

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOROZİF ETKİLERE MARUZ KALMIŞ DOĞAL GAZ ÇELİK ŞEBEKE VANALARI
VE VANA ODALARININ REHABİLİTASYONUNUN ARAŞTIRILMASI

ÖMER A. ENGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. ZEKİ ÇİZMECİOĞLU

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOROZİF ETKİLERE MARUZ KALMIŞ DOĞAL GAZ ÇELİK ŞEBEKE VANALARI
VE VANA ODALARININ REHABİLİTASYONUNUN ARAŞTIRILMASI

ÖMER A. ENGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. ZEKİ ÇİZMECİOĞLU

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOROZİF ETKİLERE MARUZ KALMIŞ DOĞAL GAZ ÇELİK ŞEBEKE VANALARI
VE VANA ODALARININ REHABİLİTASYONUNUN ARAŞTIRILMASI**

Ömer A. ENGİN tarafından hazırlanan tez çalışması ___.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Dr. Cevat ÖZARPA

İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret A.Ş

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet EKERİM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Eşref AVCI

Yalova Üniversitesi

ÖNSÖZ

Doğal gaz sektörünün korozyon sorununun çözümüne yönelik olan bu yüksek lisans tezi çalışmasında, sektörün içinde çalışan bir mühendis olarak sorunun kapsamlı araştırılmasına yönelik sınırsız erişim hakkı olanağının, vaka analizleri ve bilgi birikimine sahip çalışma arkadaşlarımla yapmış olduğum fikir alışverişlerinin, bu çalışmayı daha da cazip hale getirdiğini ve bu konu hakkında ileride yapılacak olan akademik çalışmalara da faydalı olacağına kanaatini taşımaktayım.

Yüksek lisans tez çalışmamda destek ve yardımını hep yanımda gördüğüm çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU' na;

Bilgi ve tecrübelerini paylaşan ve eksiklerimi tamamlayan sayın müdürüm ve eş danışman hocam saygıdeğer Dr. Cevat ÖZARPA'ya;

Katkılarından dolayı TPAO yönetici ve teknik personeline;

Katkılarından dolayı İZGAZ Gaz De France Suez yönetici ve teknik personeline;

Katkılarından dolayı BOTAŞ yönetici ve teknik personeline;

Tez çalışmam süresince yardımlarını hep gördüğüm İGDAŞ yöneticileri, çalışma arkadaşlarım ve bakım onarım personeline;

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve akademik çalışmalarını teşvikte bulunan sayın İGDAŞ yönetimine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Nisan, 2012

Ömer A. ENGİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	X
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
GENEL DOĞAL GAZ BİLGİLERİ	3
2.1 Doğal Gaz Nedir?	3
2.2 Doğal Gazın kimyasal Özellikleri	3
2.3 Doğal Gazın Fiziksel Özellikleri	4
2.4 Doğal Gazın Patlama Özelliği	4
2.5 Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (L.N.G)	5
2.6 Sıkıştırılmış Doğal Gaz (C.N.G).....	5
2.7 Türkiye'nin Doğal Gaz Geçmişi.....	5
2.7.1 Türkiye'de Doğal Gaz.....	5
2.7.2 İstanbul'da Doğal Gaz.....	6
2.8 Doğal Gaz Dağıtım Şebekesi.....	6

BÖLÜM 3

DOĞAL GAZ ÇELİK ŞEBEKE VANALARI VE VANA ODALARI	8
3.1 Doğal Gaz Çelik Şebeke Vanasının İşlevleri.....	8
3.2 Doğal Gaz Vana Odaları Yer Tespiti	10
3.3 Vana Yerleştirme Modelleri	10
3.3.1 Oda Tipi Yerleştirme Modeli	11
3.3.2 Gömülü Tip Yerleştirme Modeli.....	14
3.3.3 Sahra Tipi Yerleştirme Modeli.....	15
3.3.4 Odacık Tipi Yerleştirme Modeli.....	16

BÖLÜM 4

DOĞAL GAZ BORU HATLARININ GÜVENLİĞİ VE RİSKLER.....	17
4.1 Zamana Bağlı Boru Hattı Hasarları Olası Mekanizmaları	19
4.2 Zamana Bağlı Olmayan Boru Hattı Hasarları Olası Mekanizmaları.....	19
4.3 Doğal Gaz Boru Hatlarında Korozyon Tehlikesi	20

