıca direnç, kapasitans, frekans ve hem DC hem de AC akımını ölçme kapasitesine sahiptir.



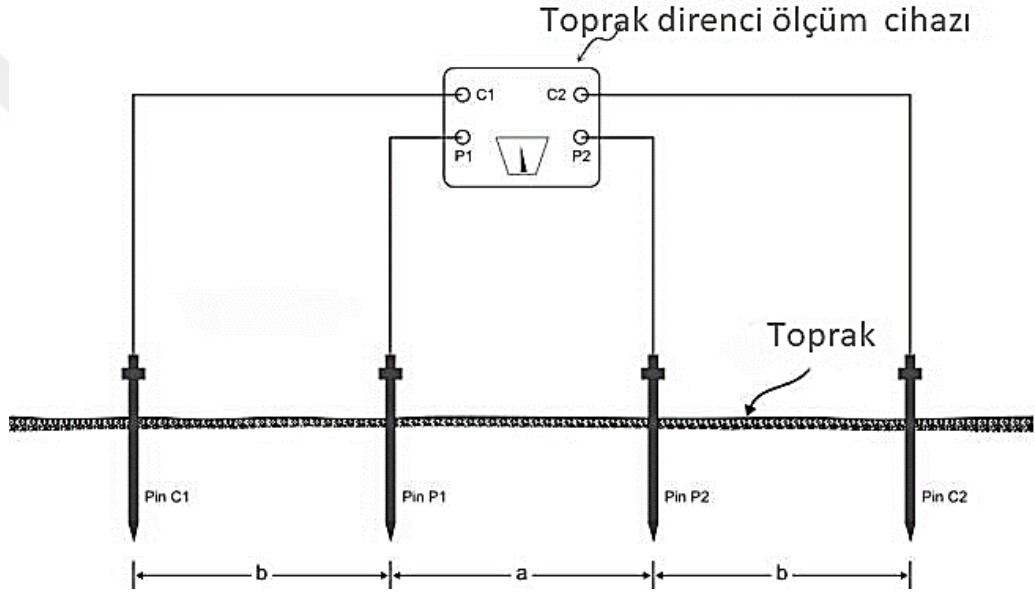
Şekil 4.1. Bataryalı multimetre

4.1.2. Özdirenç test cihazları

Korozyon araştırmaları sırasında toprak direncini ölçmek, katodik koruma anot yatakları ve diğer benzer işler için yerleri seçmek gibi birçok durum vardır. Bu testler bir batarya ve ayrı bir DC ampermetre ve voltmetre ile yapılabilir. Bununla birlikte, saha

belirlemelerinde daha fazla hız ve kolaylık için, doğrudan okunabilen özel aletler mevcuttur.

Şekil 4.2’ de gösterildiği üzere toprak öz direnç alanı ölçümleri genellikle “Wenner 4-Pin Yöntemi” olarak korozyon endüstrisinde daha yaygın olarak bilinen ASTM1 G57 veya IEEE2 Standard 81 kullanılarak yapılır. Bu prosedür, dört çelik pimi, eşit aralıklarla, toprak direnci istenilen bölgenin ortalama derinliklerine çakılarak yapılan ölçümdür. Toprak direnci, en dıştaki iki pim arasında akan akım ile ortada kalan iki pim arasındaki voltaj düşüşünün basit bir işlevidir.



Şekil 4.2. Dört pimli toprak direnci ölçümü

Şekil 4.3’ de gösterilen toprak direnç ölçer, dış pimplere sağlanan gerekli akımı karşılarken, aynı anda iç kısımdaki pimler arasındaki voltaj düşüşünü ölçebilir. Direnç, ohm olarak, kadran üzerindeki okuma, aralık anahtarı pozisyonu ile çarpılır. Cihaz, hangi çarpanın (ölçek) seçildiğine bağlı olarak 0,01 ohm ile 11×10^5 ohm arasındaki direnç değerlerini ölçebilir. Toprak direnç ölçer ayrıca, doğru akım testleri ile ilgili bir problem olan pinlerin kutuplaşma probleminin üstesinden gelen alternatif akımı kullanır.



Şekil 4.3. Toprak direnç ölçer

4.1.3. Kayıt cihazları

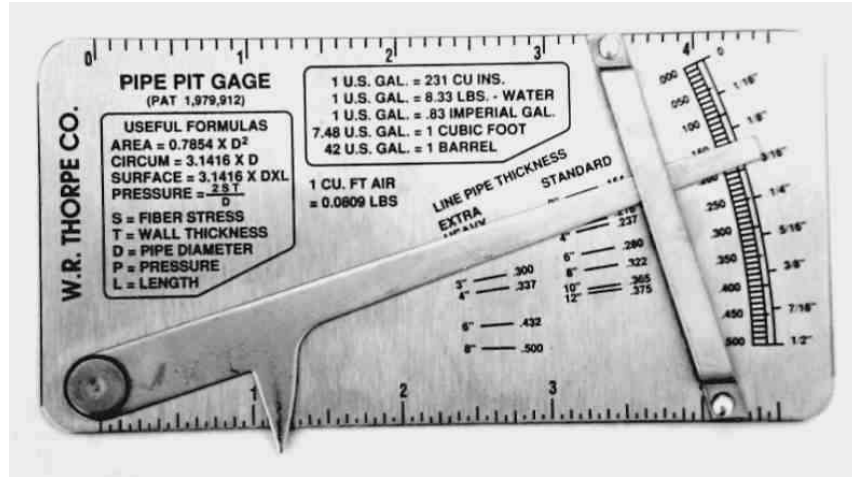
Şekil 4.4’ de gösterilen kayıt cihazları, elektronik ortamda çalışır ve veri çizimi ve sunumunu kolaylaştırmak için bilgisayarlarla iletişim kurabilir. Test sırasında dikkat çekmeyecek şekilde yerleştirilmesine olanak sağlar ve çok küçük ve kompakttır. Bu gibi kayıt cihazları, veri toplama ve yorumlamayı geliştirmek için aynı anda çeşitli parametreleri ölçebilir ve grafiğini çizebilir (Peabody, 2001; Kobayashi, 1974).



Şekil 4.4. Elektronik çift kanallı kaydedici

4.1.4. Duvar kalınlığı ve çukur ölçerler

Korozyon teknolojisi esas olarak korozyonun ortadan kaldırılması veya azaltılması ile ilgili olsa da, bazen bir boru hattının duvar kalınlığını kontrole tabi tutmak gerekir. Şekil 4.5' de gösterildiği gibi geleneksel çukur göstergesi, çukur derinliğinin ölçülmesi için çok kullanışlı bir araçtır. Bu masterlar küçük, makul derecede doğrudur ve bir alet kutusu veya evrak çantasında kolayca taşınabilir



Şekil 4.5. Boru çukuru ölçer

Korozyon verilerini toplamak için bir başka tahribatsız cihaz, Şekil 4.6' da gösterildiği gibi ultrasonik duvar kalınlığı ölçeridir. Bu cihaz ve buna benzer olanlar, ultrasonik (ses)

dalgalarını kullanarak duvar kalınlığını doğru bir Şekilde lebilir. Ultrasonik ses dalgası bir malzemeden geçtiğinde üretilen ekolar arasında geçen süreyi hesaplayarak çalışırlar. Söz konusu malzemedeki sesin hızını bilerek, kalınlık hesaplanır. Daha geliŐmiŐ sürümler, veri depolama ve veri yazdırma özellikleri gibi özellikleri ve gerçek dalga biçimi ve ses yolu yankısını gösteren ekranlar sunar. Bu cihazlar elik levha içindeki kusurları tespit edip karakterize edebilir ve bazıları çeşitli kaplamalar yoluyla duvar kalınlığını ölçebilir.



Şekil 4.6. Ultrasonik duvar kalınlığı ler

4.1.5. Akım kesiciler

Katodik koruma akımını kesebilme işlemi, katodik koruma testinde önemli ve sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Hassas zamanlamaya sahip çeşitli akım kesiciler mevcuttur. Şekil

4.7’ de gösterilen cihaz, doğru zamanlama için bir kuvars kristal kullanır ve benzer kesicileri senkronize etmek için ana ünite olarak kullanılabilir.



Şekil 4.7. Kuvars kristal kontrollü akım kesicisi

4.1.6. Darbe üreticileri

Darbe üretici, geleneksel akım kesintisine alternatif olarak kabul görür. Darbe üreticisi katodik koruma güç kaynağına kurulur ve çıkışı kesin olarak zamanlanmış bir modelde anlık olarak keser. Kesintiler çok kısa ve tekrar eden bir döngüde meydana gelir. Darbe üreticiler, çoklu redresörlere (veya galvanik sistemler de dâhil olmak üzere diğer CP güç kaynakları) ve taşınabilir analizörle yapılan “açık / kapalı” bir sisteme kurulabilir.

4.1.7. Boru ve kablo bulucuları

Korozyon testi sırasında, bazen üzerinde çalışılan boru hattı, yabancı tesislerin yeri, yer altı kabloları ve diğer gizli metalik yapılar gibi gömülü ürünlerin yerini belirlemek

gerekir. Böyle bir durumda boru ve kablo bulucu harika bir zaman kazandırıcı olabilir. Boru ve kablo bulucular, hat üzerindeki bir elektrik sinyalini etkiler ve bu da elde tutulan bir alıcının konumlarını tespit etmesine izin verir dolayısıyla bulunmak istenilen metalik yapı ile elektriksel temasa gerek yoktur.



Şekil 4.8. Boru ve kablo bulucu

Boruya (veya kabloya) iletilen sinyalin türü, üreticiden üreticiye değişebilir ve hatta tek bir konumlandırıcıda değişken olabilir. Şekil 4.8’ de sinyal üretici gösterilmektedir. Sinyal frekansının değiştirilmesi, operatörün uygulama için en uygun sinyali seçmesini sağlar. Örneğin, zayıf kaplanmış borular, iyi kaplanmış borular, kısa boru hatları ve yalıtılmış kablolar, her biri farklı frekanslar kullanılarak yerleştirilebilir (Kobayashi, 1974; Ivanov, 2000).

4.1.8. Test redresörleri

Akım gereksinim testleri, anot yatağı testi ve CP tasarım çalışması, portatif güç kaynakları gerektirir. Bu testlerin bazıları için bir otomobil aküsü yeterli olabilir, ancak

ayarlanabilir bir güç kaynağı daha uygun ve çok yönlüdür (Şekil 4.9). Çoğu redresör üreticisi, sahaya taşınabilir, uygun ve geçici redresör olarak kullanılabilen portatif, ayarlanabilir güç kaynakları sunar (Peabody, 2001; Kobayashi, 1974).



Şekil 4.9. Taşınabilir test doğrultucu

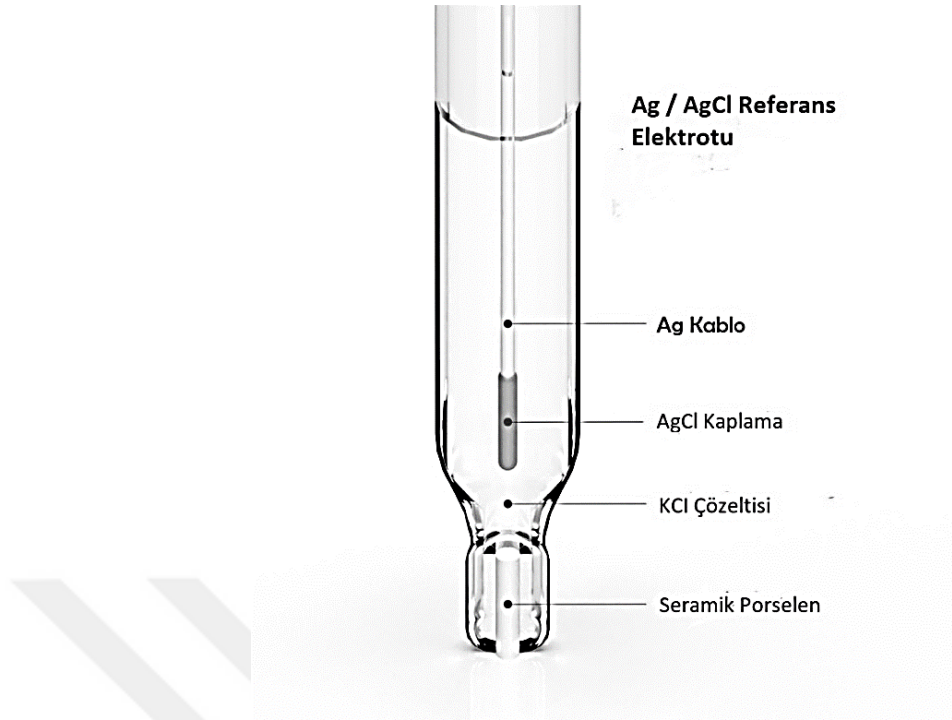
4.2. Katodik Koruma Bileşenleri

4.2.1. Referans elektrotları

Çoğu metalin katodik korumasının izlenmesi ve kontrol edilmesi için temel kriter, metalin bir yarım hücreye veya referans elektroduna göre potansiyelinin ölçülmesine dayanmaktadır. Şekil 4.11' de ideal bir referans elektrot gösterilmektedir. İdeal bir referans elektrodu aşağıdaki özelliklere sahip olacaktır.

- Kullanıldığı elektrolit veya ortamdan bağımsız olarak potansiyeli sabit olmalı ve elektrolit sıcaklığında veya diğer parametrelerde değişikliklerle büyük ölçüde değişmemelidir.
- Herhangi bir değişiklik tahmin edilebilir olmalı ve histerezis etkisi olmamalıdır.
- Cihaz katodik veya anodik olduğunda küçük akımlarda polarize olmamalıdır.
- Düşük iç dirence sahip olmalıdır.
- Sağlam bir yapıya sahip olmalıdır.

Topraklarda katodik korumayı izlemek için genellikle kullanılan referans elektrot bakır sülfat elektrotudur. (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Ag / AgCl referans elektrotu

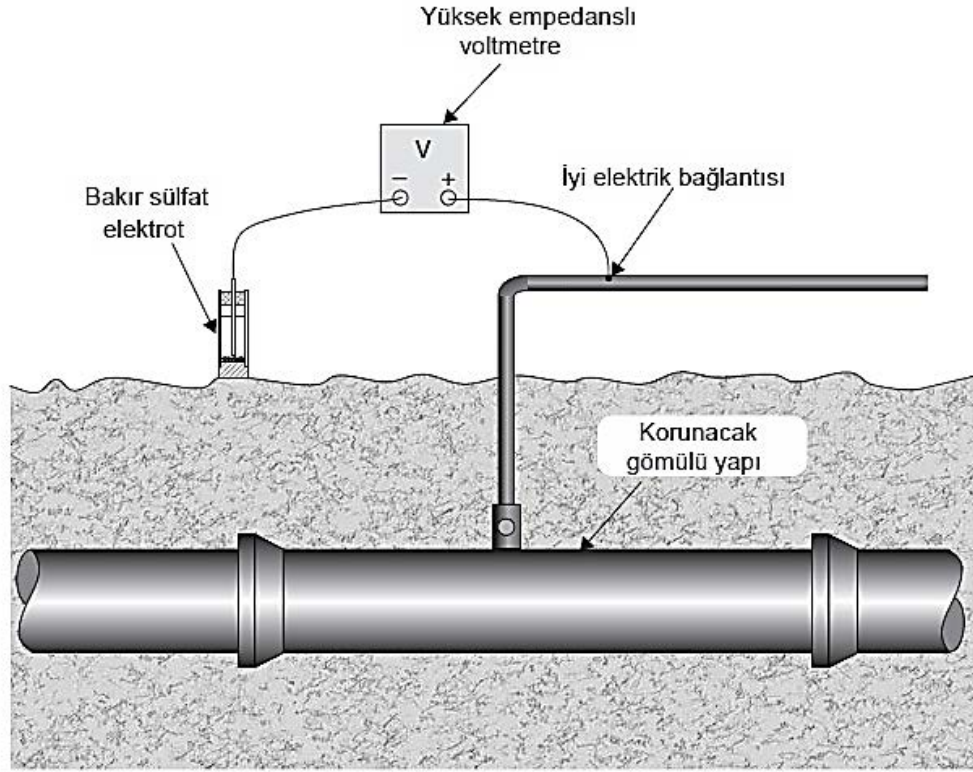
Gümüş klorür elektrotunu hazırlamak için yaygın olarak kullanılan yöntem, saf gümüş veya kuvars potada erime noktasının yaklaşık 50°C üstünde ısıtılmış olan erimiş gümüş klorür içine temiz bir gümüş tel spiral veya kaynak ağını daldırmaktır. Gümüş eriyikten çıkarılır ve erimiş tuzun çoğu sadece ince bir gümüş klorür filmi bırakarak çalkalanır. Bu daha sonra, bir sodyum klorür çözeltisinde katot yapılır ve yüzeyinin bir kısmı gümüşe indirgenir.



Şekil 4.11. Referans elektrot

Gömülü bir yapının potansiyelinin ölçülmesi, bir referans elektrot ile toprağın (veya diğer iletken ortamın) teması ile yapılır.

Çelik bir yapıdan bahsediyorsak, Şekil 4.12' deki voltmetrede $-0,85$ V veya daha fazla bir değer tam katodik korumayı gösterir. Bu, yapı potansiyelinin, bir bakır sülfat elektroduna göre $-0,85$ V olduğu ve pratik durumlarda bulunan en yüksek anodik çeliğe $-0,80$ V değerine bağlı olduğu anlamına gelir (Wagner and Traud, 2006).



Şekil 4.12. Toprak potansiyeli ölçüm kurulumu

4.2.2. Anotlar

4.2.2.1. Kurban (galvanik) anotları

Galvanik anot olarak kullanıma uygun malzemeler arasında alüminyum, magnezyum ve çinko bulunmaktadır. Faraday yasasına göre, bir galvanik anottan elde edilebilen elektrik enerjisi miktarı, kullanılan metalin elektrokimyasal yapısına ve çalışan anodun verimliliğine bağlıdır. Bir anodun kapasitesini karakterize etmek için kullanılan birim, 1 saat boyunca akan 1 A değerine karşılık gelen amper-saat (Ah)' dir.

Bir galvanik anodun verimliliği, fiili olarak tüketilen malzemenin toplam teorik amper-saatinin veya kapasitesinin, harcanan anot ağırlığına oranıdır. Galvanik anotlar, kapasitelerinin bir kısmını korozyona maruz kaldıkları için kaybederler. Bu yüzden verimlilik yüzde 100'den azdır.

Örneğin, saf çinko teorik maksimum 820 Ah / Kg kapasitesine sahiptir. Bu, bir çinko anodun 1 A sürekli olarak boşaltılması durumunda 820 saatte 1 kg tüketileceği anlamına gelir. Bu kilogram 1/10 A boşalırsa, 8.200 saat veya 48 haftada tamamen tüketilir. Aslında

çinko anotları tipik olarak yaklaşık yüzde 95 verimlilikte çalışır. Bu, faydalı akım çıkışı için mevcut olan enerji içeriğinin $820 \times 0,95$ veya 779 Ah / kg olacağını gösterir.

Alüminyum anotlar 2.960 Ah / kg teorik kapasiteye sahiptir. Son yıllarda, yaklaşık 2.800 Ah / kg'lık kapasite ile yüzde 95 verimle çalışabilen deniz suyu kullanımı için alüminyum anotlar geliştirilmiştir. Kullanılan alaşıma bağlı olarak farklı varyasyonları olmasına rağmen, çalışma potansiyeli çinkonunki ile aynıdır. Alüminyum anotlar, küçük miktarlarda alaşım elementlerine sahip olabilir ve bazen istenen özellikleri elde etmek için ısıtılardan geçirilebilir.

Magnezyum anotlar teorik 2.200 Ah / kg kapasiteye sahiptir. Verim, anot yüzeyinin metre kare başına amper cinsinden akım çıkış yoğunluğuna göre değişir, ancak tipik olarak 0,3 A / m²'lik bir akım çıkış yoğunluğunda yaklaşık %50 (1.100 Ah / kg'lık kapasite) olabilir. Anotların bakır sülfat elektrotlarına yönelik çalışma potansiyelleri, standart alaşımli magnezyum için yaklaşık 0,45 V, yüksek anotlar olarak adlandırılan özel alaşımlarla birlikte yaklaşık 0,70 V arasında değişebilir. Standart magnezyum anotlar, kayda değer miktarda alaşım malzemeleri içerir. Tipik olarak bunlar yüzde 6 alüminyum, yüzde 3 çinko ve yüzde 0,2 manganez olabilir. Anot malzemeleri, CP tasarım gereksinimlerini karşılamak için çok sayıda ağırlığa ve şekle sahiptir (Şekil 4.13) (Raymond, 2008; Roberge, 2004).



Şekil 4.13. Toprakta kullanılmak üzere hazırlanan magnezyum anotları

4.2.2.2. Dış akım kaynaklı katodik koruma anotları

Temel olarak üç geniş ICCP(Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma) anotu kategorisi vardır. Bunlar tüketilebilir, yarı ömürlü ve tüketilemez anotlardır. Hurda çelik veya dökme demir gibi tüketilebilir metaller ve alaşımlar için, birincil anodik reaksiyon, anodik metal çözünme reaksiyonudur.