BÖLÜM 5

KOROZYON.....	22
5.1 Korozyonun Tanımı	22
5.2 Korozyon Yarı Hücreleri ve Reaksiyonları	22
5.3 Korozyonun Çeşitleri	24
5.3.1 Genel Korozyon	24
5.3.2 Galvanik Korozyon	25
5.3.3 Aralık Korozyonu	26
5.3.4 Pitting Korozyonu.....	26
5.3.5 Taneler Arası Korozyon	27
5.3.6 Gerilmeli Korozyon Çatlamaı	28
5.3.7 Seçimli Korozyon	28
5.3.8 Erozyon Korozyonu	29
5.3.9 Betonda Korozyon.....	30
5.4 Korozyon Ortam Tipleri.....	30
5.4.1 Atmosferik Ortam	31
5.4.1.1 Kırsal Ortam	31
5.4.1.2 Kentsel Ortam	31
5.4.1.3 Endüstriyel Ortam	32
5.4.1.4 Deniz Ortamı	32
5.4.2 Su ve Sualtı Ortamı.....	33
5.4.2.1 Gibbs Serbest Enerjisi ve Kimyasal Reaksiyonun Yönü	33
5.4.2.2 Elektrokimyasal Potansiyel-pH Diyagramları (Pourbaix)	35
5.4.3 Toprakaltı Ortamı.....	36
5.4.3.1 Suyun Etkisi	37
5.4.3.2 Oksijen İçeriğinin Etkisi (Havalandırma Derecesi).....	37
5.4.3.3 Ortamın pH Değerinin Etkisi.....	37

5.4.3.4	Toprak Elektrik Özgül Direncinin Etkisi (Rezistivite).....	38
5.4.3.5	Redoks Potansiyelinin Etkisi	38
5.4.3.6	Sıcaklığın Etkisi	39
5.4.3.7	Nemin Etkisi.....	39
5.4.3.8	Klor İçeriği Düzeyinin Etkisi	39
5.4.3.9	Sülfat İçeriği Düzeyinin Etkisi	40
5.4.3.10	Bakteri ve Mikroorganizmaların Etkisi	40
5.4.3.11	Kaçak Akımların Etkisi	40
5.4.3.12	Enterferans Akımların Etkisi.....	41
5.5	Korozyondan Korunma Metotları	41
5.5.1	Tasarım.....	41
5.5.2	Malzeme Seçimi	43
5.5.3	Kaplama ve Boyama	45
5.5.4	İnhibitör Kullanımı.....	49
5.5.5	Katodik Koruma.....	50
5.5.5.1	Galvanik veya Kurban Anotlu Katodik Koruma	51
5.5.5.2	Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma	53

BÖLÜM 6

DOĞAL GAZ VANA ODALARINDAKİ KOROZYON GÖZLEMLERİ.....	56
6.1 Doğal Gaz Vana Odalarına Su Girişi ve Sebepleri.....	56
6.1.1 Menhol (Adam Girişi) ve By-Pass Döküm Kapaklardan Su Girişi	57
6.1.1.1 Contasız Menhol Kapağı	57
6.1.1.2 Çatlamış Menhol Kapağından Su Girişi	57
6.1.1.3 Menhol Kapağı Çevre Betonunun Dağılması Nedeniyle Su Girişi	58
6.1.1.4 Blow-Down (By-Pass) Kapaklarından Su Girişi	58
6.1.2 Vana Odası Havalandırmalarından Su Girişi	59
6.1.2.1 Izgara Tipi Havalandırmalardan Vana Odasına Su Girişi	59
6.1.2.2 Baca Tipi Havalandırmalardan Vana Odasına Su Girişi	59
6.1.2.3 Havalandırma Bacalarının Eksik Şapkalarından Vana Odasına Su Girişi	60
6.1.3 Boru Duvar Geçiş Yerinden Vana Odasına Su Girişi	60
6.1.4 Paslanan Donatıdan Vana Odasına Su Girişi	61
6.1.5 Vana Odası Zemininden Vana Odasına Su Girişi	61
6.1.6 Kanalizasyon Suyu Girişi Olmuş Vana Odaları.....	62
6.2 Doğal Gaz Vana Odalarında Uygulama Hataları	62
6.2.1 Polietilen Kaplama Hataları.....	62
6.2.2 Doğal Gaz Vanası Altına Yerleştirilmiş Metal Destekler.....	63
6.2.3 Yeterli Yüzey Temizliği Yapılmadan Boyanmış Doğal Gaz Vanaları.....	63
6.2.4 Periyodik Boya Bakımı Gecikmiş Doğal Gaz Vanaları.....	64
6.2.5 Polietilen Kaplama Hasarı	64
6.2.6 Flanşlı By-Pass Vanaları	65
6.2.7 Doğal Gaz Vanası Borusunun Duvar Girişleri	65
6.2.8 Doğal Gaz Vanalarında Kirlilik Ve Nem	66
6.2.9 Doğal Gaz Vanalarında Hatalı Termoplastik Sıcak Sargı Uygulaması... ..	66