Her bir anot kategorisindeki anot tüketim oranları, uygulanan akımın seviyesine ve ayrıca çalışma ortamına (elektrolit) bağlıdır. Örneğin, platin ile kaplı titanyum anotlarının çözünme hızı, deniz suyunda kullanımlarına kıyasla toprağa gömüldüğünde, önemli ölçüde daha yüksektir. Aktif olarak aşınan (sarf malzemesi) materyaller için yaklaşık tüketim oranları amper-saat (Ah) cinsinden gram mertebesinde iken, tüketilemeyen materyaller için karşılık gelen tüketim mikrogram mertebelerindedir. Yarı-ömürlü anot materyalleri için tüketim oranları bu uç noktalar arasında bir yerdedir.

Hurda çelikten, yüksek maliyetli platin kaplı malzemeye kadar çok çeşitli anotlar için dış akım kaynaklı anotlar mevcuttur. Aşağıdaki özelliklerin tümü, dış akım kaynaklı bir anot malzemesinde ideal olarak istenebilir:

- Çevre ve reaksiyon ürünlerinden bağımsız olarak düşük tüketim oranı
- Farklı anot reaksiyonlarından bağımsız olarak düşük polarizasyon seviyeleri
- Anot-elektrolit ara yüzünde yüksek elektrik iletkenliği ve düşük direnç
- Yüksek güvenilirlik
- Kurulum, bakım ve servis kullanımı sırasında mekanik hasarı en aza indirmek için yüksek mekanik bütünlük
- Aşınma ve erozyona karşı yüksek direnç
- Farklı şekillerde imalat kolaylığı
- Genel korozyon koruma şemasına göre düşük maliyet

Tüketilebilir Anotlar:

Hurda çelik ve demir genellikle terk edilmiş borular, demiryolu veya kuyu gövdesi şeklinde kullanılmıştır. Bu anotlar özellikle dış akım kaynaklı akım sistemi, katodik koruma kurulumlarının ilk yıllarında uygulama bulmuştur. Baskın anot reaksiyonu demir

çözünmesi olduğundan, anotta gaz üretimi sınırlandırılır. Karbonlu dolgu malzemesi kullanımı, korozyon ürünlerinin birikmesiyle ilişkili zemine elektriksel direncin azaltılmasına yardımcı olur. Su ile periyodik sulama yapılması kuru topraklarda da direnç sorunlarını hafifletebilir.

Yarı Tüketilebilir Anotlar:

İlk endüstriyel elektrokimyasal sistemler geliştirildiği dönemde grafit ve yüksek silikonlu demir (HSI) gibi yarı değerli anotlar hizmete girmiştir. Grafit gözenekli bir malzemedir ve bu nedenle, çoğunlukla, çözeltinin içeri girmesini azaltmak ve mekanik mukavemeti geliştirmek için reçinelerle emprenye (emdirilmiş) edilir. Klor evrimi meydana geldiğinde grafit anotlar hareketsizdir(çözünmez halde), klor düşük polarizasyonda verimli bir şekilde üretilir. Ancak oksijen oluşumu baskınsa, düşük klorlu ortamlarda olduğu gibi, grafit karbondioksite oksitlenir. Grafit bozulması ayrıca azalan pH ve artan sülfat iyonları konsantrasyonu ile de artar.

HSI anotları ICCP için yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.14). Bu anotlar, yaklaşık olarak %14,5 silikon içermektedir. Krom alaşımlarında yüksek oranda silisyum içeriği, alaşımın silikon dioksit (SiO_2) içeren koruyucu bir film oluşturmasını sağlarken, zarar görme riskini azaltmak için klorid içeren ortamlarda özellikle yararlıdır. Silikon dioksit filminin oluşumu için bir ön koşul, anodun ilk birkaç saat boyunca ilk olarak korozyona uğraması gerektiğidir. (Jakobs ve Hewes, 1984, Raymond, 2008).



Şekil 4.14. HSI anotlar için karbonlu anot yatağı

Tüketilemez Anotlar:

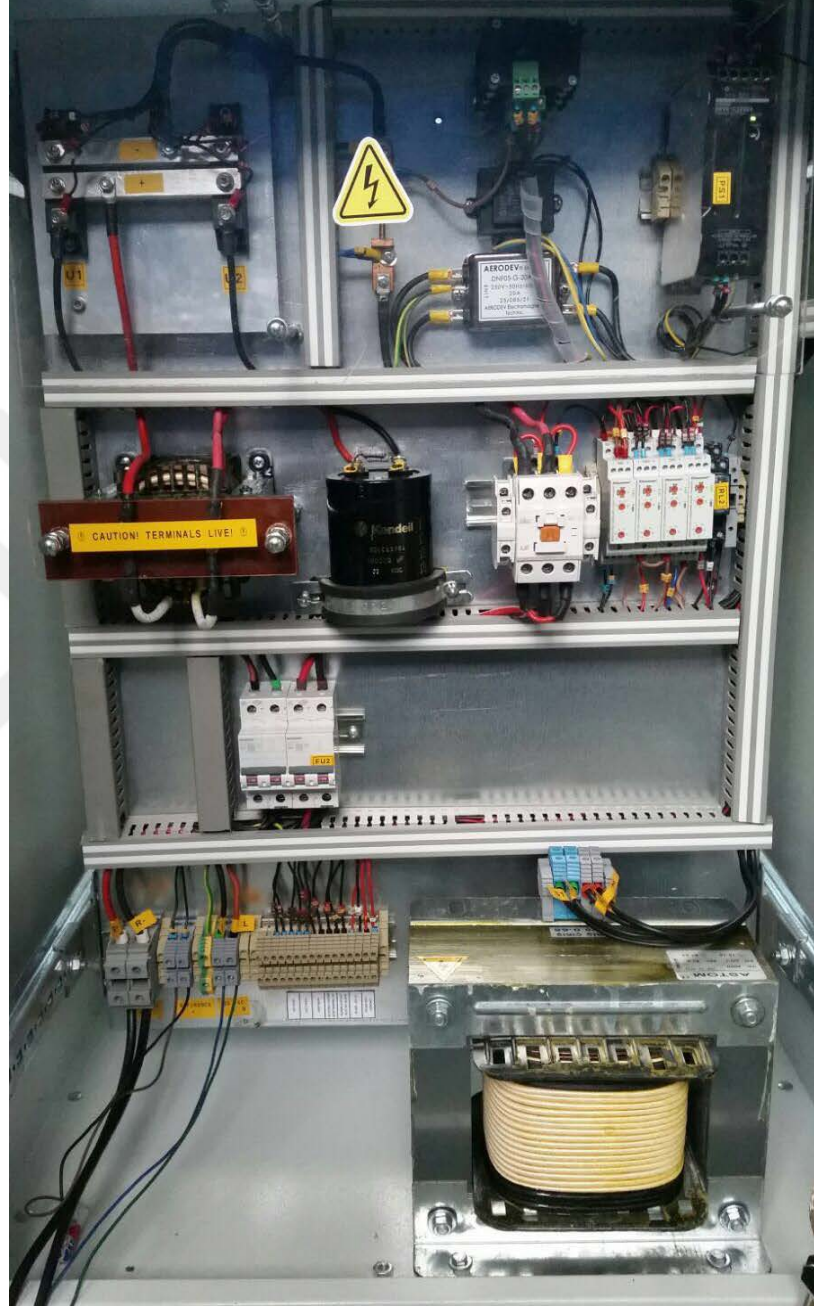
Platinize (platin ile kaplı) anotlar titanyum, niyobyum veya tantal substratları (alt katmanları) üzerinde birkaç mikrometre kalınlığında platin yüzey kaplaması kullanır. İnce bir yüzey filmine platinin kullanımını kısıtlamak önemli maliyet avantajlarına sahiptir. Uzun ömür için, platin yüzey tabakasının kalınlığı artırılabilir.

Platinize anotlar tel, örgü, çubuklar, tüpler ve şeritler halinde imal edilir. Toprak kullanımını için genellikle yüksek yüzey alanı sağlayan ve anot / toprak direncini azaltan karbonlu malzemedan yapılmış bir taban döşemesine gömülür. (Lewis, 1998; Pierson vd., 2000).

4.2.3. Doğrultulmuş akım kaynakları

En yaygın ICCP güç kaynağı, AC gücü bir elektrik trafo hattından düşük voltajlı DC gücüne dönüştüren bir redresördür ve transformatör ve selenyum veya silikon

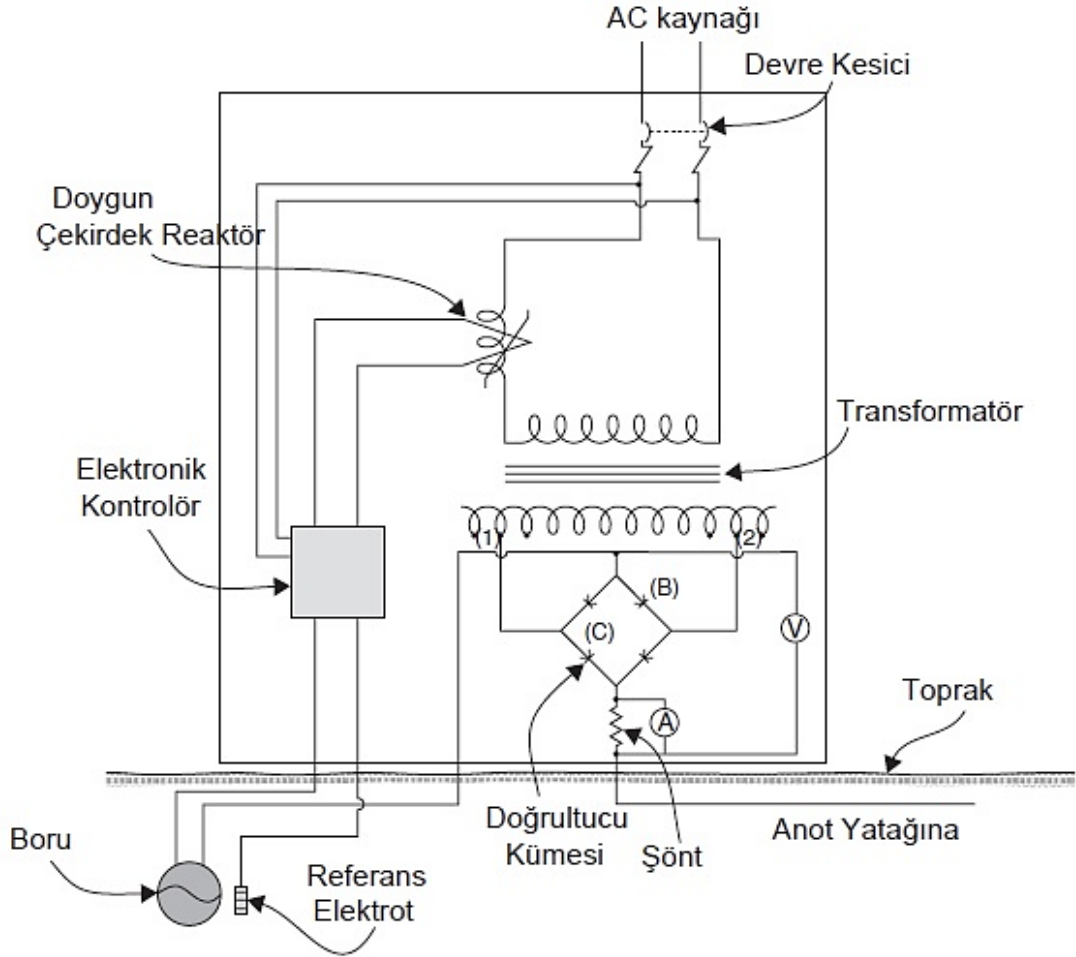
elemanlarına dayalı bir rektifiye devresini oluşturmaktadır (Şekil 4.15). Bu elemanlar bir yönde akım akışına karşı düşük bir dirence ve karşı yönde yüksek bir dirence sahiptir.



Şekil 4.15. Transformatör ve selenyum, silikon elemanlarına dayalı bir doğrultucu devresi

Şekil 4.16, köprü kullanan bir doğrultucunun basitleştirilmiş devresini göstermektedir. Düzeltme elemanlarındaki ok ucu sembolleri, akımın kolayca akabileceği yönü gösterir.

Doğrultucular, yüzde 100' den daha az verimlilikte çalışırlar, yani DC çıkış gücü, besleme hattından gelen AC giriş gücünden daha azdır. Redresörler, tam yükte çalıştırıldığında maksimum verimle çalışır. Büyük redresörlerin kullanıldığı yerlerde redresörün değeri, tam yük derecesine yakın olarak çalışacak şekilde seçilmelidir.



Şekil 4.16. Tipik sabit potansiyel doğrultucu diyagramı (Pierson vd., 2000)

Bir CP doğrultucunun verimliliği, AC güç girişinin bir watt metre ile ölçülmesi, DC volt ve amper çıkışlarının ölçülmesi ve verimliliği aşağıdaki şekilde hesaplanmasıyla belirlenebilir:

$$\%Verim = \frac{DC\ Voltaj\ (V) \times DC\ Akım\ (A) \times 100}{Güç\ (W)} \quad (4.1)$$

Örneğin, 20 A ve 32 V DC çıkışında çalışan bir redresörün 940 W AC girişine sahip olduğu bulunmuştur. Verimlilik $(20 \times 32 \times 100) / 940 = 68\%$ olacaktır (Peabody, 2001; Pierson vd., 2000).

4.2.4. Diğer akım kaynakları

Ticari AC güç hatları her zaman mevcut olmayabilir. Bu gibi durumlarda, alternatif DC güç kaynakları gerekli gücü sağlayabilir. Örneğin, motor jeneratör setleri, büyük bir güç kaynağına gerek duyulduğunda CP doğrultucuları için elektrik enerjisi sağlamak için kullanılabilir. Bu gibi durumlarda, bir ICCP sistemine güç sağlamak için doğrudan bir boru hattından alınan gaz veya petrol ürünü kullanılabilir.

Kapalı çevrim buhar türbo jeneratörleri (CCVT'ler), uzak CP sistemleri için güç kaynağı olarak ticari olarak temin edilebilir. Modern CCVT sistemleri 5 kW ve 100 V' a kadar kaynak sağlayabilir (Şekil 4.17). Termoelektrik jeneratörler hareketli parça içermediğinden bakım azdır.



Şekil 4.17. Termoelektrik alan jeneratörü

Güneş ışığının bol olduğu bölgelerde, güneş pili ve depolama pillerinin bir kombinasyonu, bir CP sistemine sürekli bir akım akışı sağlamak için uygun bir güç kaynağı olabilir. 1 kW'a kadar güç çıkışlarında, 20 V'a kadar gerilimlerde ve 50 A'ya kadar akımlarda çalışan sistemler mevcuttur. 3.200 Ah' a kadar (12 V'da) pil depolama

kapasiteleri mevcuttur. Böyle bir batarya yedeği, neredeyse iki hafta boyunca 10 A'lık bir redresör beslemesi olmadan şarj edilebilir.

Rüzgarla çalışan jeneratörler, hakim rüzgarların yeterli yoğunluk ve süreye sahip olduğu alanlarda bir güç kaynağı olarak kullanılabilir. Bu tür üniteler, boru hattı katodik koruma sistemlerinde, ilk günlerinde oldukça yaygın şekilde kullanıldı. Ancak, pahalı ve kapsamlı bakım gerektirirler. Bu uygulama, güneş hücreleri, CCVT' ler ve termoelektrik jeneratörler gibi daha uygun maliyetli, güvenilir güç kaynaklarının geliştirilmesi ile azalmıştır (Raymond, 2008; Ringas vd., 1994).

4.2.5. Teller ve kablolar

Bütün ICCP yeraltı veya batık kablolar, redresörün pozitif DC terminalinden (veya diğer güç kaynağından) toprak yatağına topraklama açısından pozitif bir voltajdadır. Bu nedenle, bu kablolar çok iyi yalıtılmalıdır. Güç kaynağının pozitif terminaline bağlı topraklanmış tertibatın tüm gömülü parçalarının akımını boşaltabileceğini ve metalin toprak yatağı tertibatının yerleştirildiği iletken ortam ile temas ettiği herhangi bir noktada paslandığını unutmamak önemlidir. Bu, redresörden topraklı anotlara ve toprak yatağı içindeki kablo ara bağlantı anotlarına kadar olan tüm kabloları içerir.

Akımların kablolardan boşalmasını önlemek için, yeraltı kullanıma uygun, yüksek kaliteli elektrik yalıtımına sahip teller sağlanmalı ve tüm bağlantılar ve bağlantılar mükemmel şekilde yalıtılmalıdır. Kablo yalıtım sistemindeki herhangi bir kusur, ayrılana kadar telin paslanmasına neden olacak bir akım deşarj noktası haline gelebilir ve böylece redresör ile yer yatağı tesisatının tamamı veya bir kısmı arasındaki elektrik bağlantısının kesilmesi olabilir (Raymond, 2008).

4.3. Katodik Koruma Sistemlerinin Türleri

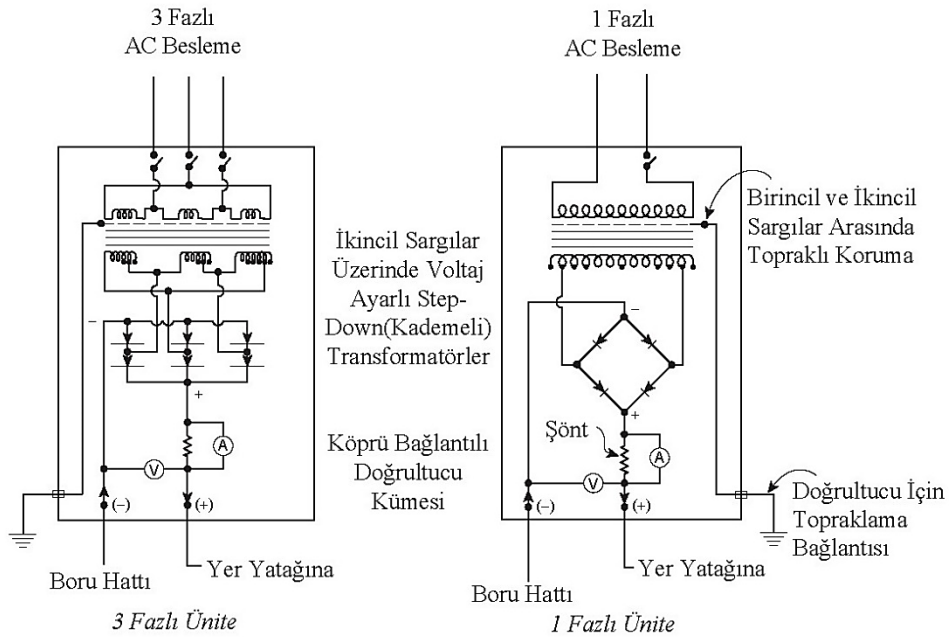
4.3.1. Dış akım kaynaklı katodik koruma

Dış akım kaynaklı bir akım sistemi, bir dc güç kaynağı, anot yatağı ve bağlantı kabloları içeren bir veya daha fazla istasyondan oluşmaktadır. Bu istasyonların boru hatları için konumu, AC gücünün kullanılabilirliği ve potansiyelin zayıflaması ile etkilenecektir. Tek bir katodik koruma tesisinden bir boru hattı boyunca korumanın zayıflaması, hem boru

hattının hem de kaplama iletkenliğinin doğrusal direncine bağlı olacaktır. Zayıflama formülleri, dağıtım hatlarına uygulanamaz ve istasyon için mevcut gereksinimler ve mevcut arazinin mevcudiyeti, bu durumda istasyonun konumu üzerinde bir etkiye sahip olacaktır.(Von Baeckmann vd.,1997; Peabody, 2001).

4.3.1.1. Doğrultucu türleri

Katodik koruma (CP) doğrultucuları aşağıdaki ana bileşenlere sahiptir. Bunlar tipik olarak, AC gerilimini düşürmek için bir trafuyu, bir doğrultucu elemanını (genellikle düzeltme için tam dalga silikon diyotları) ve bir transformatör içerir. Bu bileşenler bir AC devre kesici ve DC çıkış ölçer ile desteklenir. Hem tek fazlı hem de üç fazlı üniteler ortak kullanımdadır. Şekil 4.18, tam dalga köprü bağlantılı tipin şematik olarak tek fazlı ve üç fazlı birimleri göstermektedir.



Şekil 4.18. Doğrultucu şematik diyagramları (Von Baeckmann vd., 1997)

Doğrultucu üreticileri, geniş bir yelpazede dış mekâna sahip CP uygulamaları için üniteler üretir. Üç genel tipi mevcuttur. Çoğu boru hattı uygulaması için hava soğutması sağlayan havalandırılmalı muhafazalar kullanılır. Aşındırıcı ortamların bulunduğu yerlerde (örneğin denizcilik veya sanayi), ekipman bir tank tipi muhafaza içine yağa daldırılabilir. Tehlikelere ve patlayıcılara maruz kalan yerler için, yağa batırılmış üniteler için patlama

geçirmez bir muhafaza mevcuttur. Şekil 4.19, tipik hava soğutmalı ve şekil 4.20 yağa batırılmış birimlerin görünümünü göstermektedir.



Şekil 4.19. Hava soğutmalı ünite

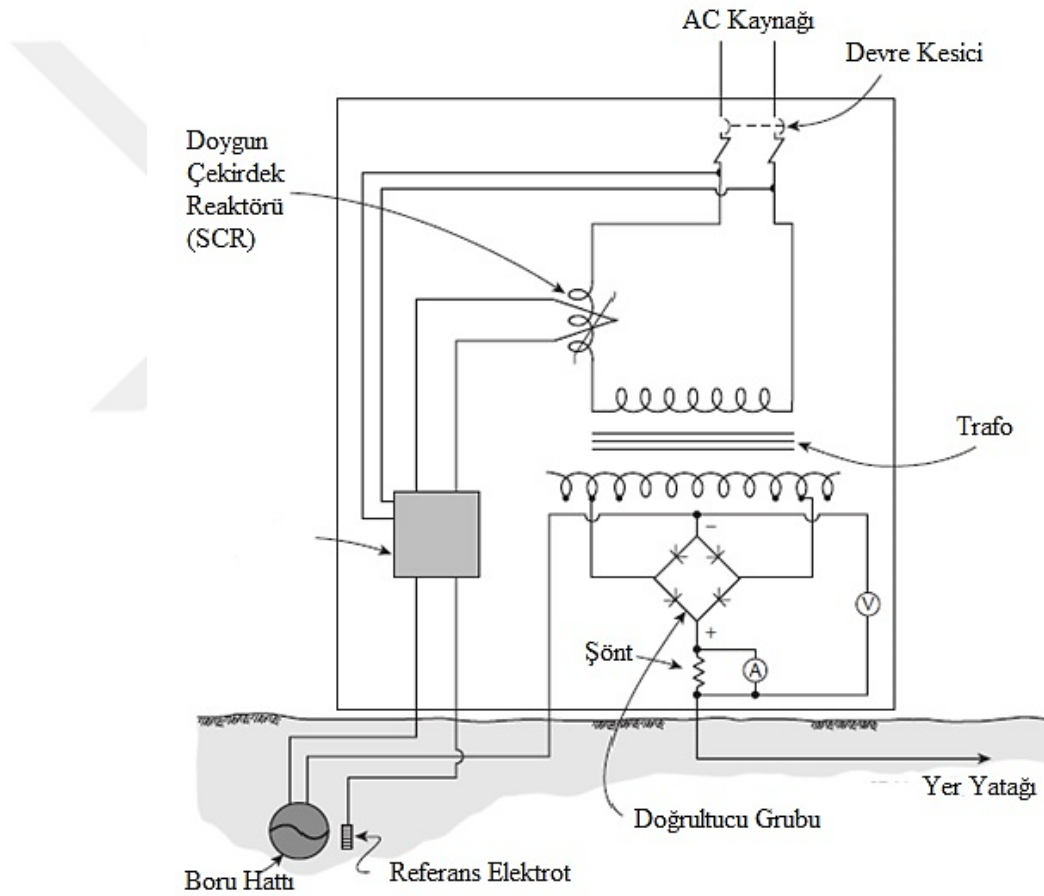


Şekil 4.20. Yağa daldırılmış ünite

Belirli koşullar altında, “sabit potansiyel” doğrultucuları boru hattı sistemlerinde faydalıdır. Bu doğrultucular, boru hattı akım gereksinimlerini karşılayacak şekilde değiştiren doğrultucu konumunda boru hattı üzerinde sabit bir koruyucu potansiyel

muhafaza edecek şekilde tasarlanmıştır. Uygulamalar, geçiş sistemlerinden kaçak akımlara veya potansiyel farklılıklarının bu tip bir ünitenin düzeltici kapasitesinin ötesinde olmayan yer faaliyetlerine maruz kalan alanları içerir. Dirençli (mevsime göre kuru) mevsimsel değişimlere maruz kalan yer yatakları da dâhildir.

Sabit potansiyel redresörler (Şekil 4.21), geleneksel redresörlerden (çıkışı değiştirmek için transformatör bağlantılarının manuel olarak ayarlanmasını gerektirir) farklıdır, çünkü boru-toprak potansiyeli üzerindeki sürekli kontrolleri koruyan bir algılama devresi, çıkış akımını otomatik olarak değiştirir.



Şekil 4.21. Tipik sabit potansiyel doğrultucu diyagramı (Peabody, 2001)

Doğrultucu istenen boru-toprak potansiyeli için ayarlandığında, bu potansiyelin mutlak değerindeki herhangi bir artış reaktör reaktansını arttırmak için (elektronik kontrolör aracılığıyla) hizmet eder. Bu, önceden ayarlanmış potansiyeldeki bir denge tekrar elde edilene kadar çıkış akımını keser. Benzer şekilde, boru hattı ve referans elektrot arasındaki bu potansiyelin mutlak değerindeki herhangi bir düşüş, dengeleyici çıkış

akımının, istenilen seviye yeniden elde edilene kadar otomatik olarak artmasına neden olacaktır(Von Baeckmann vd., 1997; Peabody, 2001).

4.3.1.2. Doğrultucu boyutunun seçilmesi

Doğrultucu büyüklüğü (çıkış derecesi) öncelikle kurulum sahasındaki mevcut gereksinime ve akımın boru hattı üzerinden yer yatağı devresi direncine zorlanması için gerekli olan çıkış gerilimine bağlı olacaktır. Mevcut gereksinim testleri veya diğer tasarım prosedürleri amperajı belirler.

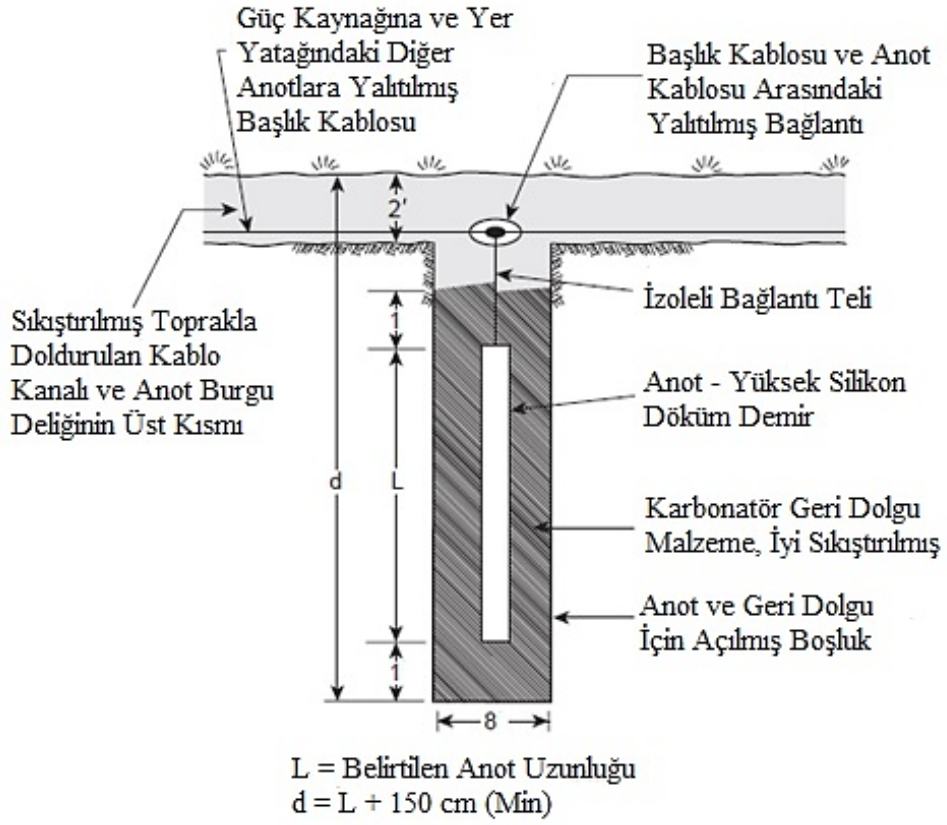
Çıkış voltajı değeri, yer yatağı direncindeki herhangi bir değişiklik de göz önünde bulundurularak tasarım tarafından hesaplanan değere göre % 15 ila 25 arasında olmalıdır. Bu, anotların zamanla tüketilmesi ve yer yatağı direnci yükseldiğinde, anma çıkışının korunmasına izin verir.

4.3.1.3. Dış akım kaynaklı sistemde zemin yatakları

Dış akım kaynaklı sistemlerde, mevcut yer yatakları için tasarım planları, boru hattı sistemi için standart anot yapısına dayanmaktadır.

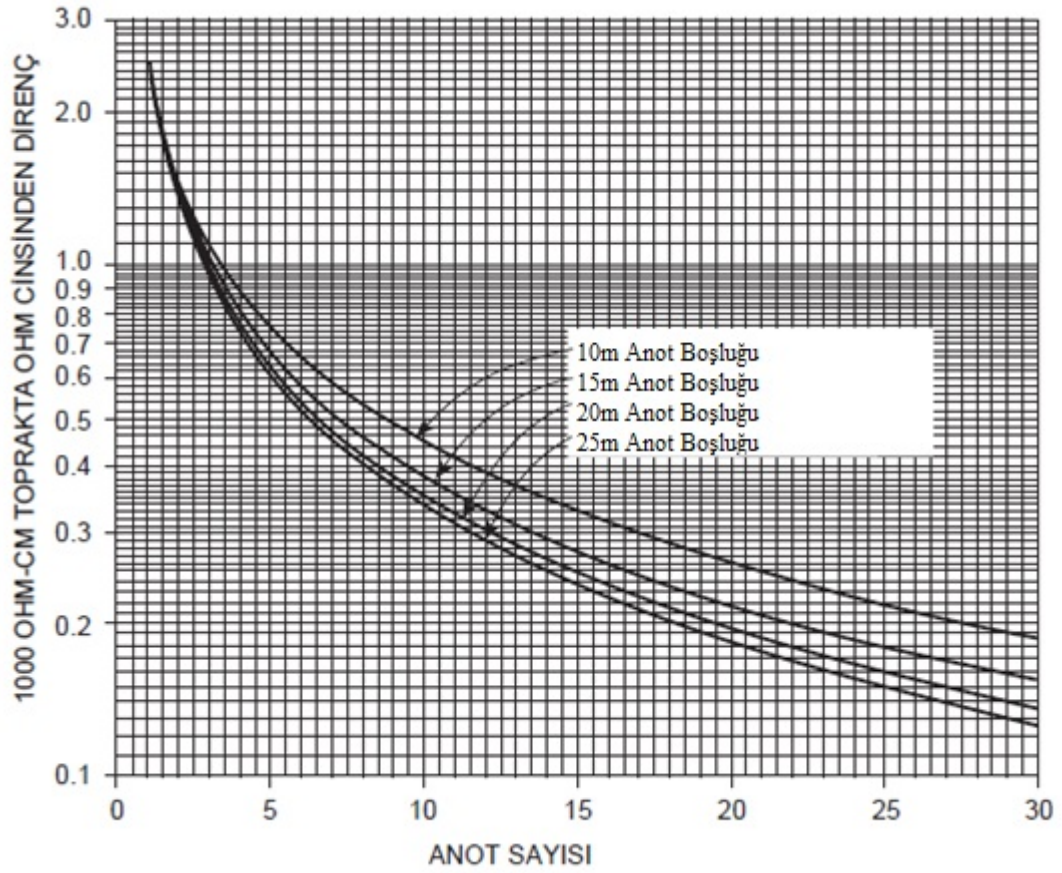
Şekil 4.22, bir dikey anot yerleştirme planını göstermektedir. İyi bir şekilde müdahale edildiğinde anotu çevreleyen karbonlu dolgu, iki fonksiyona hizmet eder:

- Çok düşük dirençli olmak, anot boyutunun artmasına ve dolayısıyla toprağa karşı direncin azalmasına neden olur.
- Akımın büyük kısmı doğrudan temasla anottan dolguya iletilir, böylece malzeme tüketiminin büyük kısmı dolgu sütununun dış kenarlarında yer almalıdır.



Şekil 4.22. Tipik dikey anot kurulumu (Peabody, 2001)

Gerekli bir yer yatağı direncine ulaşmak için gereken dikey anot sayısı, Şekil 4.23' deki tipik grafik kullanılarak belirlenebilir. Şekil, çoğu örnekte en uygun yer yatağı konfigürasyonu olan düz bir hat boyunca bulunan tüm anotlara dayanmaktadır. Bu grafik, Şekil 4.24' de gösterilen anot kurulum tipiyle kullanım içindir. Diğer boyutların anot-dolgu dolguları için benzer grafikler hazırlanabilir. Bu grafiklerdeki eğriler, aşağıdaki formüller ve prosedürler kullanılarak geliştirilmiştir.



Şekil 4.23. Tipik dikey anot tasarım tablosu (Peabody, 2001)

Her bir anodun toprağa karşı toplam direnci, anodun karbonlu dolguya karşı direnci ve dolgu kolonunun kendisinin direncinden oluşur. Anodun dolguya karşı direnci aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilir.

$$R_v = \frac{0.00521\rho}{L} (2.3 \log \frac{8L}{d} - 1) \quad (4.2)$$

Burada:

R_v = Dikey anodun toprağa karşı direnci (ohm)

ρ = dolgu malzemesinin toprak içindeki direnci (ohm-cm)

L = Anot Uzunluğu (ayak)

d = Anot çapı (ayak)

Şekil 4.23deki eğriler 1.000 ohm-cm topraktaki anotlar içindir. Örneğin, anotların bir kombinasyonu 1.000-ohm-cm toprakta 0,40 ohm'luk bir dirence sahipse (eğrilerle belirtildiği gibi), ancak seçilen yerdeki toprak direnci 2.400 ohm-cm, zemin anot sayısı için yatak direnci $0,40 * 2.400/1.000 = 96$ ohm, artı iç dirençtir.

İkinci bir örnek için, tasarım amaçları için toprak direncinin 750 ohm-cm olduğunu varsayalım, aynı anot kombinasyonunun direnci 30 ohm artı iç direnç olacaktır.

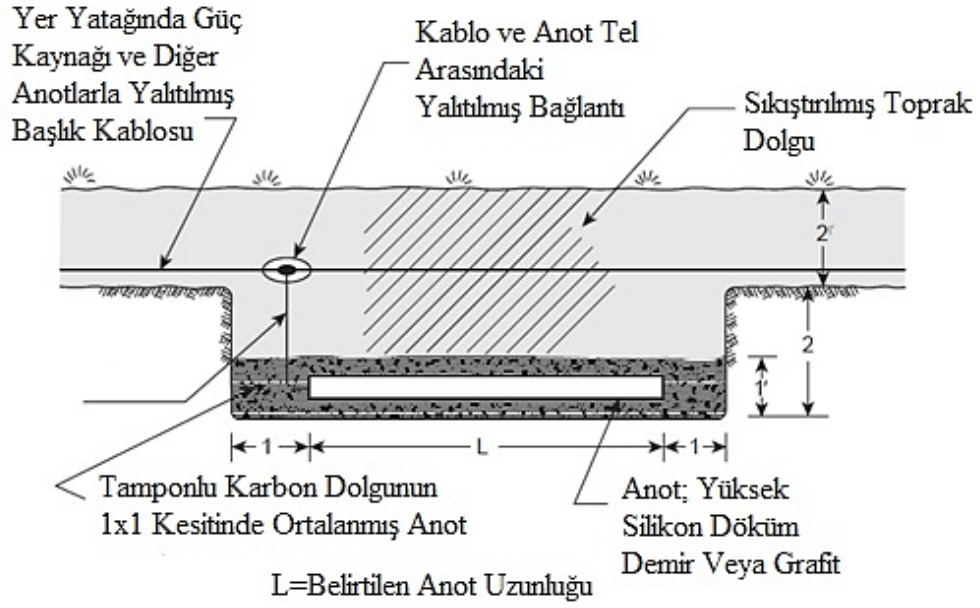
Grafiği kullanmadan önce, anotların izin verilen maksimum direnci belirlenmelidir. Bu gereklidir, çünkü anotların toprağına karşı direncin yanı sıra, toplam devre direncini belirlemek için diğer hususlar da analiz edilmelidir. Bunlar aşağıdakileri içerir:

- Yer yatağı ve boru hattı arasındaki geri voltajı
- Yer yatağı konumundaki boru hattının toprak direnci ve
- Kablonun boru hattından güç kaynağına, güç kaynağından zemin yatağını içeren anotlara karşı direnci.

Geri voltaj, uygulanan voltajın tersine anot ve boru hattı arasında mevcut olan voltajdır. Karbonlu dolgu ile zemin yatağı anotları için, bu genellikle 2V düzeyindedir. Olağandışı toprak bileşiminin bazı alanları daha yüksek geri gerilimlere neden olabilir, ancak 2V değeri tasarım amaçları için yaygın olarak kullanılır. Pratikte, bir çalışma yer yatağındaki geri voltaj, doğrultucu gücü KAPALI konuma getirildikten hemen sonra yer yatağı ve boru hattı arasındaki voltajın ölçülmesiyle belirlenir. Yer yatağı her zaman boru hattına pozitif olacaktır. Geri voltaj 2V ise, akımın zemin yatağından akabilmesi için redresör kaynağının 2V voltajı geçmesi gerektiği anlamına gelir.

Boru hattının toprak direnci, boru hattı kaplamasının kalitesine bağlıdır. Kaplama ne kadar iyi olursa, yer yatağı yerindeki etkin direnç de o kadar yüksektir.

Anot sayısının seçilmesindeki bir diğer önemli nokta, istenen anot ömrünün olmasıdır. Tatmin edici bir düşük zemin yatağı direnci verecek minimum anot sayısı yeterli yaşama yol açmazsa, anot sayısı buna göre arttırılmalıdır. Genel bir prensip olarak, yatay anotlar için düşey yer yatağı anotları tercih edilmesine rağmen, dikey anotların ulaştığı derinliklerde elverişsiz zemin koşulları nedeniyle yatay konstrüksiyon kullanılması gerekebilir. Yatay anotların kurulması için tipik bir yöntem Şekil 4.24' de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Tipik yatay anot kurulumu (Peabody, 2001)

Şekil 4.25, paralel anotların direncini belirlemek için kullanılacak tasarım tablolarını göstermektedir. Bu çizelgeler, düz bir çizgi boyunca yerleştirilen tüm anotlar ile Şekil 4.24’ de gösterilen yapı tipine dayanmaktadır.