BÖLÜM 7

REHABİLİTASYON ÖNERİLERİ	67
7.1 Metal Kayıplarının ASME B31G Standartına Göre Değerlendirilmesi	67
7.2 ASME PCC-2 Standartına Göre Korozyon Hasarlarının Tamirata.....	69
7.2.1 Korozyon Hasarlı Bölgeye Çevresel Çelik Kılıf Kaynağı Uygulaması.....	70
7.2.2 Dış Korozyon Hasarlı Bölgeye Dolgu Kaynağı Uygulaması.....	71
7.2.3 İç Korozyon Hasarlı Bölgeye Dolgu Kaynağı Uygulaması.....	72
7.2.4 Korozyon Hasarlı Bölgenin Çıkarılıp Dahili Yama Kaynağı Yapılması.....	73
7.2.5 Korozyon Hasarlı Borunun Çıkarılıp Araya Parça Boru Kaynatılması	74
7.2.6 Metalik Olmayan Kompozit Tamir Sistemleri Uygulaması.....	75
7.2.6.1 Metalik Olmayan Komp. Tamir Sistemlerinin Mukavemet Testi ..	76
7.3 Mevcut Doğal Gaz Vana Odalarında Rehabilitasyon Önerileri	79
7.3.1 Menhol ve Blow-Down Kapaklarının Yerden Yüksek Olarak İnşa Edilmesi	79
7.3.2 SMC Malzemededen Yapılmış Menhol Kapaklarının Kullanımı	80
7.3.3 Havalandırma Bacalarının Yağmur Suyu Girmeyecek Şekilde Dizayn Edilmesi	80
7.3.4 Menhol Kapakları Etrafında Çimento Esaslı Harç Malzemesi Kullanılması.....	81
7.3.5 Su Girişlerini Genleşerek Tıkayan Şok Prizli Su Tıkacının Kullanılması	81
7.3.6 Doğal Gaz Vanası Desteklerinin Boruya Kaynaklanması	82
7.3.7 By-Pass Vanalarında Flanş Yerine Kaynaklı Uygulamanın Tercih Edilmesi	82
7.3.8 Boru ve Vanada Korozyondan Korunma Amaçlı Soğuk Galvanizleme Uygulaması.....	83
7.3.9 Doğal Gaz Vana Odalarının Yer Üstü Uygulaması	83
7.3.10 Doğal Gaz Vana Odalarının Deplase Edilmesi	84

BÖLÜM 8

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGE LİSTESİ

E	Elektrot potansiyeli
E^0	Standart elektrot potansiyeli
F	Faraday sabiti
ΔG	Reaksiyonun serbest enerjisi
ΔG^0	Reaksiyonun standart serbest enerjisi
ΔH	Entalpideki değişim
ΔH^0	Standart entalpi değişimi
P	Basınç
pH	Bir çözeltilinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi
Q	Reaksiyonun denge sabiti
R	İdeal gaz sabiti
ΔS	Entropideki değişim
ΔS^0	Standart entropi değişimi
T	Sıcaklık
ρ	Elektrik Özgöl Direnci

KISALTMA LİSTESİ

API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BOTAŞ	Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
CNG	Compressed Natural Gas
GRI	Gas Research Institute
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
İGDAŞ	İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
LEL	Lower Explosion Limit
LNG	Liquified Natural Gas
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration-USA
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SMC	Sheet Moulding Compound
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Doğal gazın yanma üçgeni 4
Şekil 2. 2	Doğal gaz çelik boru hattı şebekesi mimik planı..... 7
Şekil 3. 1	Küresel tip doğal gaz vanası..... 8
Şekil 3. 2	Doğal gaz küresel tip vanası ve vana parçaları 9
Şekil 3. 3	Doğal gaz vana odası teknik çizimi 11
Şekil 3. 4	(a) Doğal gaz vana odası modeli teknik çizimi yan görünüşü b) ön görünüşü..... 12
Şekil 3. 5	Doğal gaz vana odası katı model çizimi 12
Şekil 3. 6	Doğal gaz vana odası inşası..... 13
Şekil 3. 7	Doğal gaz vana odası inşası..... 13
Şekil 3. 8	Doğal gaz vana odası inşası..... 13
Şekil 3. 9	Doğal gaz vana odası inşası..... 13
Şekil 3. 10	Doğal gaz vana odası iç görünüşü..... 13
Şekil 3. 11	Gömülü tip doğal gaz vana odası teknik çizimi..... 14
Şekil 3. 12	Gömülü tip doğal gaz vana odası modeli..... 15
Şekil 3. 13	Sahra tip doğal gaz vanası yerleştirme modeli 15
Şekil 3. 14	Odacık tip doğal gaz vana yerleştirme modeli 16
Şekil 4. 1	Yerleşim bölgesinde doğal gaz hatlarının uydu görüntüsü 17
Şekil 4. 2	Toprak kayması sonucu açığa çıkmış doğal gaz borusu..... 18
Şekil 4. 3	Alt yapı çalışmaları esnasında hasar görmüş doğal gaz borusu 18
Şekil 4. 4	Boru hatlarındaki hasarların kök neden yüzde dilimleri (1988-2008)..... 19
Şekil 4. 5	Manyetik kaçak akım yöntemiyle çalışan akıllı pig..... 20
Şekil 4. 6	Akıllı pig'in boru hattı içindeki simülasyonu 20
Şekil 4. 7	Boru içinde akıllı pig kullanılarak tespit edilen pitting korozyonu 21
Şekil 4. 8	Manyetik kaçak akım yöntemini kullanan akıllı pig ile tespit edilmiş gerilmeli korozyon çatlakları 21
Şekil 5. 1	Sulu ortamda demirin elektrokimyasal korozyonu 23
Şekil 5. 2	Doğal gaz borusunda genel korozyon oluşumu 25
Şekil 5. 3	Galvanik korozyon 25
Şekil 5. 4	Flanşta aralık korozyonu..... 26
Şekil 5. 5	Pitting korozyonu..... 27
Şekil 5. 6	Taneler arası korozyon 27
Şekil 5. 7	Gerilmeli korozyon çatlamaşı 28
Şekil 5. 8	Pirinç malzemede seçimli korozyon 29