Aynı genel prosedür, anot ile dolgunun dış kenarlarına olan direnci, Şekil 4.23’ de kullanıldığı gibi, aşağıdaki formülün kullanılması ile de takip edilir:

$$R_h = \frac{0.00521\rho}{L} \left(2.3 \log \frac{4L^2 + 4L\{S^2 + L^2\}^{1/2}}{dS} + \frac{S}{L} - \frac{\{S^2 + L^2\}^{1/2}}{L} - 1 \right) \quad (4.3)$$

Burada:

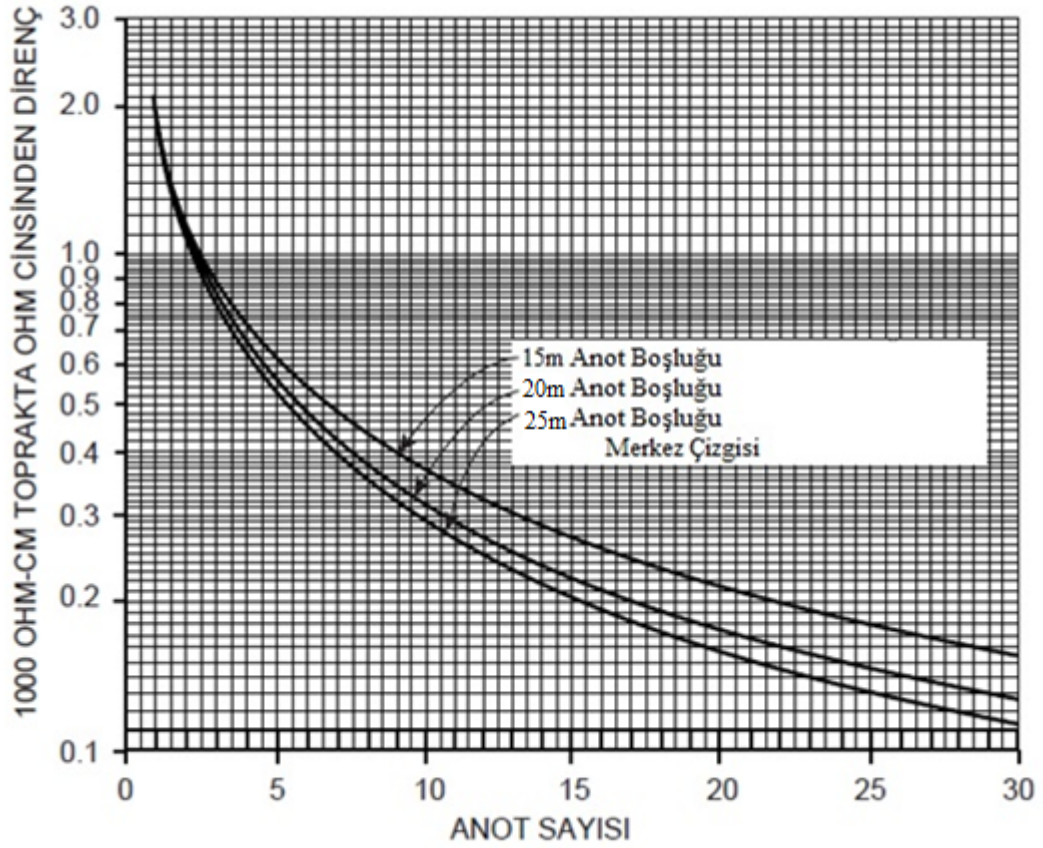
R_h = Dikey anodun toprağa karşı direnci (ohm)

ρ = dolgu malzemesinin toprak içindeki direnci (ohm-cm)

L = Anot Uzunluğu (ayak)

d = Anot çapı (ayak)

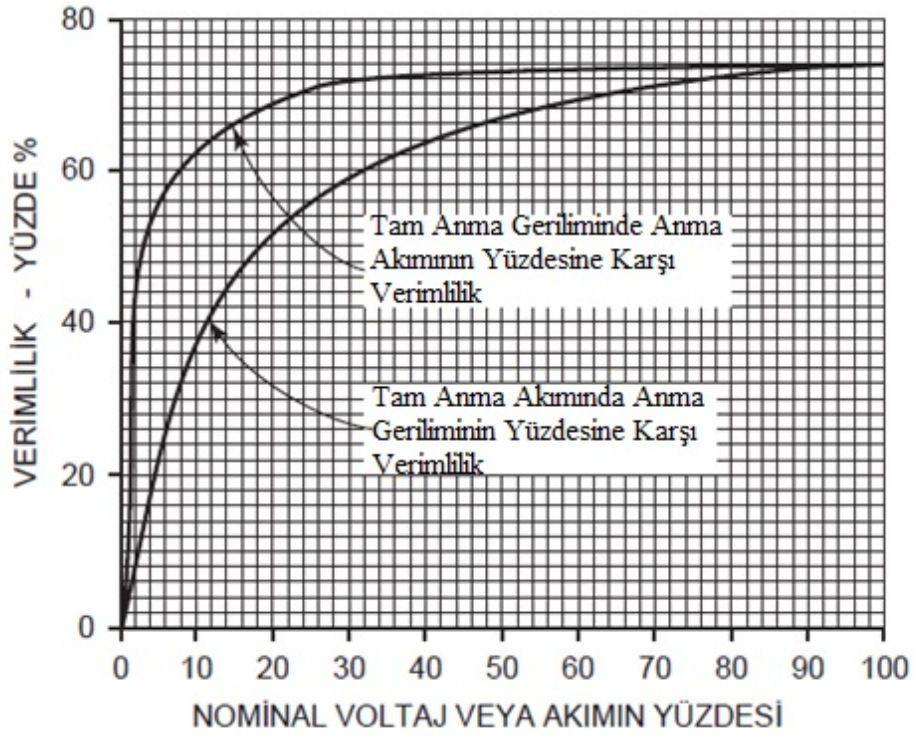
S = Anodun İki Katı Derinliği (ayak)



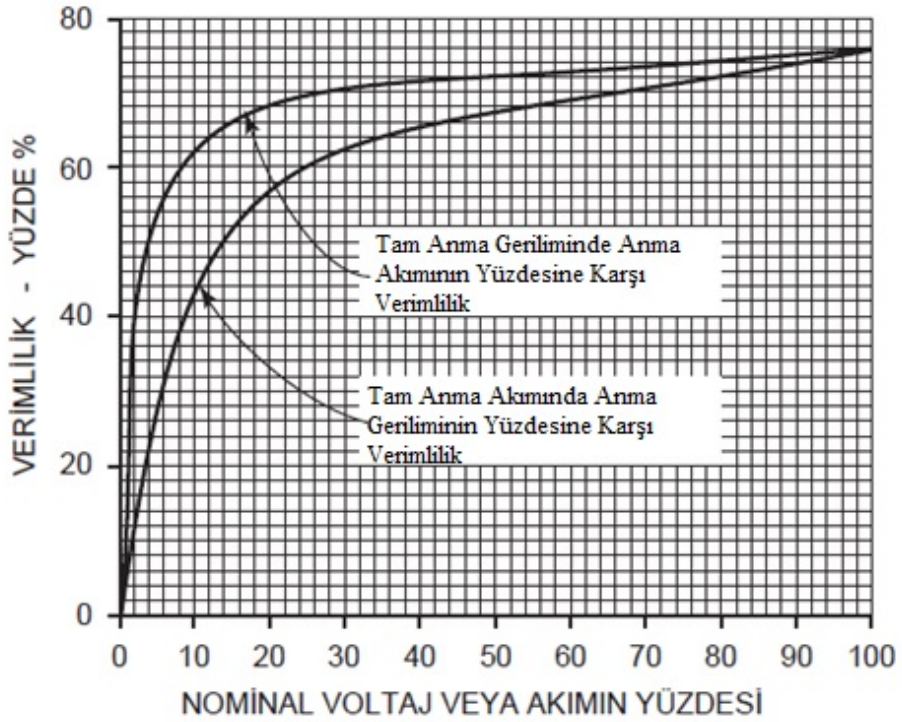
Şekil 4.25. Tipik yatay anot tasarım tablosu (Peabody, 2001)

4.3.1.4. Doğrultucu verimliliği

Kullanılan doğrultucu elemanların tipine ve çıkış filtresinin kullanılıp kullanılmayacağına ek olarak, redresör verimi, akım veya gerilim yükünün oranlarından etkilenmektedir. Şekil 4.26' da gösterilen etki, tam akım – azaltılmış voltajda çalıştırılan üniteler için tipik verimlilik eğrilerini ve Şekil 4.27' de tam gerilim –azaltılmış akımda çalıştırılan üniteler için tipik verimlilik eğrilerini göstermektedir.



Şekil 4.26. Doğrultucu verimliliği -60V, 60A tam yük DC çıkışlı doğrultucu ünitesi (Peabody, 2001)

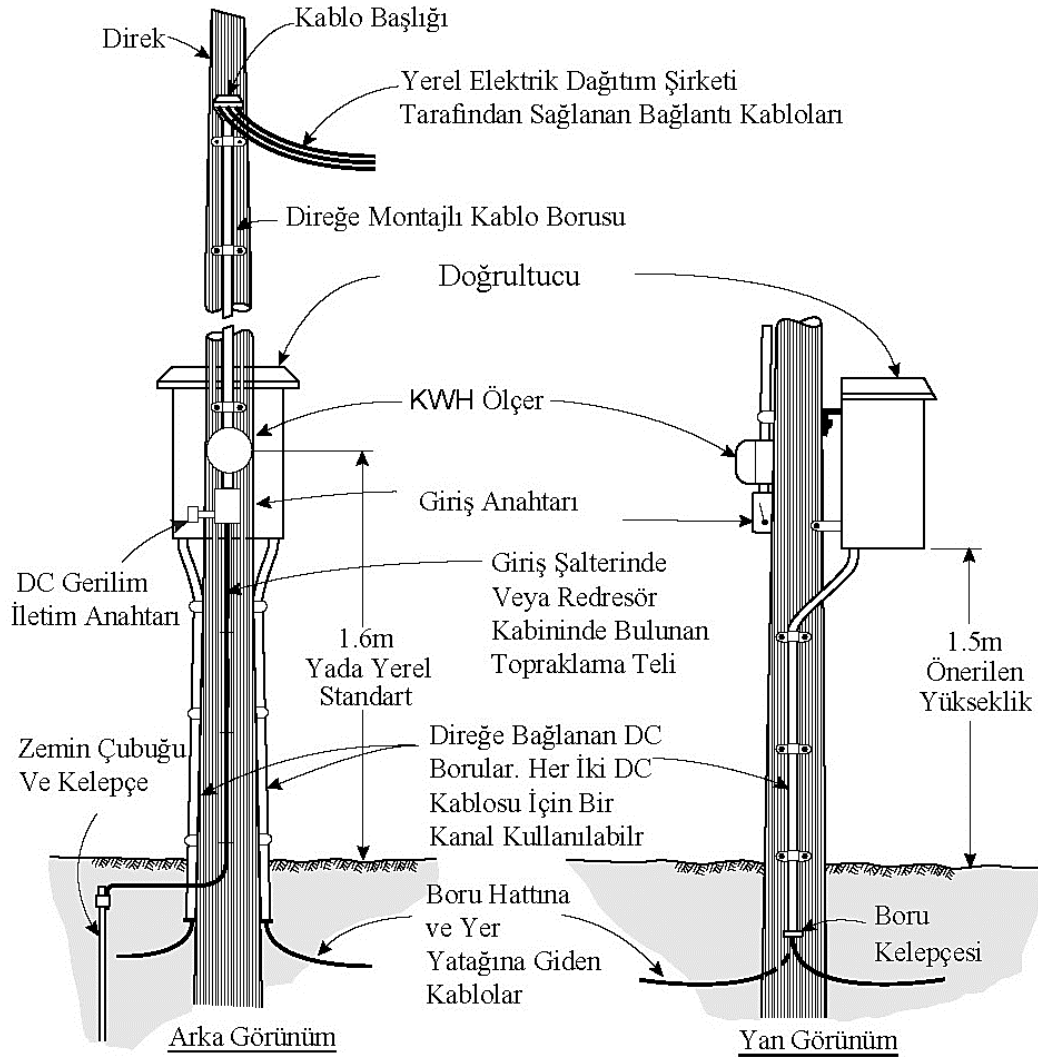


Şekil 4.27. Doğrultucu verimliliği -40V, 34A tam yük DC çıkışlı doğrultucu ünitesi (Peabody, 2001)

4.3.1.5. Doğrultucu montaj detayları

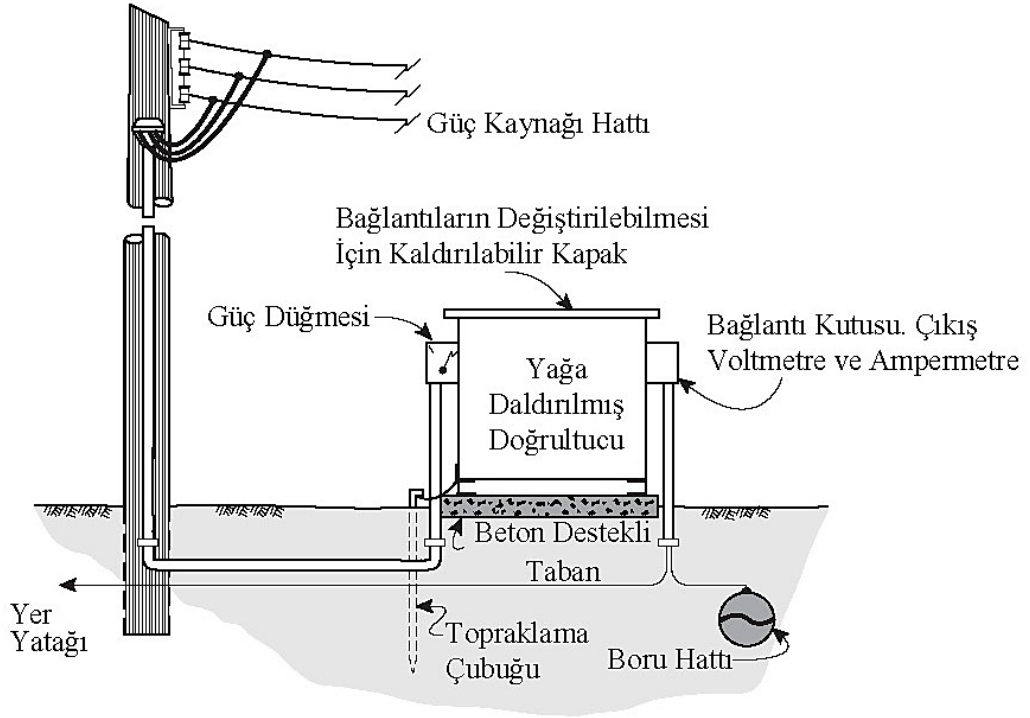
Redresör kurulumu için çeşitli standartlar, boru hattı şirketleri tarafından kullanılmaktadır. Kurulum uygulamaları, yerel koşullara ve bireysel tercihlere bağlı olarak farklılık gösterir. Geçerli evrensel bir standart yoktur. Doğrultucu montaj çizimleri, kullanıcının gereksinimlerini karşılamak için gerektiği şekilde uyarlanabilecek şekilde aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 4.28, direğe monteli bir CP doğrultucu takmak için bir yöntemi göstermektedir. Hava soğutmalı redresörlerin çoğu, şekilde gösterildiği gibi direk olarak monte edilir.



Şekil 4.28. Direğe montajlı doğrultucu sistemi(Raymond, 2008).

Şekil 4.29, hava soğutmalı (temel tipi), yağ doldurulmuş ve patlamaya dayanıklı doğrultucuların montajı için bir beton tabanın kullanımını göstermektedir (Raymond, 2008; Peabody, 2001).



Şekil 4.29. Zemine sabitlenmiş doğrultucu (Raymond, 2008)

4.3.2. Galvanik anotlarla katodik koruma

Performans karakteristikleri, tipik uygulamalar ve montaj detayları dâhil olmak üzere yaygın galvanik (kurban) anot malzemelerinin tartışılması aşağıda özetlenmiştir.

4.3.2.1. Boru hattı kullanımı için galvanik anot çeşitleri

Gömülü boru hatları için yaygın olarak kullanılan iki galvanik anot metalleri magnezyum ve çinkodur. Tipik anotların görünümü, Şekil 4.30 ve 4.31’ de gösterilmektedir. (Raymond, 2008).



Şekil 4.30. Tipik çinko anot



Şekil 4.31. Tipik magnezyum anot

4.3.2.2. Galvanik anotların çalışma prensibi

Katodik koruma (CP) için galvanik anotların kullanımı, benzer olmayan metal korozyon hücrelerinin basit bir uygulamasıdır. Bir çelik boru hattının elektromotor kuvvet serilerinde daha yüksek bir metale elektriksel olarak bağlı olduğu ve her ikisinin de ortak olduğu durumlarda toprak gibi iletken elektrolit, daha aktif metal aşındırır ve işlemde deşarj akımına neden olur. Magnezyum ve çinko böyle metallerdir.

Belirli bir CP uygulaması için ihtiyaç duyulan akım miktarı biliniyorsa, anot sistemleri arzu edilen yıl boyunca sürekli olarak istenen akım çıkışını üretmek için yeterli anot malzemesi kullanılarak tasarlanabilir.

4.3.2.3. Galvanik anot uygulamaları

Boru hattı CP uygulamaları için, galvanik anotlar genellikle nispeten küçük miktarlarda akımın gerekli olduğu durumlarda (tipik olarak 1 A'dan daha az) ve toprak akımının istenen akımın elde edilmesine izin verecek kadar düşük (tipik olarak 10,000 ohm-cm'den az) olan alanlarda kullanılır. Büyük miktarlarda akım gerektiğinde (tipik olarak 1 A'dan büyük) dış akım kaynaklı sistemler daha ekonomik olma eğilimindedir. Hangi güncel kaynağın kullanılacağı konusunda bir soru varsa, yerel koşullar aksi belirtilmedikçe bir ekonomik analiz yapılmalıdır.

İyi kaplanmış borunun korunması için çok küçük akım gereksinimlerine sahip olacaktır. Bu gereksinimler, toprak direnci koşullarının uygun olduğu galvanik anotlarla karşılanabilir.

Dış akım kaynaklı CP sistemlerine sahip iyi kaplanmış boru hatlarında, nispeten küçük miktarlarda ilave akıma ihtiyaç duyulabilecek noktalar olabilir. Bu ihtiyaçlar galvanik anotlarla karşılanabilir. Tipik uygulamalar arasında, yeterli kaplama yapılmamış gömülü vana tesisatları, temizlenemeyen kısa süreli muhafazalar, boru hattı kaplamasının kötü bir şekilde hasar gördüğü yalıtılmış bölümler ve elektriksel korumanın uzaktan konumlandırılmış dış akım sistemlerinden etkili akım dağıtımını engelleyebileceği alanlar bulunmaktadır.

4.3.2.4. Anot geri dolgusu

Toprak kurulumlarında güvenilir çalışma için, hem çinko hem de magnezyum anotları anodu tamamen saran bir kimyasal dolgu ile kullanılır. Kimyasal dolgu üzerine genel veriler Tablo 4.1’de gösterilmiştir (Raymond, 2008; Peabody, 2001).

Tablo 4.1. Magnezyum ve çinko anotlar için dolgu verileri

	Alçıtaşı (CaSO ₄)%			Sodyum Sülfat%	Ohm-cm’ de Yaklaşık Direnç
	Sulu	Kalıp Alçı (Paris Alçısı)	Bentonit Kili%		
(A)	50	-	50	-	250
(B)	75	-	20	5	50

1.Çinko anotlar ile yaygın olarak kullanılan dolgu maddesi karışımı (A).
2.Düşük dirençli dolgu malzemesi karışımı (B), toprağa karşı anot direncini azaltmak için yüksek toprak direnci alanlarında faydalıdır.

Anot, bilinen bileşimin homojen bir materyali ile çevrelenmişken, anot akımı daha verimlidir. Toprak anot ile doğrudan temas ederse, toprak bileşimlerindeki çeşitlilik anot üzerinde bölgesel korozyon oluşturabilir ve anodun hızlı bir şekilde tüketimi ile sonuçlanır (Peabody, 2001; Gummow, 1986).

4.3.2.5. Anot ömrünün hesaplanması

Herhangi bir ağırlığa sahip bir galvanik anodun akım çıkışı biliniyorsa, bunun yaklaşık ömrü hesaplanabilir. Bu hesaplama, anot malzemesinin kilogram başına teorik amper-saatine, mevcut verimliliğine ve bir kullanım faktörüne dayanmaktadır.

Magnezyum için, anot ömrü aşağıdaki ifadeyle belirlenebilir (verimlilik ve kullanım faktörü ondalık olarak ifade edilir) (Peabody, 2001).

Magnezyum Anot

$$\text{Ömür (yıl)} = \frac{0.116 \times \text{Anot Ağırlığı(kg)} \times \text{Verim} \times \text{Kullanım Faktörü}}{\text{Akım (amper)}} \quad (4.4)$$

Çinko anotlar için anot ömrü, aşağıdaki ifadeyle benzer şekilde belirlenebilir:

Çinko Anot

$$\text{Ömür (yıl)} = \frac{0.424 \times \text{Anot Ağırlığı(kg)} \times \text{Verim} \times \text{Kullanım Faktörü}}{\text{Akım (amper)}} \quad (4.5)$$

Örnek olarak, bir 32-lb magnezyum anodunun % 50 verimlilikte 0.1 A ürettiğini ve 30-lb çinko anodun % 90 verimle 0.1 A ürettiğini varsayalım;

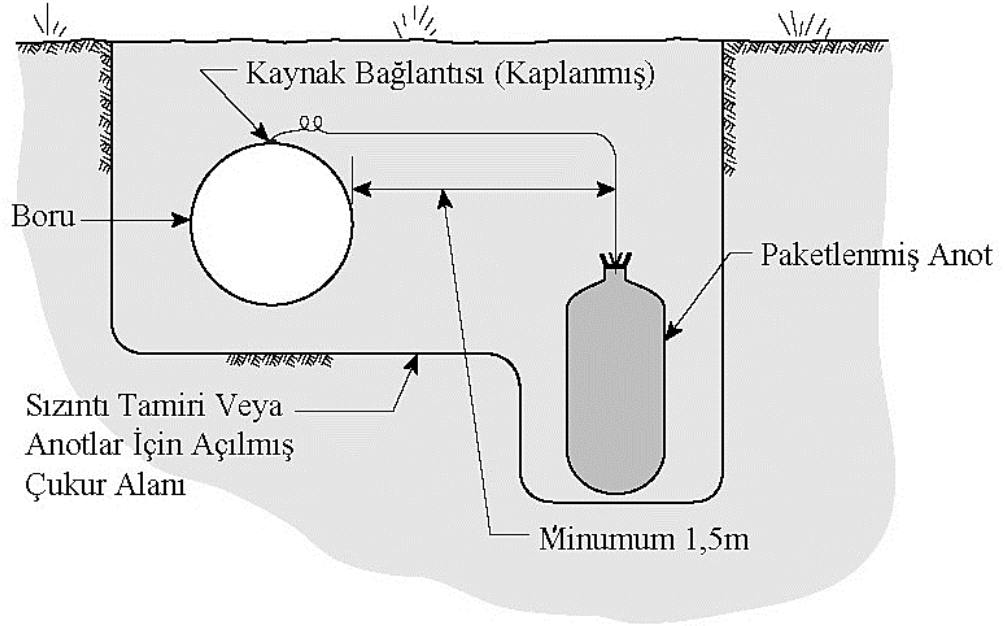
$$\text{Magnezyum Anot Ömrü (yıl)} = \frac{0.116 \times 32 \times 0.50 \times 0.85}{0.1} = 15.8 \text{ yıl}$$

$$\text{Çinko Anot Ömrü (yıl)} = \frac{0.424 \times 30 \times 0.90 \times 0.85}{0.1} = 9.7 \text{ yıl}$$

4.3.2.6. Galvanik anot kurulum detayları

Galvanik anot kurulumları, dış akım kaynaklı sistemlerin kurulumuna kıyasla basittir. En basit kurulum, tek bir paketlenmiş anodun, bir sızıntı onarım yerinde ya da bir boru hattı boyunca dağıtılmış anot kurulumları için gömülmesidir. Bu, Şekil 4.32' de gösterilmiştir.