Şekil 5. 9	Erozyon korozyonu	29
Şekil 5. 10	Betonda korozyon	30
Şekil 5. 11	Kırsal ortam.....	31
Şekil 5. 12	Fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliği	32
Şekil 5. 13	Petrokimya tesisleri	32
Şekil 5. 14	Deniz ortamı	33
Şekil 5. 15	Suda korozyon	33
Şekil 5. 16	Sulu ortamda demir için Potansiyel-pH(Pourbaix) diyagramları.....	35
Şekil 5. 17	Çözelti pH değerinin korozyon hızına olan etkisi.....	38
Şekil 5. 18	Bağıl nemin korozyon hızına olan etkisi	39
Şekil 5. 19	Toprak zemin içinde kaçak akımlar.....	40
Şekil 5. 20	Toprak zemin içinde enterferans akımlar.....	41
Şekil 5. 21	Flanşa galvanik çift oluşturmuş saplama ve somun.....	42
Şekil 5. 22	Polietilen doğal gaz borusu	45
Şekil 5. 23	Polietilen kaplı doğal gaz çelik boruları	45
Şekil 5. 24	Doğal gaz çelik borularının kaynak yerlerine sıcak sargı uygulaması	46
Şekil 5. 25	Doğal gaz borusu PE kaplama katmanları	47
Şekil 5. 26	Vana odasında boyama öncesi yapılan temizlik çalışmaları.....	48
Şekil 5. 27	Yeni boyanmış doğal gaz boru ve vanası	49
Şekil 5. 28	Kurban anot ile katodik koruma	52
Şekil 5. 29	Kurban anot ile boru hattının katodik koruması	53
Şekil 5. 30	Dış akım kaynaklı katodik koruma	54
Şekil 5. 31	Anlık verilerle uzaktan katodik koruma takibi	54
Şekil 6. 1	Su girişi olmuş vana odası.....	56
Şekil 6. 2	Contasız menhol (Adam Girişi) kapakları.....	57
Şekil 6. 3	Çatlamış döküm menhol kapağı	57
Şekil 6. 4	Çevre betonu kırılmış menhol kapağı.....	58
Şekil 6. 5	Blow-down kapakları	58
Şekil 6. 6	Havalandırma amaçlı kullanılan ızgaralar	59
Şekil 6. 7	(a) Baca tipi havalandırma ve (b) havalandırma borusu içi.....	59
Şekil 6. 8	Eksik havalandırma bacası şapkası	60
Şekil 6. 9	Boru duvar geçiş yerinden su girişi.....	60
Şekil 6. 10	Paslanmış vana odası demir donatısı	61
Şekil 6. 11	Zeminden su girişi.....	61
Şekil 6. 12	(a) Yağmur suyu ile dolmuş vana odası (b) Kanalizasyon suyu ile dolmuş vana odası.....	62
Şekil 6. 13	Kaplama altı korozyon	62
Şekil 6. 14	Metal destekli doğal gaz vanası.....	63
Şekil 6. 15	Kaplama (boya) altı korozyonu.....	63
Şekil 6. 16	Boyanın kabarcıklaşım sıvı ile dolması.....	64
Şekil 6. 17	Polietilen kaplamanın gevrekleşip çatlaması.....	64
Şekil 6. 18	Flanşlı By-Pass vanalarında aralık korozyonu	65
Şekil 6. 19	Boru duvar giriş yeri dolgu harcı ile izolasyonu.....	65
Şekil 6. 20	(a) Boruda kirlilik ve çamur (b) Tavanda nem nedeniyle oluşmuş su damlaları.....	66
Şekil 6. 21	Hatalı sıcak sargı uygulaması sonrası oluşmuş korozyon	66
Şekil 7. 1	Korozyonlu boruda 3t mesafe için etkin pitting boyuna uzunluğu	68