Ambalajlı çinko anotlar düşük dirençli topraklarda kullanılabilirlikle birlikte, popüler 17-lb, 20-lb veya 32-lb paketlenmiş magnezyum anotlar bu tip uygulamalarda en yaygın olarak kullanılmaktadır.



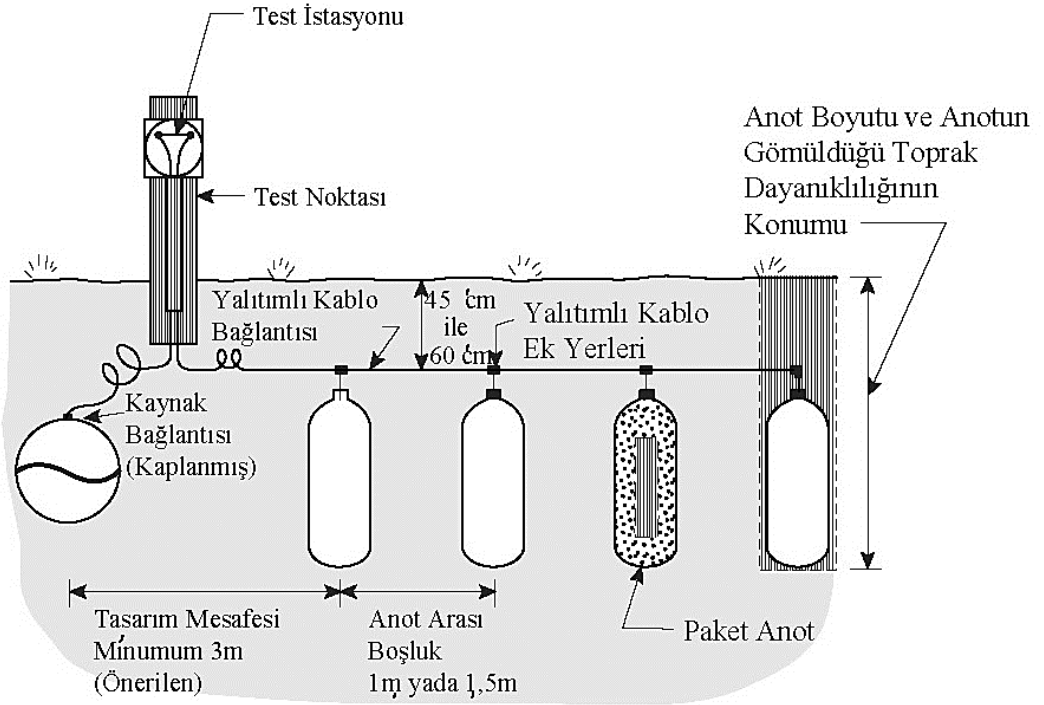
Şekil 4.32. Tek paketli anot kurulumu (Lewis, 1998)

Birçok magnezyum veya çinko anotun, genellikle kaplı bir boru hattında, tek bir konumda kurulacağı durumlarda, anotlar bir başlık teline bağlanabilir. Ana tel, anot ömrünün hesaplanması için izleme ve çıkış akımının periyodik ölçümü için bir test noktasına getirilmelidir. Bu, Şekil 4.33 ve 4.34 ile gösterilmiştir (Lewis, 2001; Lawson vd., 1993).



Şekil 4.33. Çift paketli anot kurulumu

Birden çok anot yatağındaki anotlar, toprağa en düşük direnç için düz hat konfigürasyonuna yerleştirilmektedir. Anot çizgisi, şekilde gösterildiği gibi boru hattına dik olabilir veya boruya paralel bir hat boyunca olabilir.



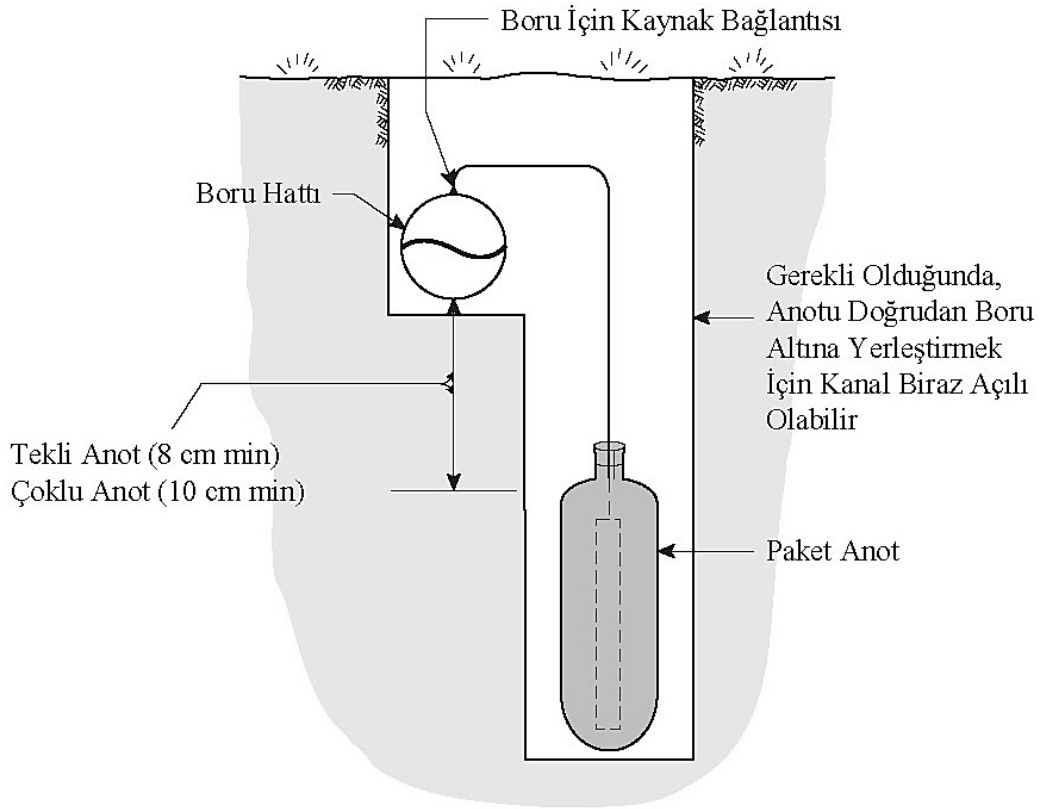
Şekil 4.34. Çoklu galvanik anot kurulumu - 1 (Lewis, 1998)

Paralel bir magnezyum anot hattı, boru hattından en az 4,5 m uzakta olmalıdır. Bu alan az yer varsa 1,5 m' ye veya daha da yakınına yerleştirilebilir. Bununla birlikte, alanın mevcut olduğu yerlerde, en iyi performans için boru hattı ile çinko anotlar hattı arasında en az 3 m'ye izin verilmesi en iyisidir.



Şekil 4.35. Çoklu galvanik anot kurulumu – 2

Toprak dirençlerinin ve burgulama koşullarının izin verdiği ve yer kısıtlamalarının son derece kritik olduğu durumlarda, anot, boru ile birlikte delikler arasında yerleştirilebilir ve delik ile boru ve anot arasında makul mesafe elde edilir. Bu, Şekil 4.36 ile gösterilmiştir (Peabody, 2001; Parker ve Peattie, 1991).



Şekil 4.36. Boru tesisatının altındaki galvanik anot (Lewis, 1998)

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Potansiyel Ölçümler

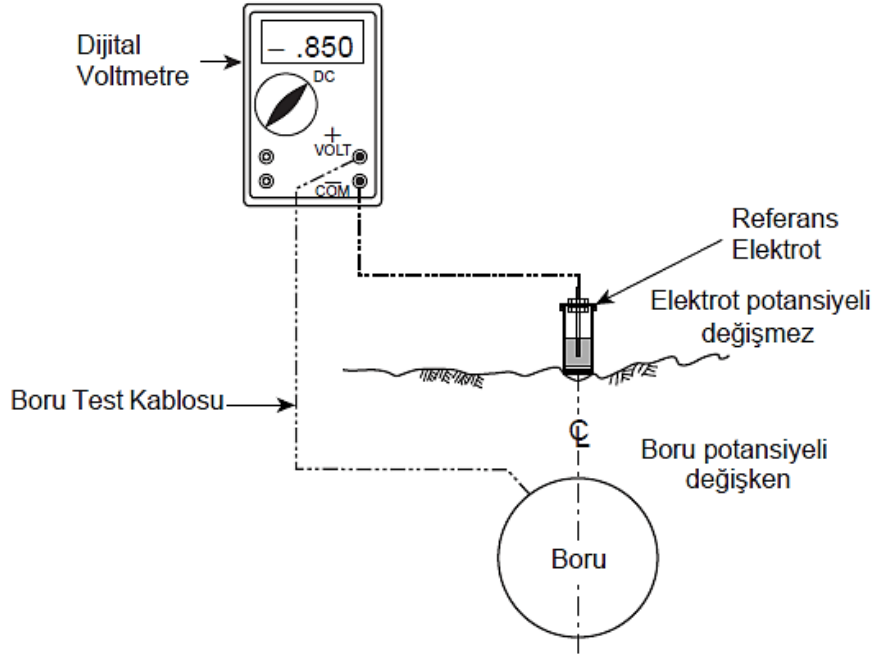
Bir boru hattı ile bir bakır sülfat referans elektrodu (CSE) arasındaki potansiyelin ölçülmesi, korozyon endüstrisinde gerçekleştirilen en yaygın testtir. Bu çalışmada potansiyel ölçümlerle ilgili tüm ölçümlerde sülfat referans elektrodu referans gösterilmiştir.

Boru-toprak potansiyeli ölçümleri, elektrotun “yakın” okumalar için boru hattının üzerine, “uzak” okumalar için boru hattına uzak bölgelere yerleştirilmesiyle gerçekleştirildi. Referans elektrodunun, nemli toprak ile sıkı temas halinde olmasına dikkat edildi. Son derece kuru topraklarda, iyi temas sağlamak için elektrodun etrafındaki toprak tatlı su dökülerek nemlendirildi.

Bu çalışmada standartlaştırılmış konvansiyon amaçlı olarak, referans elektrot yüksek empedanslı bir voltmetrenin negatif terminaline ve boru hattına pozitif terminale (test noktası terminali, prob çubuğu veya boru hattı ile doğrudan temas yoluyla) bağlandı(Şekil5.1).

5.1.1. Katodik koruma altında olmayan boru hatları

Potansiyeller, değerlendirilmekte olan boru hattı ile ilgili birçok şeyi ortaya çıkarmaktadır. Bunlar arasında korozyonun ne kadar ilerlediği, korozyonun en şiddetli olduğu noktaların yerleri ve kaçak akım elektrolizine maruz kalan alanların yerleri hakkında genel bir bilgi verir. Boru-Toprak potansiyeli ölçümüne ait şematik gösterim Şekil 5.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Boru-Toprak potansiyeli ölçümü

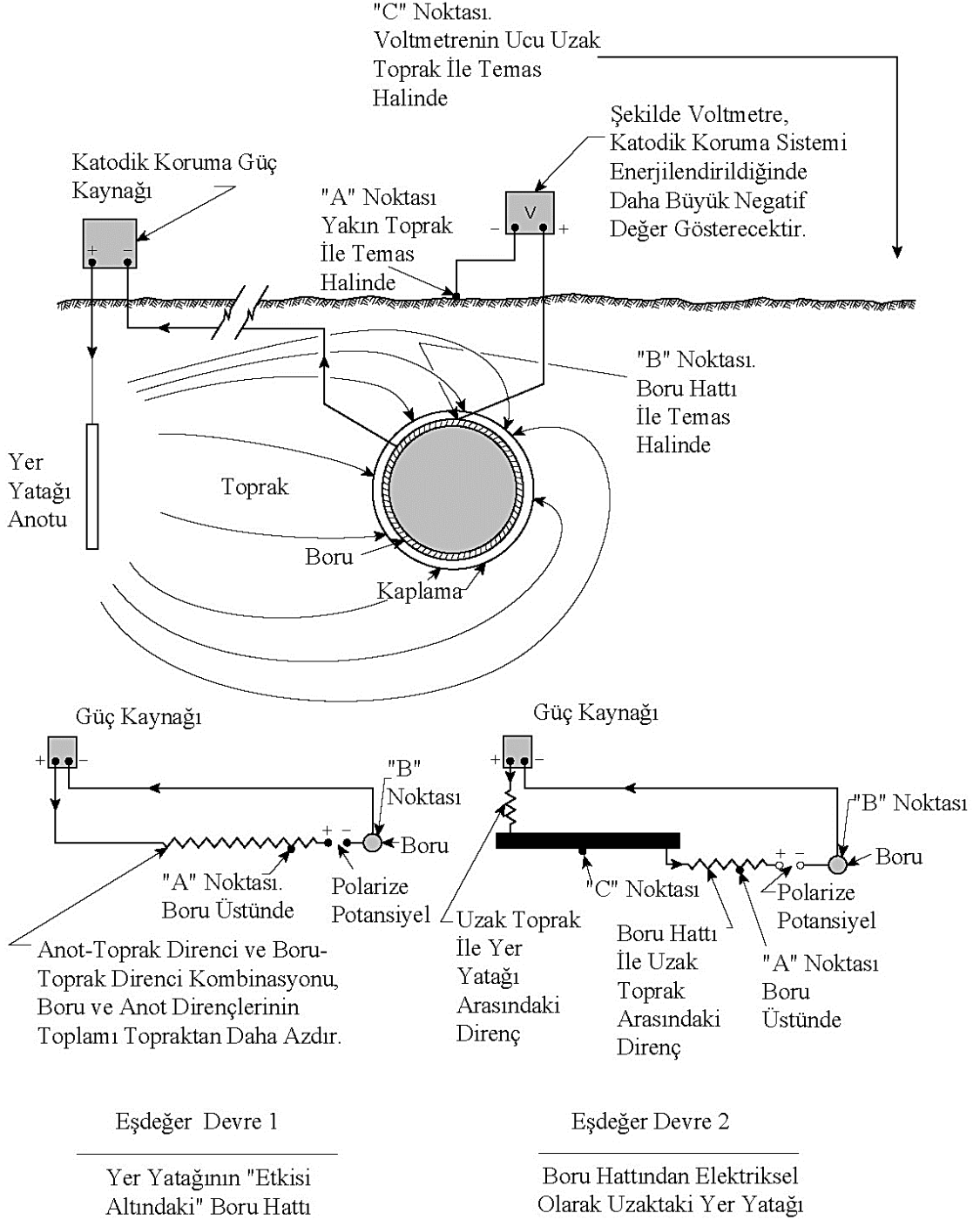
Yeni döşenen, kaplanmış çelik boru hatları -0,5 ila -0,7 V aralığında bir ortalama potansiyele sahip olabilirken, eski, çıplak çelik hatlar -0,1 ila -0,3 V aralığında bir ortalama potansiyele sahiptir.

5.1.2. Katodik koruma altındaki boru hatları

Katodik olarak korunan bir boru hattının kendi ortamından dış ortama (çevreye) akım akışı, potansiyelde bir değişikliğe neden olur. Bunun bir sonucu olarak, boru hattı ve çevre arasındaki direnç boyunca voltaj düşümü ve boru yüzeyinde polarizasyon potansiyeli oluşur. Boru hattı ve çevre arasındaki direnç, varsa boru hattı kaplamasının direncini de içerir.

Eğer aşınmış bir boru hattındaki katodik alanlar, anodik alanların açık devre potansiyeline polarize edilirse, korozyon azalacaktır. İdeal olarak, bu konseptte dayanarak, potansiyeller doğrudan boru hattı ve çevresi arasındaki arayüz üzerinden ölçülmelidir. Bu konum, Şekil 5.2’ de gösterilen eşdeğer devreler üzerinde “polarizasyon potansiyeli” işaretli terminaller ile temsil edilir. Genel uygulamada, olağan yaklaşım, boru hattı ile toprak arasındaki potansiyelin boru hattının hemen yukarısındaki yüzeyde ölçülmesidir. Eşdeğer devreler tarafından gösterildiği gibi, gözlemlenen potansiyel, polarizasyon potansiyelini ve boru

hattı ile toprak arasındaki direncin bir kısmından akan akımın yarattığı bir potansiyeli gösterir.



Şekil 5.2. Katodik koruma akımının akışı ile boru-ortam potansiyeli değişimi (Peabody, 2001)

5.1.3. Uzak - Yakın potansiyel ölçümler

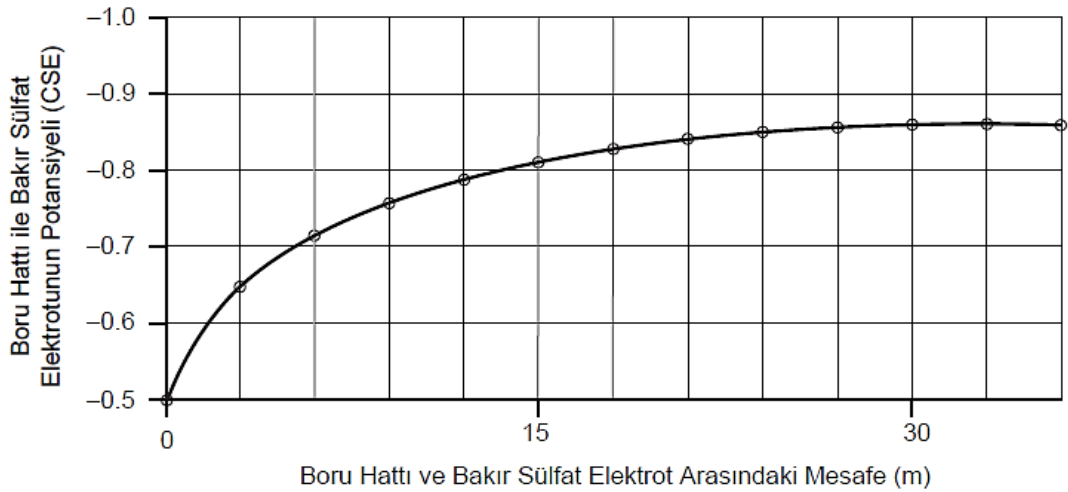
Boru hattı potansiyeli okumaları genellikle “yakın” veya “uzak” elektrotlarla yapılır. Çoğu ölçümlerde “yakın” elektrot kullanıldı.

5.1.3.1. Yakın toprak

Elektrotun yakınında bir okuma genellikle, incelenen boru hattının hemen üstünde bulunan yer (veya su) yüzeyine yerleştirilen referans elektrot ile yapılan bir ölçüm anlamına gelir. Elektrotun uzağında bir okuma ise, boru hattından elektriksel olarak uzaktaki toprağa yerleştirilen referans elektrot ile yapılan ölçüm anlamına gelir.

5.1.3.2. Uzak toprak

Belirli test koşulları altında, referans elektrotunun, potansiyel ölçümleri yapılacak olan yapıdan elektriksel olarak ne kadar uzak bir mesafeye yerleştirileceği önceden bilinmesi gerekir. Örneğin, dış akım kaynaklı korumada zemin yatağı etrafındaki etki alanı ve katodik olarak korunan borunun etrafındaki potansiyel gradyanlardan etkilenen alanlardır ve elektrot bu alan içerisine yerleştirilmesi gerekir. Bu mesafe, referans elektrotu ile belirli aralıklarla yapıdan uzaklaşan bir dizi okuma ile belirlenmiştir. Bu veri, katodik olarak korunan bir boru hattı için çizildiğinde, Şekil 5.3’ de gösterildiği gibi görünmektedir.

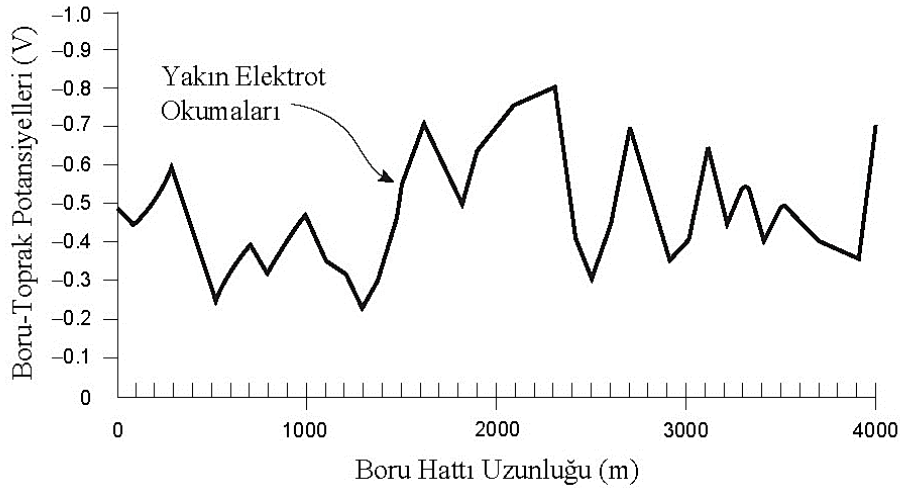


Şekil 5.3. Uzak toprakların ölçüm değerlendirilmesi (Lee, 1996)

5.1.4. Hat üzerinde potansiyel ölçümler (yakın aralıklı)

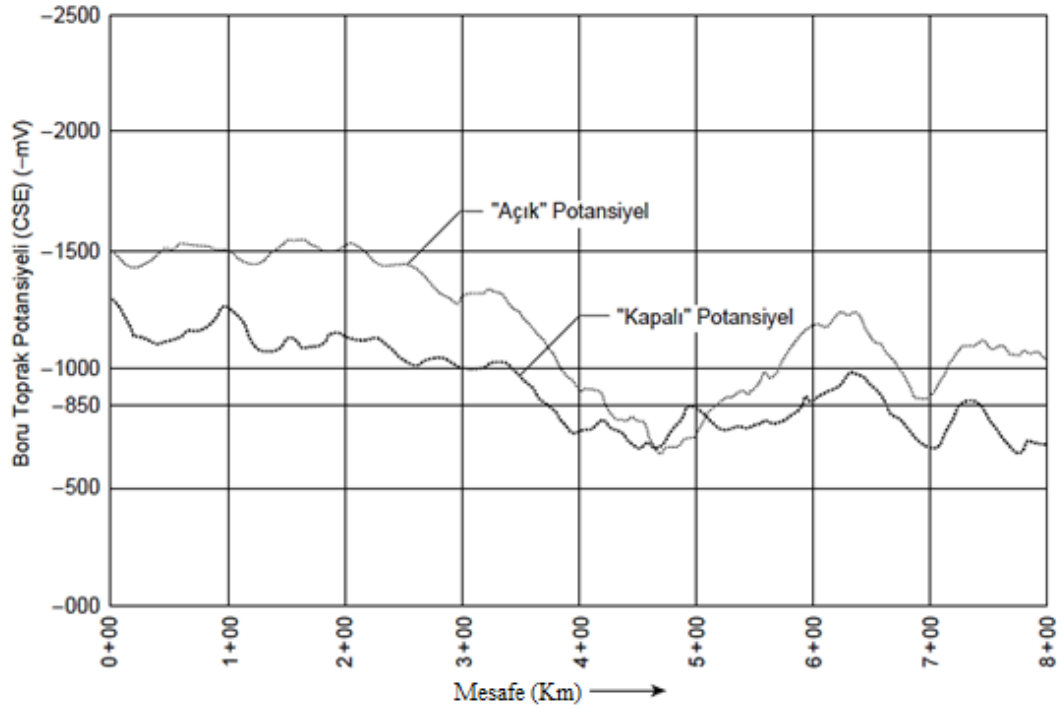
Yapılan ölçümler sonucu farklı okumalar elde edilmiştir. Bu okumalar, boruya veya borudan akan korozyon akımından etkilenir. Bu tür akımlar, boru hattının yakın çevresinde toprakta voltaj düşüşüne neden olur; bu, okumalara yakın bir elektroda yansıyabilir.

Katodik koruma olmadan bir boru hattı üzerinde hat boyunca bir dizi potansiyel ölçümleri yapıldı, Şekil 5.4 bu ölçümlerin grafiksel şeklini göstermektedir. Çizilen veriler düzgün bir eğri oluşturmaz. Grafikte oluşan tepeler, aşınan alanlar olarak düşünülen yerleri göstermektedir.



Şekil 5.4. Yakın aralıklı potansiyel ölçümleri

Katodik koruma ile korunan bir boru hattı üzerinde hat boyunca bir dizi potansiyel ölçümleri yapıldı, Şekil 5.5 bu ölçümlerin grafiksel şeklini göstermektedir. Çizilen veriler yine düzgün bir eğri oluşturmaz. Grafikteki düşüşler (en düşük negatif potansiyel), katodik korumanın yeterli olmadığı yerleri göstermektedir.



Şekil 5.5. Hat üzeri boyunca yapılan ölçümler (katodik koruma ile) (Orazem vd., 1997)

Hat üzerinde yakın aralıklarla yapılan bu ölçümler, potansiyelin boruların hemen üzerinde ve boru boyunca sık aralıklarla bir referans elektrodu ile ölçülmesiyle yapılmıştır. Ölçüm sonuçları, katodik koruma altında olmayan boru hattında veya katodik korumalı boru hattındaki aşınan alanları tespit etmek için yapılmıştır (Orazem vd., 1997; Romanoff, 1989).

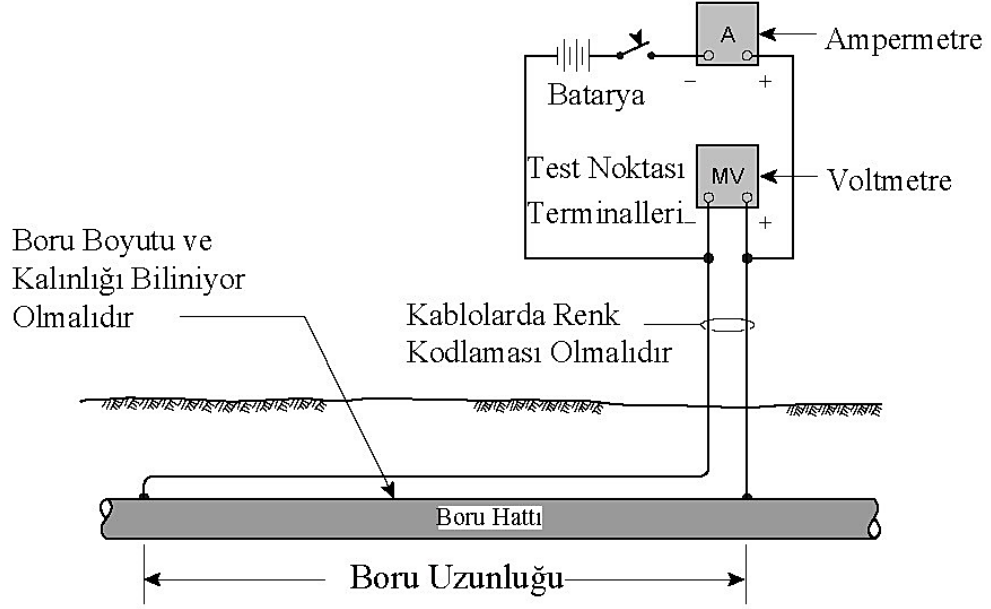
5.2. Hat Akımı Ölçümleri

Boru hattı ölçüm çalışmasında, direnç düşümü yöntemi ile boru hattı üzerinde akım ölçümleri yapılmıştır. Katodik korumalı bir boru hattı boyunca ve kaçak akım gibi diğer uygulamalar için akım dağılımının belirlenmesinde de bu yöntem kullanılmıştır. Genel hatlarıyla bu ölçümler, boruyla temas halinde olan kalıcı test noktalarında yapılmıştır.

5.2.1. Kalıcı iki kablolu test noktaları

Boru uzunluğu bilinen bir boru hattında, iki kablolu test noktalarının mevcut olduğu yerlerde, potansiyel aralıktaki farkın belirlenmesi, tablolardan gelen boru direncinin

seçilmesi ve Ohm kanunu kullanılması ile akım hesaplanabilir. Genel düzenleme Şekil 5.6' da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Akım ölçümü, 2 kablolu test noktası (Peabody, 2001)

Ölçüm aşağıdaki gibi yapıldı;

1. Test kabloları ve boru açıklığını, bilinen batarya akımını devreden geçirerek ve test noktası terminalleri boyunca ortaya çıkan voltaj düşüşünü ölçerek devre direnci ölçüldü.
2. Boru hattında akan normal akımın neden olduğu test noktası terminallerindeki voltaj düşüşü ölçüldü.
3. Boru hattı direnç tablolarını kullanarak boru hattı açıklığının direnci belirlendi (Tablo 5.1).
4. Ohm yasası ile boru hattı akım akışı hesaplandı.

Tablo 5.1. Çelik boru direnci

Boru Boyutu (İnç)	Dış Çap (İnç)	Duvar Kalınlığı (İnç)	Metre Başına Ağırlık (Kg)	Bir Metre Direnci (Ohmx10⁻⁶)
2	2,375	0,154	3,65	79,2
4	4,5	0,237	10,8	26,8
6	6,625	0,280	19,0	15,2
8	8,625	0,322	28,6	10,1
10	10,75	0,365	40,5	7,13
12	12,75	0,375	49,6	5,82
14	14,00	0,375	54,6	5,29
16	16,00	0,375	62,6	4,61
18	18,00	0,375	70,6	4,09
20	20,00	0,375	78,6	3,68
22	22,00	0,375	86,6	3,34
24	24,00	0,375	94,6	3,06
26	26,00	0,375	102,6	2,82
28	28,00	0,375	110,6	2,62
30	30,00	0,375	118,7	2,44
32	32,00	0,375	126,6	2,28
34	34,00	0,375	134,6	2,15
36	36,00	0,375	142,6	2,03
42	42,00	0,375	166,6	1,81
56	56,00	0,375	222,6	1,66

5.2.1.1. Potansiyel test noktası (CP)

Her bir potansiyel test noktası ölçümleri aşağıdaki gibi uygulandı.

- Taşınabilir referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.

İşletim Denetimleri:

Boru hattı - toprak potansiyelleri tasarım kriterlerini karşıladığı kontrol edildi (BOTAŞ).

Boru hattı-toprak arasındaki potansiyel fark – 1.287 mVDC olarak ölçüldü (Ek-1). Boru hattı bu noktada korozyona karşı yeterli seviyede korunmaktadır.

5.2.1.2. Dış akım drenaj noktası (DP)

Her bir dış akım drenaj noktasında kaydedilecek ölçümler aşağıdaki gibi uygulandı.

- Taşınabilir referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir bir referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- CP TR'de kalıcı referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- CP TR'de kalıcı referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- CP AÇIK ve CP KAPALI durumlarında taşınabilir referans elektroduna (kalıcı elektrodun doğrudan yerine yerleştirilen portatif referans elektrodu ile) kalıcı referans elektrot potansiyeli ölçüldü.
- ER probunda elektrik direncini (korozyon kaybı) ölçüldü.

İşletim Denetimleri:

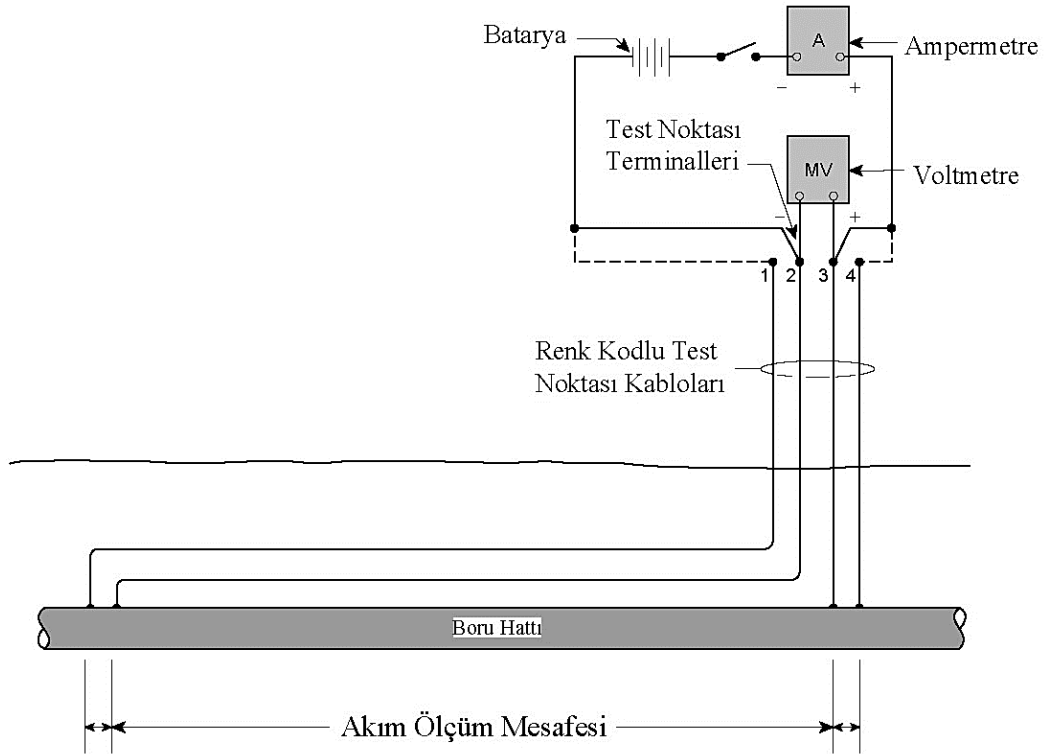
Boru hattı - toprak potansiyelleri tasarım kriterlerini karşıladığı kontrol edildi.

Kalıcı ve taşınabilir elektrot arasındaki potansiyel fark CP KAPALI olduğunda 20 mV' dan az olmalıdır (BOTAŞ).

Bu noktada boru etrafına 2 adet 17 lb.' Lik magnezyum anot yerleştirildi. Yerleştirilen anot potansiyelleri -1.427 mVDC, anot akımları ise 2.1 mADC olarak ölçüldü. Toprak direnci 23.7 ohm.m, boru hattı-toprak arasındaki potansiyel farkı ise – 1.276 mVDC olarak ölçüldü (Ek-2). Boru hattı bu noktada magnezyum anotlar ile korozyona karşı yeterli seviyede korunmaktadır.

5.2.2. Kalıcı çok kablolu test noktaları

Bir akım ölçüm aralığının her iki ucunda iki renk kodlu kabloya sahip dört tel test noktasına sahip olan boru hatları, her bir açıklık doğru bir şekilde kalibre edilebildiğinden, boru hattı akımının doğru ölçümleri için en iyi şekilde donatılmıştır. Bu, iki telli test noktası kullanıldığında oluşabilecek boru açıklığı ve boru direncinin uzunluğundaki hataları önler. Bir boru hattı akımı ölçümü için genel düzenleme, Şekil 5,7' de gösterilmiştir.

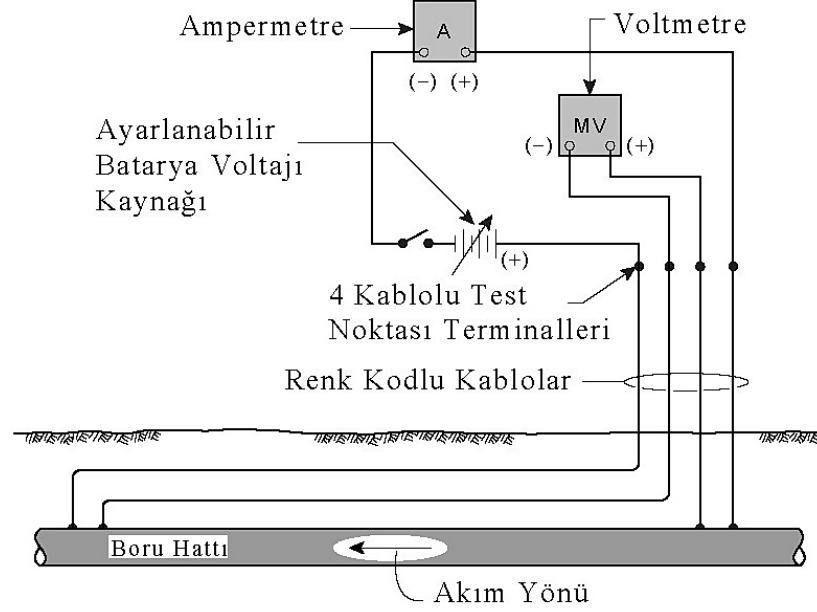


Şekil 5.7. Akım ölçümü, 4 kablolu test noktası

1. Test kabloları ve boru açıklığını, bilinen batarya akımını devreden geçirerek ve test noktası terminalleri (2 ve 3 numaralı terminaller arası) boyunca ortaya çıkan voltaj ölçerek devre direncini ölçüldü.
2. Dış kablolar (1 ve 4 no'lu uçlar) arasında bilinen bir miktar akü akımını geçerek açıklık ayarlandı ve olası ölçüm düşümündeki (2 ve 3 no'lu terminaller) potansiyel değişimi ölçüldü. Mevcut akım, milivolt başına amper cinsinden kalibrasyon

faktörünü ifade etmek için milivoltlardaki potansiyel düşüşle amper cinsinden bölündü.

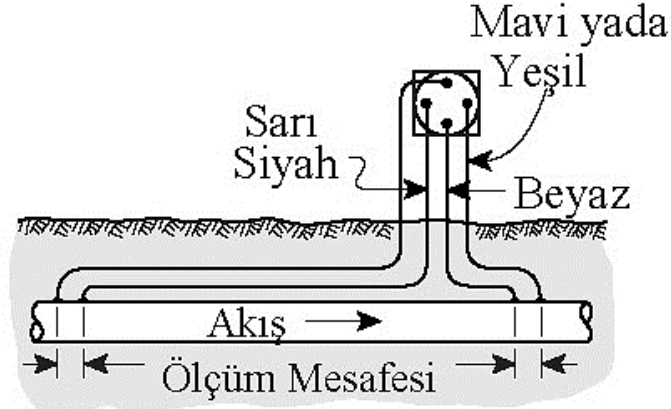
3. Normal boru hattı akımının neden olduğu akım, ölçüm aralığındaki (terminal 2 ve 3) milivoltlardaki potansiyeli ölçüldü.



Şekil 5.8. Boş ampermetre devresi

Hat akımını ölçmek için alternatif bir yöntem, Werner tarafından tanımlanan prosedürlere dayanan boş bir amper test devresi düzenlemesi kullanmaktır. Şekil 5.8' de gösterilen devre, dört kablolu test noktaları ile kullanılır. Yüksek-empedanslı bir voltmetre ile birbirine bağlanır. Aküden çıkan iç kablo çifti, boru içinde akan akımın karşısındaki dış kablo çifti arasında akar. Karşıt akımı arttıkça ölçülen voltaj sıfıra doğru hareket edecektir. Gerilim değeri sıfıra çok yakın olduğunda, ampermetrede ölçülen müteakbil akım, incelenen boru hattı aralığındaki akım akışının büyüklüğünü temsil eder (Peabody, 2001).

5.2.2.1. 4 kablolu kalibre edilen ortak test noktası (ATP)



Şekil 5.9. 4 kablolu kalibre edilen ortak test noktası (ATP)

- Taşınabilir referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir bir referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Test kutusunda 2 ve 3 numaralı terminaller arasındaki potansiyel farkı ölçüldü.

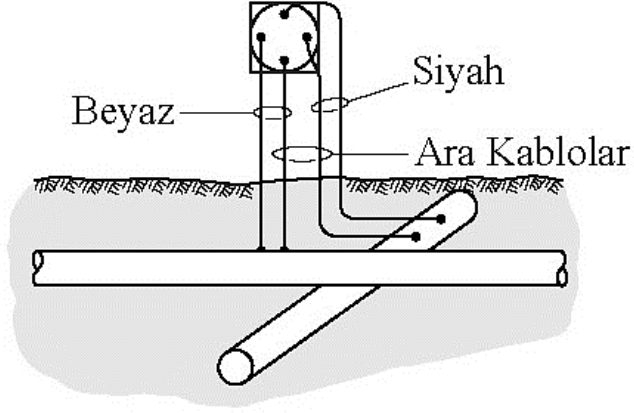
İşletim Denetimleri:

Boru hattı - toprak potansiyelleri tasarım kriterlerini karşıladığı kontrol edildi.

Açıklık boyunca dc akım akışını hesaplandı (BOTAŞ).

Boru hattı-toprak arasındaki potansiyel fark US (Upstream) – 1.351 mVDC, DS(Downstream) – 1.351 mVDC olarak ölçüldü (Ek-3). Boru hattı bu noktada korozyona karşı yeterli seviyede korunmaktadır.

5.2.2.2.Yabancı hat test noktası (ETP)



Şekil 5.10. Yabancı hat geçişi test noktası

- Taşınabilir bir referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak test noktasında ASIL boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir bir referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak test noktasında ASIL boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir bir referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak test noktasında YABANCI boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak test noktasında YABANCI boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.