Şekil 7. 2	Metal kaybı meydana gelmiş boruda helisel pitting uzunluklarının (L_1, L_2) θ açısına bağlı olarak tayini.....	68
Şekil 7. 3	Korozyonlu bölgede maksimum pitting derinliği değeri (d).....	68
Şekil 7. 4	Korozyon hasarlı bölgeye kaynaklı çelik kılıf uygulaması	70
Şekil 7. 5	Korozyon hasarlı bölgeye çelik kılıf kaynatılması	70
Şekil 7. 6	Gazlı boruda pitting üzerine dolgu kaynağı 1. paso uygulaması	71
Şekil 7. 7	Gazlı boruda pitting üzerine dolgu kaynağı 2. paso uygulaması	71
Şekil 7. 8	Gazlı boruda pitting korozyonu üzerine yapılmış dolgu kaynağı pasoları	72
Şekil 7. 9	Boruda iç korozyonlu bölge üzerine dolgu kaynağı.....	72
Şekil 7. 10	Gazlı boruda iç korozyonlu bölgenin radyografik görüntüsü	73
Şekil 7. 11	Gazlı boruda ultrasonik cihazla metal et kalınlığı ölçümü yöntemi	73
Şekil 7. 12	Gazsız boruda pitting nedeniyle yapılacak dahili yama kaynağı öncesi	74
Şekil 7. 13	Gazsız boruda pitting nedeniyle yapılmış dahili yama kaynağı	74
Şekil 7. 14	Gazsızlaştırma işlemi sonrası yeni boru hattının kaynak işlemi	75
Şekil 7. 15	(a) Hasarlı boruya dolgu malzemesi uygulanması (b) Fiber karbon kompozit tamir malzemesi	76
Şekil 7. 16	Hidrostatik test öncesi parça hazırlığı	77
Şekil 7. 17	(a) Boruya verilmiş hasar (b) Hasar derinliğinin komperatör ile ölçülmesi	77
Şekil 7. 18	(a) Hasara dolgu uygulanması (b) dolgu sonrası epoksi reçine uygulaması	77
Şekil 7. 19	Hidrostatik test sonrası kompozit tamir malzemesi	78
Şekil 7. 20	Yüksek basınçlı hidrostatik test sonrası boruda meydana gelmiş olan deformasyon. Kompozit malzemede deformasyon yoktur	78
Şekil 7. 21	(a) Korozyonlu bölgenin tamir öncesi ve (b) Kompozit tamir uygulaması	79
Şekil 7. 22	Kaldırımında menhol ve blow-down kapaklarının yerden yüksek olduğu vana odası uygulaması.....	79
Şekil 7. 23	SMC malzemeden imal edilmiş menhol kapakları.....	80
Şekil 7. 24	Yağmur suyu girişini önleyen havalandırma bacası.....	80
Şekil 7. 25	Menhol kapağı çevresinde çimento esaslı harç uygulaması	81
Şekil 7. 26	Su kaçaklarına karşı uygulanan su tıkaçı.....	81
Şekil 7. 27	Doğal gaz vanasında boruya kaynaklı destek uygulaması	82
Şekil 7. 28	By-pass vanada flanş yerine kaynaklı imalatın tercih edilmesi	82
Şekil 7. 29	Elektrolitik ortamda çeliğin korozyona karşı galvanik korunması	83
Şekil 7. 30	(a) Yer üstü vana odası uygulaması iç görünüşü (b) Yer üstü vana odası uygulaması dış görünüşü.	84
Şekil 7. 31	Doğal gaz boru hattının deplasesi için yapılan stopple operasyonu	84

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Doğal gazın kimyasal özellikleri 3
Çizelge 3. 1	Doğal gaz küresel tip vanaların parça ve malzeme listesi 9
Çizelge 5. 1	Toprak zeminin özgül direnci ve koroziflik durumu 38
Çizelge 5. 2	Metalik malzemelerde görülen korozyon tipleri ve korozyon ürünleri .. 43
Çizelge 5. 3	Metal ve alaşımlarının Cu-CuSO ₄ referans elektrotuna göre galvanik serisi 51
Çizelge 5. 4	Galvanik ve dış akım kaynaklı katodik koruma amaçlı sistemlerin karşılaştırılması 55
Çizelge 7. 1	Müsaade edilebilir hata uzunlukları (L) 69

KOROZİF ETKİLERE MARUZ KALMIŞ DOĞAL GAZ ÇELİK ŞEBEKE VANALARI VE VANA ODALARININ REHABİLİTASYONUNUN ARAŞTIRILMASI

Ömer A. ENGİN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Eş Danışman: Dr. Cevat ÖZARPA

Doğal gaz; yanıcı, kokusuz, renksiz, havadan hafif ve çevreci bir gazdır. Bu özelliklerinin yanında doğal gazın olası sızıntılar veya kaçaklar nedeniyle kontrolsüz yanma ve patlama gibi riskleri de vardır. Doğal gaz çelik boru şebekesi üzerinde acil durumlarda kapatılmak üzere çelik vanalar tesis edilir. Bu vanalar, şebeke personelinin acil durumlarda kolaylıkla müdahalede bulunabilmesi için yeraltında oda şeklinde ve betonarme olarak inşa edilen vana odalarında muhafaza edilirler. Doğal gaz vana odaları şehrin fiziki şartlarına göre trafiğe açık caddelerde, sokak aralarında, yeşil alanlarda ve park içlerinde olabilmektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak doğal gaz dağıtım şirketlerinde su girişi yaşanan ve korozyonun yoğun görüldüğü vana odalarındaki incelemelere ve gözlemlere öncelik verilmiştir. Özellikle yağmurlu havalarda vana odalarına su girişinin; menhol kapaklarından, havalandırma bacalarından, yeraltında ise doğal gaz borusunun duvarla bağlantı yerlerinden, beton zeminden ve duvarlardan olduğu görülmüştür. Su girişi olmuş olan vana odalarının suları, vidanjörler veya otomatik kontrollü pompa sistemleri kullanılarak boşaltılmaktadır. Vanaların, zaman zaman bir müddet su altında kaldığı tespit edilmiştir. Su girişi olmuş vana odaları, aynı zamanda çamurla ve kirlilikle dolmuş olabilmektedir. Kar yağışlı havalarda yollara dökülen ve klor içeren tuzların da vana

odalarında su girişleriyle birlikte birikmektedir. Odalarda nem ve rutubet oranının yüksek olduğu ve tavanda yoğuşmaların da meydana geldiği gözlemlenmiştir. Korozyon oluşumuna çok müsait olan bu ortamlardaki birçok vana ve boruda kaplama altı korozyonu, aralık korozyonu, homojen korozyon ve pitting korozyonları tespit edilmiş ve fotoğraflanarak verilmiştir. Pitting korozyonu sonucu yer yer boru et kalınlıklarında 2-2,5 mm'ye kadar metal kayıplarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Korozyon nedeniyle vana ve borularda meydana gelmiş metal kayıplarının tamirleri için alternatif uygulama çözümleri ASME PCC-2 ve ASME B31 G Amerikan standartları gibi kabul görmüş uluslararası standart ve uygulamalar araştırılarak, çözüm önerileri verilmiştir. Bunlardan biri olan, uygulamasını yapıp detaylarını verdiğimiz inovasyon ürünü fiber karbon kompozit tamir sistemleri, kolay ve uygulanabilirliği ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca vana odalarındaki korozyon oluşumuna neden olan su girişlerinin önlenmesi sorununa yönelik kökten ve kalıcı çözümler için de öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal gaz, doğal gaz vana odası, doğal gaz vanası, korozyon, pitting korozyonu.

**IN SEARCH OF THE REHABILITATIONS OF THE NATURAL GAS STEEL
NETWORK VALVES AND VAULTS EXPOSED TO CORROSIVE EFFECTS**

Ömer A. ENGİN

Department of Metallurgy and Materials Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Co-Advisor: Dr. Cevat ÖZARPA

Natural gas is a combustible, odourless, colourless, lighter than air and environmentally friendly. On top of these properties, there are potential dangers associated with natural gas usage, like explosion and uncontrolled combustion if gas leakage occurs. On the natural gas steel network, these valves have been built under the ground like a concrete room named vault to give a spacious place for the natural gas maintenance technicians to work easily to shut down the flowing when the emergency case occurred. The natural gas valve vaults may be on the main streets, streets or in the local park.

In this study, firstly exists different city distribution companies natural gas valve vaults studied and inspected which are easy water entered and badly corroded. Entering water to the valve rooms especially in the rainy days was seen from the manhole covers, room walls, ventilation pipes, floor, pipe and wall connection places. Water filled natural gas vaults were drained by helping sewage trucks or automatic controlled pumping systems. Sometimes the valves stayed with penetrated water inside the vaults for a while for the reason of frequently entering water, due to this reasons, valves can be so dirty and muddy. Inside the vaults because of the extremely highness value of moisture and humidity, condensation has been continuously occurring, at the ceiling. These places are very suitable for the corrosion evolving. In many valves were detected crevice corrosion, filiform corrosion, uniform corrosion and pitting corrosion.

Somewhere on the valves due to pitting corrosion metal lost severity has arrived 2-2,5 mm.

After the widely inspection of the sector standarts, these are ASME PCC-2 ve ASME B31G, which are thought as an important information source, were given alternative applicable solutions, especially for the pitting corroded pipes and valves which had suffered metal losts . One of the innovative solutions is fiber carbon composite wrapping seems the best application because of its easy, quick and cheap properties. In addition, it was given solutions to prevent entering water to the natural gas valve vaults.