İşletim Denetimleri:

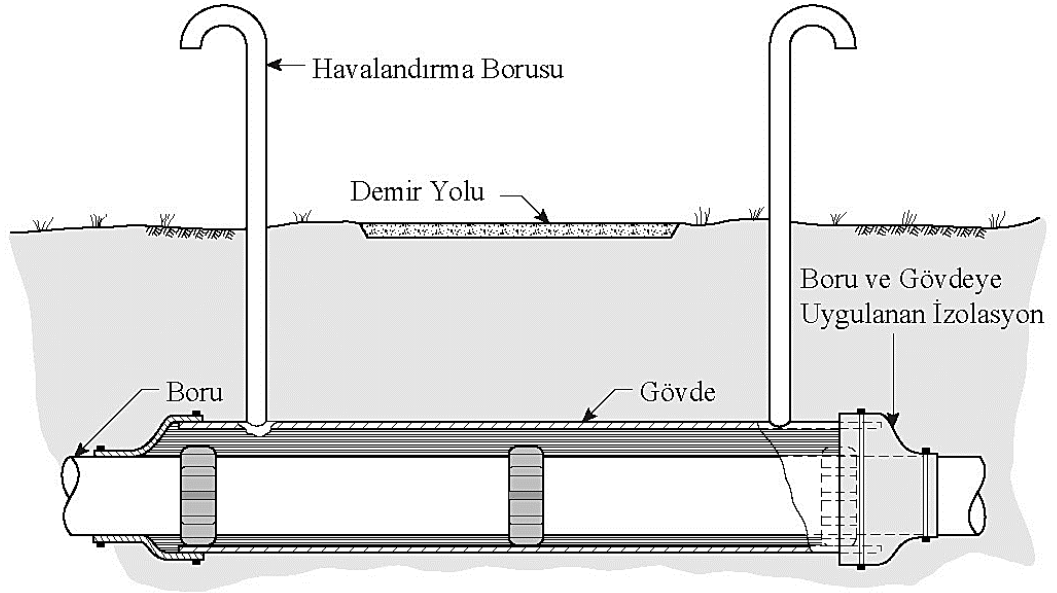
Boru hattı - toprak potansiyelleri tasarım kriterlerini karşıladığı kontrol edildi.

CP KAPALI durumunda, YABANCI boru hattı-toprak potansiyeli, tasarım kriterlerini karşıladığı kontrol edildi.

“CP KAPALI” dan “CP AÇIĞA” a geçerken, YABANCI boru hattında + 20mV'a eşit veya daha az potansiyel kayması olmalıdır (BOTAŞ).

Boru hattı-toprak arasındaki potansiyel fark – 1.236 mVDC olarak ölçüldü (Ek-4). Boru hattı bu noktada korozyona karşı yeterli seviyede korunmaktadır.

5.2.2.3. Gövde test noktası (CTP)



Şekil 5.11. Gövde test noktası (CTP)

- Taşınabilir referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak test noktasında boru hattı-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir referans elektrodu (CP AÇIK) kullanarak test noktasındaki gövde-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir referans elektrodu (CP KAPALI) kullanarak test noktasındaki gövde-toprak potansiyeli ölçüldü.
- Taşınabilir referans elektrodu (anotlarla) kullanarak test noktasında anot-toprak potansiyeli ölçüldü.(gövde ile bağlantısı kesilmiş.)

İşletim Denetimleri:

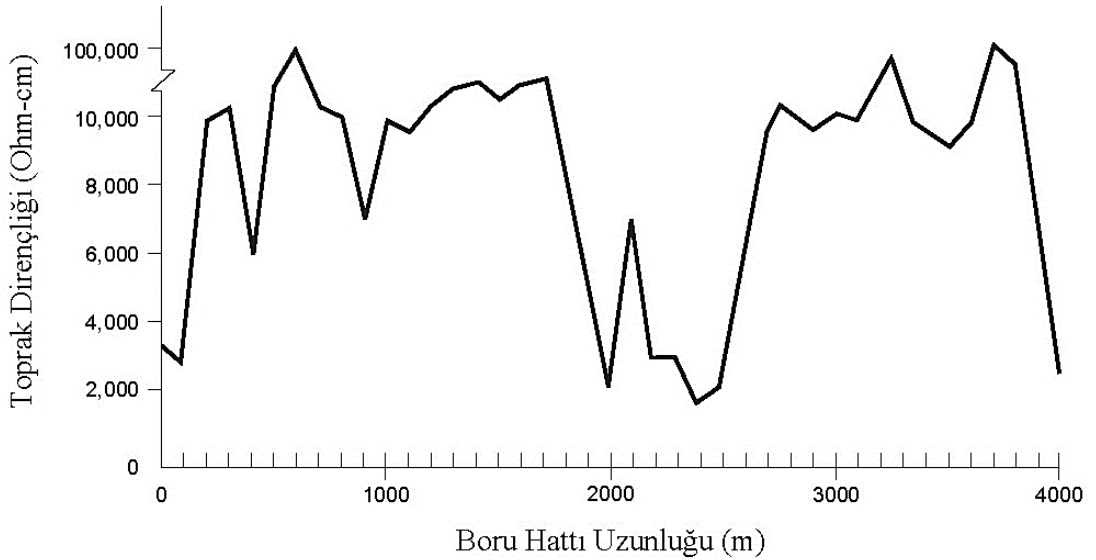
Boru hattı - toprak potansiyelleri tasarım kriterlerini karşıladığı kontrol edildi.

CP KAPALI durumunda, GÖVDE hattı-toprak potansiyeli, tasarım kriterlerini karşıladığı kontrol edildi (BOTAŞ).

Bu noktada boru etrafına 4 adet 17 lb.' Lik magnezyum anot yerleştirildi. Yerleştirilen anot potansiyelleri -1.423 mVDC, anot akımları ise 12 mADC olarak ölçüldü. Gövde ile anot bağlantısı kesildiğinde gövde potansiyeli (OFF) -1.060 mVDC, anot bağlantısı yapıldığında ise gövde potansiyeli (ON) 1.265 mVDC olarak ölçüldü. Toprak direnci 31.5 ohm.m, boru hattı-toprak arasındaki potansiyel farkı ise – 1.386 mVDC olarak ölçüldü (Ek-5). Boru hattı ve gövde bu noktada magnezyum anotlar ile korozyona karşı yeterli seviyede korunmaktadır.

5.3. Toprak Direnç Ölçümleri

Toprak direnci biliniyorsa, akımın ne denli akma eğiliminde olduğu önemli ölçüde tespit edilebilir. Yüksek özdirençli topraklar, mevcut akıma çok fazla direnç gösterebilir, tersine, düşük özdirenç ortamı mevcut akımın akması için daha rahat bir yol sunacaktır. Boru hattında detaylı bir inceleme yapılırken toprak direnci belirlemeleri önemlidir. Korozif alanların şiddetini değerlendirirken önemli bir yer tutan toprak direnç ölçümleri, daha sonra CP kurulumları için saha seçiminde de toprak direnci profili son derece önemlidir. Şekil 5.12' de, Şekil 5.4' de gösterilen alanlar için boru hattının aynı kısmı boyunca alınan toprak direnci ölçümlerinin bir çizimi gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Toprak direnci ölçümleri

Şekilde çizilen veriler, yaklaşık boru derinliklerinde ortalama toprak direncini göstermektedir. Ayrıca bu örnekte, çok geniş bir toprak direnci aralığı temsil edilmektedir.

Toprak direncini dört pimli yöntemle ölçmek için kullanılan aletler, materyal ve yöntem bölümünde açıklanmıştır. Yöntemin kullanılmasında göz önünde bulundurulması gereken durumlar, toprak direnci ölçümlerini planlama önerileri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Gösterilen örnekte, toprağın direnci, önerilen hizalama boyunca 100 metre aralıklarla ölçüldü. Toprak direnci ölçümleri, bir toprak direnci ölçeri olan Wenner dört-pim yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Wenner yöntemi, dört adet metal probun veya elektrotun, düz bir çizgi boyunca zemine yerleştirildiği şekilde, birbirinden eşit olarak, Şekil 4.2' de gösterildiği gibi kullanılmasını gerektirir. Toprak direnci ölçüm cihazından gelen akım, topraktan geçerek, C1 ve C2 pimleri arasında akmasına neden olur. Gerilim veya potansiyel daha sonra P1 ve P2 pinleri arasında ölçülür. Sayaç daha sonra bir direnç okumayı kaydeder. Toprağın öz direnci daha sonra aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\rho = 2\pi AR \quad (5.1)$$

Burada;

ρ = toprak direnci (ohm-santimetre)

A = problar arasındaki mesafe (santimetre)

R = toprak direnci (ohm) cihaz okuma

$\pi = 3.1416$

Dört pinli direnç ölçümleri yapılırken kullanılan toprak pimlerinin çizgisi, çıplak bir yer altı boru hattına veya başka bir metalik yapıya yakın bir şekilde paralel ise, çıplak metalin varlığı, belirtilen toprak direnç değerlerinin gerçekte olduğundan daha düşük göstermesine neden olabilir. Test akımının bir kısmı topraktan ziyade metalik yapı boyunca akacağından, boru hatlarına yakın paralel bir hat boyunca ölçümlerden kaçınılması gerekir.

Tablo 5.2, toprak özdirenç değerlerini, korozivite (aşındırıcılık) derecesine göre sıralamasını göstermektedir. Toprak direncinin yorumlanması korozyon mühendisleri arasında değişmektedir. Ancak, bu tablo genel kabul görmüş bir kılavuздur (Peabody, 2001).

Tablo 5.2. Toprak direnci ve korozivite derecesi

Toprak Direnci (Ohm-Cm)	Korozivite Derecesi
0 – 500	Çok aşındırıcı
500 – 1.000	Aşındırıcı
1.000 – 2.000	Orta derecede aşındırıcı
2.000 – 10.000	Düşük derecede aşındırıcı
10.000 üstü	Göz ardı edilebilir

Boru hattı üzerinde 16 ayrı noktada toprak direnci ölçümü yapıldı (Ek-6, Ek-7).

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

6.1.Galvanik Anotlu Katodik Koruma Sistemleri

Galvanik anotlu katodik koruma sistemi ile korunan boru hatlarında, boru toprak potansiyel ölçüm sonuçlarının genel değerlendirilmesi aşağıda açıklanmıştır.

Voltmetre pozitif değer gösteriyor ise, test bağlantılarının doğru polaritede bağlanıp bağlanmadığı kontrol edilir. Doğru akım ölçme konumuna alınan voltmetrenin negatif ucu bakır sülfat referans elektroduna, pozitif ucu da borudan gelen kabloya bağlı test kutusu terminaline bağlanır.

0 ile -100 mV arası ise, boru hattı ile test kutusu terminali arasındaki bağlantıda kopukluk vardır.

-101 ile -399 mV arası ise ölçme işlemi tekrarlanır. Eğer yine aynı sonuç çıkıyorsa bu boru hattının bakır gibi daha az negatif veya pozitif doğal potansiyele haiz bir metalle arasında elektriksel bir bağlantının olduğunu gösterir. Boru hattında kuvvetli bir korozyon vardır.

-400 ile -599 mV arası ise, genel olarak katodik korumanın etkili olmadığını gösterir. Mevcut galvanik anotların görevini yapamadığı galvanik anotların tükendiği anlaşılır.

-600 ile -849 mV arası ise, sistemde yeterli seviyede katodik koruma bulunmadığı anlaşılır. Bunun sebebi ya boru hattının kaplamasında bozuklukların olduğu veya galvanik anotların tükenmiş olmasıdır. Değişen iklim ve çevre şartlarında testler tekrarlanır. Aynı durum devam ediyorsa galvanik anotlar ve boru kaplama direnci kontrol edilir.

-850 ile -1.100 mV arası ise, eğer boru hattı çinko anotlarla korunuyorsa katodik koruma sistemi yeterlidir.

-850 ile -1.600 mV arası ise boru hattı magnezyum anotlarla korunuyorsa katodik koruma sistemi yeterlidir.

Çinko anotlu galvanik katodik koruma sistemi ile boru hattı korunuyorsa Çinko anotların -1.100 mV' dan daha yüksek değerlerde doğal potansiyele sahip olması imkansızdır. Eğer

boru hattı üzerinde -1.100 mV' dan daha yüksek değerde boru-toprak potansiyeli okunuyorsa, boru hattı kaçak akımlardan dolayı enterferans etkisi altındadır. Kaçak akım ve enterferans testleri yapılmalıdır.

-1.600 mV' dan daha negatif değer okunursa, herhangi bir katodik koruma sistemi ile korunan boru hattında katodik koruma sisteminin boruyu -1.600 mV' dan daha negatif değere ulaştırması teorik olarak imkansızdır. Söz konusu boru hattı üzerinde -1.600 mV'dan daha negatif bir değer okunursa boru hattı enterferans etkisi altında olabilir.

Eğer voltmetre ibresi ölçü sırasında değişimler gösteriyorsa kaçak akımlar tarafından katodik koruma sistemi ile korunan boru hattının enterferans etkisine maruz kaldığı şüphesi ortaya çıkar. Kaçak akımların şekli bazen enterferans kaynağı veya yerini bulmaya yardımcı olur. Örneğin akımın devrede olması ve kesilmesi çevrede bir doğru akım kaynak makinasının çalıştığını ortaya koyar.

Voltmetre ibresi stabil olmayıp sürekli salınım halinde ise, ölçü devresi bağlantılarının bir yerinde yüksek direnç oluşmuştur. Bağlantı hatlarının ve bağlantıların sağlam ve temiz olduğu kontrol edilir ve sağlam olduğundan emin olunur. Ayrıca referans elektrodunun yerleştirildiği veya toprakla temas ettiği yer kuru olabilir. Bu yere su ilave edilir veya yağmur yağdıktan sonra ölçüler tekrar edilir. Petrol bulaşığı topraklar yüksek toprak direncine neden olurlar. Referans elektrodunun toprakla temas ettirilen alt uç tapası temizlenir veya değiştirilir.

6.2. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sistemleri

Pozitif potansiyel veya 0 ile -100 mV arası ON veya OFF potansiyeli ise, bu değerlerde potansiyel okunduğunda boru hattı ile katodik koruma sistemi arasında bir bağlantı olmadığı anlaşılır. Bu nedenle elektriksel bağlantının sürekliliği testi yapılır. Pozitif ve negatif bağlantı hatları sistem tesisi sırasında yanlış bağlanmış olabilir. Negatif hat korunacak boru hattına pozitif hat ise katodik koruma sistemi anotlarına bağlanır.

-101 ile -399 mV arasında ON veya OFF potansiyel değerleri ise, bu ölçülerden emin olmak için tekrar ölçü alınır. Eğer aynı ölçüler alınıyorsa boru hattı bakır gibi daha az negatif veya pozitif potansiyele haiz bir metalle temas halinde olduğunu gösterir. Söz konusu bağlantı noktasında boru hattı şiddetli korozyona uğramıştır.

-400 ile -599 mV arasında ON veya OFF potansiyelleri ise, genellikle boru hattında katodik koruma sisteminin etkili olmadığı anlamına gelir. Hali hazırda var olan katodik koruma sistemine ait anotların tamamen tükenmiş olduğunu veya anot bağlantılarının kopmuş olabileceğini veya katodik koruma sistemi ile korunan boru hattı arasındaki negatif hatta kopukluk olduğunu gösterir.

-600 ile -849 mV arasında ON veya OFF potansiyeli var ise, genellikle boru hattı üzerinde katodik korumanın var olduğunu gösterir. Düşük okumanın nedenleri;

- Transformator/Redresör ünitesinin kapasitesi yeterli olmayabilir.
- Anotlar yeterli boyutta değildir veya anot yataklarının toprak direnci yeterli seviyede değildir.
- Katodik korumaya bağlı diğer yapılarla arasında bağlantı olmayabilir.
- Çevre şartlarından dolayı tatmin edici şekilde ölçü alınamayabilir.

-850 mV veya daha fazla negatif ON potansiyeli var ise, boru hatlarında yeterli seviyede katodik koruma olduğu ile ilgili kesin sonuç vermez. Zira Katodik koruma sistemi boru hattına sürekli olarak gönderdiği koruma akımı boru hattı boyunca gerilim (IR) düşümüne sebep olur. Bu nedenle ON potansiyeli yeterli bir katodik korumanın olduğuna dair kesin bir kriter değildir. Bu nedenle boru hattında ani OFF potansiyelleri okunmalıdır.

-850 mV veya daha fazla negatif OFF potansiyeli var ise, boru hattı kesin ve düzenli bir şekilde katodik olarak korunmaktadır. Koruma akımı geçici olarak kesildiği anda okunan -850 mV veya daha fazla negatif ani-OFF potansiyeli boru hattının yeterli bir katodik koruma sistemi tarafından korunduğunu ifade eder.

-1.220 mV daha fazla negatif OFF potansiyeli var ise, ani-OFF potansiyelinin katodik olarak korunan boru hattında olmaması gereken potansiyel değeridir. -1.220 mV dan daha yüksek değerde daha negatif ani-OFF potansiyeli okunursa boru hattında kaçak akım enterferansının olduğu şüphesi ortaya çıkar. Kaçak akımlar boru hattının hızlı bir şekilde korozyona uğratacağından acilen kaçak akım testleri yapılarak kaçak akımların kaynağının belirlenmesi ve gereken tedbirlerin alınması gerekir.

-2.000 mV dan daha fazla negatif ON potansiyeli var ise, genellikle anot yataklarının yüksek dirence sahip olmasından dolayı yüksek gerilim düşümleri meydana gelir. Bu

durum normal olarak gerilim değeri yüksek ve akım değeri yüksek olarak redresör çıkışlarında görülür.

ON-OFF potansiyellerinde hızlı değişim veya salınım olursa ve voltmetrenin göstergesi stabil olmayıp sürekli değişim gösteriyorsa, ölçü devresinin bir yerlerinde yüksek direnç veya kötü temas mevcuttur. Bütün bağlantı hatları ve bağlantı yerleri kontrol edilip temiz ve metalik olarak sağlam bağlanıldığından emin olunur. Ayrıca referans elektrodunun toprağa temas ettiği yer çok kuru olabilir. Söz konusu yere su ilave edilir ve tekrar ölçü alınır. Petrol bulaşığı olan toprak yüksek geçiş direncine sebep olabilir. Referans elektrodunun alt tapası temizlenir ve gerekiyorsa değiştirilir.



KAYNAKLAR

- Ashworth, V., Booker, C. J. L. (1986) “Published for the Institution of Corrosion Science and Technology”, *Ellis Horwood*, Birmingham, 25 – 78.
- Bado, T. J., Berry, W.E., (1984) “A reassessment of the -0.85 V and 100 mV polarization criteria for cathodic protection of steel buried in soils”, *Proceedings of the 5th International Congress on Metal Corrosion*, 4, 86-91.
- Bard, A.J., Faulkner, L.R., (2001) “Electrochemical Methods”, Fundamentals and Applications 2nd, *John Wiley & Sons*, New York, 39 – 98.
- BOTAŞ Katodik Koruma Şartnameleri.
- Boteler, D.H., Seager, W.H., (1998) “Telluric currents: a meeting of theory and observation”, *Corrosion*, 54, 751 – 755.
- Çelebi, A. “Kaçak Akım Korozyonu ve Katodik Koruma”, <https://www.voltimum.com.tr/haberler/kacak-akim-korozyonu-ve-katodik>, Son erişim tarihi: 01.06.2018
- Çiçek, V., Al-Numan, B. (2012) “Korozyon Kimyası”, *Sürat Üniversite Yayınları*, Ankara, 135 – 172.
- Davies M., Scott P.J.B., (2003) “Guide to the Use of Materials in Waters”, *NACE International*, Houston, TX.
- Di Biase, L., Cigna, R., (2008) “A new technique for locating coating faults on buried metallic pipelines”, *Advanced Materials Research*, 38, 113 – 122.
- Gev, V. “Akü Ve Piller Hakkında”, <http://320volt.com/aku-ve-piller-hakkinda/>, Son erişim tarihi: 02.06.2018.
- Gummow, R.A., (1986) “Cathodic protection criteria-a critical review of NACE standard RP-01-69”, *Materials Performance*, 259 – 16.
- Gummow, R.A., (1998) “Using coupons and probes to determine cathodic protection levels”, *Materials Performance*, 37, 24 – 30.
- Ivanov, A.A., (2000) “System for monitoring of corrosion process in pipelines”, *Zashchita Okruzhayushchei Sredy v Neftegazovom Komplekse Janusz*, 1, 25 – 27.