Key words: Natural gas, natural gas valve vault, natural gas valve, corrosion, pitting corrosion.

1.1 Literatür Özeti

Doğal gaz çelik vanaları; doğal gaz şebekesinin kontrol altında tutulması ve gerekli durumlarda gaz akışının kesilebilmesi için tesis edilmiş önemli ünitelerdir. Doğal gaz vanaları; yeraltında betonarme olarak inşa edilmiş olan vana odaları içerisine yerleştirilmişlerdir. Doğal gaz vana odaları, cadde üzerlerinde, sokaklarda, park içlerinde olabilmektedir. Vana odaları dizayn edilirken suya karşı yalıtımlı olacak şekilde inşa edilmeye çalışılmıştır. Ancak doğal gaz vana odaları özellikle yağışlarla birlikte su, çamur ile dolmakta ve korozif bir ortam meydana gelmektedir. Vana ve boru dış çeperlerinde oluşan yoğun korozyon nedeniyle metal kayıpları yaşanabilmektedir. Vanalardaki temizlik, bakım ve kumlama işlemleri uzun ve yorucu olmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Doğal gaz vana odaları yer altında oda şeklinde inşa edilmişlerdir. Yağışlı havalarda doğal gaz vana odalarında meydana gelen su girişleri ve oluşan nemli, kirli ortamlar vana ve borularda korozyon oluşumlarına neden olmaktadır. Doğal gaz işletmecilerince korozyondan korunma amaçlı periyodik olarak yapılan yıllık kumlama ve boyama işlemleri bazen yetersiz kalabilmektedir. Vanalarda ve borularda oluşan korozyon hasarları 2-2,5 mm metal kayıplarıyla sonuçlanabilmektedir. Bu çalışmada, hem doğal gaz vana odalarına su girişlerinin ve korozyonun önlenmesi hem de mevcut korozyon hasarlı vana odalarının, vana ve boruların rehabilitasyonlarının araştırılması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Doğal gaz vana odalarına yağışlı havalarda, menhol kapaklarından, havalandırma bacalarından, yeraltında ise doğalgaz borusunun duvarla bağlantı yerlerinden, beton zeminden, duvarlardan vb. su girişi olmaktadır. Bunun yanında doğal gazın soğutucu etkisiyle boru ve vana yzeylerinde oluşan yoğuşma, ayrıca meydana gelen çamurlanma ve kirlenme vana ve borularda korozyona sebep olmaktadır. Su girişi ve yoğuşma olmayan vana odalarında yapılan incelemelerde ilerlemiş korozyon oluşumunun meydana gelmediği tespit edilmiştir. Korozyonla mdcadelede en önemli etken olan doğru tasarım ile doğal gaz vana odalarına su girişinin önlenmesi, vanalarda ve borularda korozyonun meydana gelmemesi sağlanacaktır.

GENEL DOĞAL GAZ BİLGİLERİ

2.1 Doğal Gaz Nedir?

Doğal gaz; yanıcı, kokusuz, renksiz, havadan hafif, çevreci bir gazdır. Yerin binlerce metre derinliklerinde birikintiler arasında kalan organik maddelerin milyonlarca yıl süren bozunumları sonucunda oluşmuştur. Basınç ve sıcaklık, hayvan ve bitki artıklarını oksijensiz ortamda doğal gaza dönüştürmüştür. Doğal gaz doğada bağımsız yataklarda, petrol yataklarının üstünde, ya da civarında bulunur. Doğal gazın, kimyasal bileşiminin büyük çoğunluğunu metan gazı oluşturur (yaklaşık %90). Metan (CH₄) dışında değişen miktarlarda etan (C₂H₆), propan (C₃H₈), bütan (C₄H₁₀) gibi diğer hidrokarbonlu bileşikler bulunur.

2.2 Doğal Gazın Kimyasal Özellikleri

Doğal gazın kimyasal özellikleri aşağıda çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Doğal gazın kimyasal özellikleri

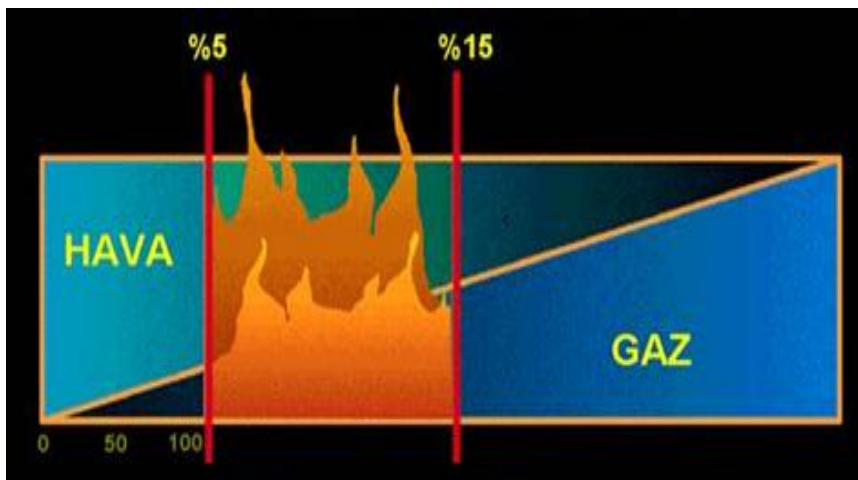
Özellik	Değer
Molar Ağırlık	16,0425 g/mol
Yoğunluk	0.655 kg/m ³
Suda Çözünürlüğü	3,5 mg/100 ml (17 °C)
Kaynama Noktası	-161,6 °C
Erime Noktası	-182,5 °C
Kritik Nokta	-82,6 °C
Üçlü Nokta	90,1 K, 0,117 bar