- Jack, T.R., Wilmott, M., Boven, G., Worthingham, R.G., Sutherby, R.L., (1998) “Corrosion sequences of secondary oxidation of microbial corrosion”, *Corrosion*, 54, 246 – 252.
- Jakobs, J.A., (1981) “A comparison of anodes for impressed current systems”, *Materials Performance*, 20, 17 – 23.
- Jakobs, J.A., Hewes, F.W., (1984) “Evaluation of impressed current anode materials for use in wet soils and sediments containing chlorides and sulfates”, *Proceedings of the 5th International Congress on Metal Corrosion*, Edmonton, Canada, 78 - 85.
- Kobayashi, T., (1994) “Effect of environmental factors on the protective potential of steel”, *Proceedings of the 5th International Congress on Metal Corrosion*, Houston TX, 627 – 630.
- Koch, G.H., Bado, T.J., Berry, W.E., (1984) “Effect of grit-blasting on the stress corrosion cracking behavior of line pipe steel”, *Material Performance*, 23, 20 - 23.
- Koç, T., Yalçın, H., (1995) “Korozyon ve katodik koruma”, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 1, 90 – 110.
- Lawson, K.M., Thompson, N.G., Islam, M., Schofield, M. J., (1993) “Monitoring corrosion of reinforced soil structures” , *British Journal of Non-Destructive Testing*, 35, 319 – 324.
- Lee, S.H., Han, J.S., (1996) “Analysis of potential distribution around pipeline under cathodic protection using boundary element method”, *Corrosion*, 25, 340-348.
- Lewis Jr, T.H., (1998) “Replaceable deep anode design and installation”, Proceedings of the Corrosion and Prevention, *LORESCO International*, Australia, 352 – 357.
- Masilela, Z., Pereira, J., (1998) “Using the DCVG technology as a quality control tool during construction of new pipelines”, *Engineering Failure Analysis*, 5, 99 – 105.
- Metin, E., (2007) “Katodik Koruma Sistemleri, Yeni Uygulamalar ve Ekonomik Analiz”, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 20 – 94.
- Odabaşı, T. “Katodik Koruma Sistemi – Temel Elemanlar ve Kavramlar”, <http://www.elektrik.gen.tr/2015/08/katodik-koruma-sistemi-temel-elemanlar-ve-kavramlar/587>, Son erişim tarihi: 10.06.2018.

- Orazem, M.E., Esteban, J.M., Kennelley, K. J., Degerstedt, R.M., (1997) “Mathematical models for cathodic protection of an underground pipeline with coating holidays”, Part 1-theoretical development, *Corrosion*, 53, 264 – 272.
- Parker, E., Peattie G. (1999) “Pipeline Corrosion and Cathodic Protection ”, *Gulf Publishing Company*, Houston TX, 1 – 88.
- Peabody, A.W., (2001) “Control of Pipeline Corrosion” *NACE International*, Houston TX, 1 – 210.
- Pierson, P., Bethune, K.P., Hartt, W.H., Anathakrishnan, P., (2000) “A new equation for potential attenuation and anode current output projection for cathodically polarized marine pipelines and risers”, *Corrosion*, 56, 350-360.
- Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) “Filtered Incident Files”, <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/pipeline-incident-flagged-files>, Son erişim tarihi: 17.05.2018.
- Pope, D.H., Daniel, H., Zintel, T.P., Aldrich, H., Duquette, D., (1990) “Efficacy of biocides and corrosion inhibitors in the control of microbiologically influenced corrosion”, *Materials Performance*, 11, 46 – 51.
- Prof. Dr. Yalçın, H., Prof. Dr. Koç, T. (1991) “Katodik Koruma”, *Palmiye Yayıncılık* Ankara, 100 – 125.
- Raymond, R. F., (2008) “Pipeline Corrosion” *BIZTEK Consulting*, United States of America, Chapter 1, 1 – 9.
- Ringas, C., Leeds, J.M., Osthuizen, P., (1994) “The application of DC voltage-gradient technology to accurately determine buried pipeline rehabilitation requirements”, Pipeline Risk Assessment, *Rehabilitation and Repair Conference*, Houston TX, 12 – 15.
- Romanoff, M., 1989 “Underground Corrosion”, *NACE*, Houston TX, 155 – 189.
- Roberge P.R., (2004) “Corrosion Testing Made Easy”, Erosion Corrosion Testing, *NACE International*, Houston, TX, 3 – 88.
- Selwyn LS, Roberge P.R., (2006) “Corrosion: Environments and Industries”, *ASM International*, Ohio, 289–305.
- Szeliga, M. J., (1994) “Stray Current Corrosion: The Past, Present and Future of Rail Transit Systems”, *NACE International*, Houston TX, 22 – 37.
- Uhlig, H.H., (1971) “Corrosion and Corrosion Control”, *John J Viley and Sons*, 1, 40 – 72.

Uhlig, H.H., Revie, R.W., (1985) “Corrosion and Corrosion Control”, *John Wiley*, New York, 33 – 152.

Unified Facilities Criteria (UFC) “Operation And Maintenance: Cathodic Protection Systems”, http://www.hnsa.org/wp-content/uploads/2014/07/ufc_3_570_06.pdf, Son erişim tarihi: 17.05.2018.





Von Baeckmann, W., Schwenk, W., Prinz, W. (1997) “Handbook of Cathodic Corrosion Protection”, Theory and Practice of Electrochemical Protection Processes 3rd ed., *Gulf Publishing Company*, Houston TX, 27 – 137.

Wagner, C., Traud, W., (2006) “On the interpretation of corrosion processes through the superposition of electrochemical partial processes and on the potential of mixed electrodes”, *Corrosion*, 62, 844 – 855.

Yüksel, R., (1998) “Haliç köprüsünün taşıyıcı kazıklarının elektrokimyasal korozyonunun etüd edilmesi ve korozyonun otomatik dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi kullanılarak önlenmesi”, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4 – 5.



Ek-1. Potansiyel test noktası (CP)

  		TRANS ANATOLIAN NATURAL GAS PIPELINE (TANAP) PROJECT LOT II			
SICIM-YUKSEL-AKKORD JV					
Document No:		Revision:			
CP (POTENTIAL) TEST POINT INSTALLATION REPORT					
Date: 25.5.2017	DRAWING No:		ITP No:		
Report No:	SECTION (KP):	Weather Conditions: Sunny 13°C			
Installation Material List					
Description	Quantity	Unit			
Test Post - Φ114,3x3mm	1	pcs			
Pin Brazing & Coating Repair	2	pcs			
1x10 mm2 XLPE/PVC cable (black)	20	m			
Cable marker	2	pcs			
No.	Inspection	RESULT Pass/Fail			
1	Number of cables terminated	Pass			
2	Check Continuity After Cable Lug Crimping and Heat Shrink Sleeve Application	Pass			
3	Correct test station type installed and at correct location as per project drawings	Pass			
4	Check Test Post Location	Pass			
5	Cables are correctly terminated inside the test station.	Pass			
6	Cables are correctly identified with permanent tag.	Pass			
7	Test station and mounting frame are firmly secured in the concrete footing.	Pass			
CABLE MARKING CODES of CP TEST POST					
1-PT	2-PT	3- ✓	4- ✓		
TEST POST MEASUREMENTS					
Pipeline Potential (mVDC)					
-1.287					
GENERAL NOTES:					
	COMPLETED BY	WITNESSED BY	ACCAPTED BY	APPROVED BY	
COMPANY	KORTEK	SYA	TANAP		
NAME/SURNAME		Muhammed ERGİNRAH			
SIGNATURE		M. Erkin			
DATE	25.05.2017	25.05.17	29.05.2017		

Ek-2. Dış akım drenaj noktası (DP)

sicim		YÜKSEL		TRANS ANATOLIAN NATURAL GAS PIPELINE (TANAP) PROJECT LOT II		TANAP	
SICIM-YUKSEL-AKKORD JV						Document No: [REDACTED]	
DP (DRAIN POINT) TEST POST INSTALLATION REPORT						Rev. No: [REDACTED]	
Date: 5.11.2017		DRAWING No: [REDACTED]		ITP No: [REDACTED]			
Report No: [REDACTED]		SECTION (KP): [REDACTED]		Soil Resistivity Value: 23.7 ohm.m		Weather Conditions: 16	
Installation Material List			PHOTO				
Description	Quantity	Unit					
Test Post - $\Phi 114,3 \times 3 \text{mm}$	1	pcs					
Pin Brazing & Coating Repair	4	pcs					
1x10 mm ² XLPE/PVC cable (black)	140	m					
ER Coupon	1	pcs					
Prepackaged 17 lb. Magnesium Anode*	2	pcs					
Prepackaged 13.6 kg Zinc Anode*		pcs					
Cable marker	4	pcs					
* The anode type is specified according to soil resistivity value of test point location. If soil resistivity value is lower than 10 ohm.m (wrt.TANAP-KRT-SYA-MST-003), prepackaged zinc anode shall be used.							
No.	Inspection	RESULT Pass/Fail					
1	Number of cables terminated	Pass					
2	Check Continuity After Cable Lug Crimping and Heat Shrink Sleeve Application	Pass					
3	Correct test station type installed and at correct location as per project drawings	Pass					
4	Check Anode and Test Post Location	Pass					
5	Cables are correctly terminated inside the test station.	Pass					
6	Cables are correctly identified with permanent tag.	Pass					
7	Test station and mounting frame are firmly secured in the concrete footing.	Pass					
CABLE MARKING CODES of CP DP TEST POST							
1	2	ER PROBE	3	4			
TEST POST MEASUREMENTS							
Pipeline Potential (mVDC)	Anode Potential (mVDC)	Anode Current (mADC)					
1,276	-1,427	2,1					
GENERAL NOTES:							
KORTEK		SYA			TANAP		
Name:	[REDACTED]	Name:	Muhammed ERCİNBAY	Name:	[REDACTED]		
Surname:	[REDACTED]	Surname:	[REDACTED]	Surname:	[REDACTED]		
Signature:	[REDACTED]	Signature:	[REDACTED]	Signature:	[REDACTED]		
Date:	20.11.2017	Date:	20.11.2017	Date:	21.11.2017		

Ek-3. 4 Kablolu kalibre edilen ortak test noktası (ATP)

sicim YUKSEL		TRANS ANATOLIAN NATURAL GAS PIPELINE (TANAP) PROJECT LOT II		TANAP	
SICIM-YUKSEL-AKKORD JV					
Document No:			Rev. No:		
ATP (4-WIRE CALIBRATED LINE CURRENT JOINT) TEST POINT INSTALLATION REPORT					
Date: 1.6.2017		DRAWING No:		ITP No:	
Report No:		SECTION (KP):		Weather Conditions: Cloudy 13 °C	
Installation Material List					
Description		Quantity	Unit		
Test Post - Φ 114,3x3mm		1	pcs		
Pin Brazing & Coating Repair		4	pcs		
1x10 mm ² XLPE/PVC cable (black)		250	m		
Cable marker		4	pcs		
No.	Inspection	RESULT Pass/Fail			
1	Number of cables terminated	Pass			
2	Check Continuity After Cable Lug Crimping and Heat Shrink Sleeve Application	Pass			
3	Correct test station type installed and at correct location as per project drawings	Pass			
4	Check Test Post Location	Pass			
5	Cables are correctly terminated inside the test station.	Pass			
6	Cables are correctly identified with permanent tag.	Pass			
7	Test station and mounting frame are firmly secured in the concrete footing.	Pass			
CABLE MARKING CODES of ATP TEST POST					
1-DI	2-DM	3-UM	4-UI		
TEST POST MEASUREMENTS					
US Pipeline Potential (mVDC)			DS Pipeline Potential (mVDC)		
-1.351			-1.351		
GENERAL NOTES: An additional 50 meter cable was used for the cable tether.					
		COMPLETED BY	WITNESSED BY	ACCEPTED BY	APPROVED BY
COMPANY		KORTEK	SYA	TANAP	
NAME/SURNAME			Muhammed İRGINBAY		
SIGNATURE					
DATE		2.6.2017	02.06.17	02.06.2017	

Ek-4. Yabancı hat test noktası (ETP)

sicim		YÜKSEL		TRANS ANATOLIAN NATURAL GAS PIPELINE (TANAP) PROJECT LOT II		TANAP	
SICIM-YUKSEL-AKKORD JV							
Document No:						Rev. No:	
ETP (FOREIGN LINE) TEST POINT INSTALLATION REPORT							
Date: 16.2.2017		DRAWING No:			ITP No:		
Report No:		SECTION (KP):		TAG NO:			
Installation Material List				PHOTO			
Description	Quantity	Unit					
Test Post - $\Phi 114,3 \times 3 \text{mm}$	1	pcs					
Pin Brazing & Coating Repair	2	pcs					
1x10 mm ² XLPE/PVC cable (black)	62	m					
1x16 mm ² XLPE/PVC cable (black)	62	m					
Cable marker	2	pcs					
No.	Inspection	RESULT Pass/Fail					
1	Number of cables terminated	Pass					
2	Check Continuity After Cable Lug Crimping and Heat Shrink Sleeve Application	Pass					
3	Correct test station type installed and at correct location as per project drawings	Pass					
4	Check Test Post Location	Pass					
5	Cables are correctly terminated inside the test station.	Pass					
6	Cables are correctly identified with permanent tag.	Pass					
7	Test station and mounting frame are firmly secured in the concrete footing.	Pass					
CABLE MARKING CODES of ETP TEST POST							
1	2	3	4				
TEST POST MEASUREMENTS							
Main Pipeline Potential (mVDC)				Foreign Pipeline Potential (mVDC)			
-1.236							
GENERAL NOTES:							
KORTEK		SYA			TANAP		
Name:		Name:	Muharrem	Name:			
Surname:		Surname:	ERGINBAI	Surname:			
Signature:		Signature:		Signature:			
Date:	20.2.2017	Date:	27.02.2017	Date:	22.02.2017		

Ek-5. Gövde test noktası (CTP)

SICIM YÜKSEL		TRANS ANATOLIAN NATURAL GAS PIPELINE (TANAP) PROJECT LOT II		TANAP	
SICIM-YUKSEL-AKKORD IV					
Document No:				Rev. No:	
CTP (CASING) TEST POINT INSTALLATION REPORT					
Date: 25.07.2017	DRAWING No:		ITP No:		
REPORT NO:	SECTION (KP):	Soil Resistivity Value: 31,2 ohm.m		Weather Conditions: Cloudy 28 °C	
Installation Material List			PHOTO		
Description	Quantity	Unit			
Test Post - $\Phi 114,3 \times 3 \text{mm}$	1	pcs			
Pin Brazing & Coating Repair	4	pcs			
1x10 mm ² XLPE/PVC cable (black)	50	m			
Prepackaged 17 lb. Magnesium Anode*	4	pcs			
Prepackaged 13.6 kg Zinc Anode*		pcs			
3 way splice kit	2	pcs			
Cable marker	6	pcs			
* The anode type is specified according to soil resistivity value of test point location. If soil resistivity value is lower than 10 ohm.m (wrt. TANAP-KRT-SYA-MST-003), prepackaged zinc anode shall be used.					
No.	Inspection	RESULT Pass/Fail			
1	Number of cables terminated	Pass			
2	Check Continuity After Cable Lug Crimping and Heat Shrink Sleeve Application	Pass			
3	Correct test station type installed and at correct location as per project drawings	Pass			
4	Check Anode Location	Pass			
5	Cables are correctly terminated inside the test station.	Pass			
6	Cables are correctly identified with permanent tag.	Pass			
7	Test station and mounting frame are firmly secured in the concrete footing.	Pass			
8	Short Circuit Test Between Main Pipe and Casing Pipe	Pass			
CABLE MARKING CODES of CTP TEST POST					
1	2	3	3	3	4
TEST POST MEASUREMENTS					
Pipeline Potential (mVDC)	Casing Pipe Potential (OFF) mVDC	Casing Pipe Potential (ON) mVDC	Anode Potential mVDC	Anode Current mA DC	
-1388	-1060	-1265	-1423	12	
GENERAL NOTES:					
KORTEX		SYA		TANAP	
Name:	Name: <i>Muhammed Erginbay</i>	Name:		Name:	
Surname:	Surname:	Surname:		Surname:	
Signature:	Signature: <i>M. Erginbay</i>	Signature:		Signature:	
Date: 25.7.2017	Date: 25.07.2017	Date:		Date: 08.08.2017	

Ek-6. Toprak direnç ölçümleri - 1

sicim		YÜKSEL		TRANS ANATOLIAN NATURAL GAS PIPELINE (TANAP) PROJECT LOT II				TANAP	
Document No:		Rev. No:				Page:			
CATHODIC PROTECTION SOIL RESISTIVITY SURVEY DAILY REPORT									
						Survey Start: 10:00		Survey End: 16:00	
Report No:						Weather Conditions: 0 °C			
Measurement Equipment						Survey Team			
Description			Serial Number						
MC MILLER									
No.	KP	Description of Location	GPS Coordinates	Measured Soil Resistivity Values (Raw Data), Ω				(*) Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths, ohm.m	Corrosiveness (**)
				Depth, m					
				0,5	1,5	3	6		
1	412+977	PLG-CPTP-78-00340		21,70	9,81	4,32	1,92	86,94	Moderately Corrosive
2	414+362	PLG-CPTP-78-00342		6,01	5,75	3,00	0,96	55,37	Slightly Corrosive
3	415+967	PLG-CPTP-78-00343		41,80	13,00	6,15	3,15	119,22	Moderately Corrosive
4	417+926	PLG-CPTP-78-00344		137,00	14,10	9,64	6,36	157,30	Moderately Corrosive
5	419+947	PLG-CPTP-78-00345		16,13	6,04	3,15	1,81	58,15	Slightly Corrosive
6	421+893	PLG-CPTP-78-00346		8,97	3,86	2,55	2,31	42,22	Moderately Corrosive
7	424+000	PLG-CPTP-78-00347		9,65	4,2	2,94	2,31	47,50	Moderately Corrosive
8								0,00	
9								0,00	
10								0,00	
<p>(*) In order to evaluate corrosiveness of soil on pipe level depth, average resistivity of 1,5m and 3m depths are calculated. (**) Corrosiveness evaluation is done according to following resistivity ranges; - Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths < 10 ohm.m - Severely Corrosive - 10 ohm.m < Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths < 30 ohm.m - Corrosive - 30 ohm.m < Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths < 100 ohm.m - Moderately Corrosive - 100 ohm.m < Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths - Slightly Corrosive</p>									
GENERAL NOTES:									
COMPANY		COMPLETED BY		WITNESSED BY		ACCEPTED BY		APPROVED BY	
KORTEK		SYA		TANAP					
NAME/SURNAME		Muhammed ERGİNER		Mr. Erginer					
SIGNATURE									
DATE		01-12-2017.		02-12-2017.		02-12-17			

Ek-7. Toprak direnç ölçümleri - 2

Measurement Equipment		Survey Team	
Description	Serial Number		
MC MILLER			

No.	KP	Description of Location	GPS Coordinates	Measured Soil Resistivity Values (Raw Data), Ω				(*) Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths, ohm.m	Corrosiveness (**)
				Depth, m					
				0,5	1,5	3	6		
1	425+707	PLG-CPTP-78-00348		7,35	2,56	1,64	0,87	27,52	Corrosive
2	426+075	PLG-CPTP-78-00349		6,93	1,57	0,78	0,48	14,75	Corrosive
3	426+168	PLG-CPTP-78-00351		7,30	2,14	1,87	1,03	27,71	Corrosive
4	426+235	PLG-CPTP-78-00352		6,09	4,12	1,59	0,83	34,40	Moderately Corrosive
5	427+486	PLG-CPTP-78-00353		15,30	6,73	3,23	2,42	62,16	Slightly Corrosive
6	427+567	PLG-CPTP-78-00354		16,2	5,56	2,16	0,84	46,56	Moderately Corrosive
7	427+783	PLG-CPTP-78-00355		14,6	7,14	2,03	0,48	52,78	Moderately Corrosive
8	429+462	PLG-CPTP-78-00356		12,4	4,07	1,52	0,63	33,51	Moderately Corrosive
9	430+225	PLG-CPTP-78-00357		15,7	5,4	2,52	1,2	49,20	Moderately Corrosive
10								0,00	

(*) In order to evaluate corrosiveness of soil on pipe level depth, average resistivity of 1,5m and 3m depths are calculated.
(**) Corrosiveness evaluation is done according to following resistivity ranges;
- Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths < 10 ohm.m - Severely Corrosive
- 10 ohm.m < Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths < 30 ohm.m - Corrosive
- 30 ohm.m < Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths < 100 ohm.m - Moderately Corrosive
- 100 ohm.m < Average Soil Resistivity of 1,5m and 3m depths - Slightly Corrosive

GENERAL NOTES:

	COMPLETED BY	WITNESSED BY	ACCEPTED BY	APPROVED BY
COMPANY	MORTEK	SYA	TANAP	
NAME/SURNAME		Muhammed EKŞİNBAY		
SIGNATURE				
DATE	02.12.2017	02.12.2017	02.12.17	

Ek-8. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Erginbay, M., Şahin, M., Oğuz, E., Işık, Y., (2018) “E-Atık Yönetiminin Geri Kazanım ve Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi”, **3. Uluslararası İnşaat ve Çevre Mühendisliği Konferansı**, İzmir, 383-384.



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Kars' ta doğdu. Orta ve lise öğrenimini Kars' ta tamamladı. 2012 yılında Erzincan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümüne başladı. 2016 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı bölümünde yüksek lisansa başladı. Şuan da Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı Projesi' nde Katodik Koruma Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır.