2.3 Doğal Gazın Fiziksel Özellikleri

- Yanıcı, patlayıcı
- Zehirli değil
- Havadan hafif
- Renksiz
- Kokusuz
- Çevreci
- Temiz
- Sıvılaştırılabilir

2.4 Doğal Gazın Patlama Özelliği

Kapalı bir Ortamda doğal gazın konsantrasyonunun % 5-% 15 arasında olması durumunda yanmayı gerçekleştirecek bir kıvılcım kaynağı ile birlikte patlama meydana gelir. Bu duruma doğal gazın patlama özelliği denir. LEL (Lower Explosion Limit) alt patlama limiti patlama oluşmasında çok önemli bir parametre olup, çalışma esnasında metan detektörü cihazlarıyla gaz konsantrasyonu sürekli ölçülür. LEL'de 50 değeri % 2,5 gaz konsantrasyonu, LEL'de 100 değeri % 5 gaz konsantrasyonu anlamına gelmektedir. Doğal gaz konsantrasyonunun % 5-% 15 aralığının dışındaki gaz konsantrasyonlarında ortamda yakıcı madde olsa bile, yanma veya patlama olmaz. Şekil 2. 1'de doğal gazın yanma üçgeni verilmiştir.



Şekil 2. 1 Doğal gazın yanma üçgeni [1]

2.5 Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)

Sıvılaştırılmış doğal gaz (Liquified Natural Gas) teriminin baş harflerinin kısaltılmasıyla doğal gaz sektöründe LNG olarak bilinir. Doğal gazın atmosfer basıncına yakın basınçlarda -162°C 'ye kadar tedricen soğutulup sıvı hale getirilmesiyle elde edilir. Sıcaklığın yükselmemesi için özel tanklarda depolanırlar ve taşınırlar. Sıvı fazdaki LNG'nin hacmi, doğal gaza oranla 600 kat küçüktür. Sıvılaştırma sürecinde toz, helyum, su ve ağır hidrokarbonlardan arındırıldığı için doğal gazdan daha verimli ve temizdir.

2.6 Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG)

Sıkıştırılmış doğal gaz (Compressed Natural Gas) teriminin baş harflerinin kısaltılmasıyla doğal gaz sektöründe CNG olarak bilinir. Doğal gazın basınçlandırılıp sıkıştırılmasıyla elde edilir. Kırmızı renkli silindirik tüplerin içerisinde 200-248 bar bir basınçta saklanır ve dağıtım yapılr. Özellikle araçlarda yakıt olarak kullanılır. Boru hattı olmayan yerlerde, tüplerle taşınarak sanayi de kullanılmaktadır.

2.7 Türkiye'nin Doğal Gaz Geçmişi

2.7.1 Türkiye'de Doğal Gaz

Türkiye'de doğal gazın varlığı ilk defa 1970 yılında, Kırklareli ilinin Babaeski İlçesi'ne bağlı Kumrular Köyü bölgesinde tespit edilmiştir. Petrol arama çalışmaları sırasında Trakya Bölgesi'nde Hamitabat sahasında yapılan sondajda doğal gaza rastlanmıştır. Günlük üretim debisi 1-1,4 milyon m³ olan Hamitabat doğal gazı, Hamitabat elektrik santraline verilmiştir. Nusaybin yöresinde üretilen doğal gaz Mardin Çimento Fabrikası'nda kullanılmıştır. 1984 yılında Sovyet Rusya ile yapılan anlaşma sonucu boru hatları aracılığı ile ülkemize Bulgaristan sınırında Malkoçlar mevkiinden giriş yapan doğal gaz, Hamitabat, Ambarlı, İstanbul-Marmara Denizi geçişi, İzmit Körfez geçişi ardından Bursa, Bozüyük ve Eskişehir güzergahıyla Ankara'ya ulaşmaktadır. Ülkemizde doğal gaza olan talep hızlı bir şekilde artmaktadır. Şehirlerde ilk gaz kullanımına Ankara'da başlanmış ve taşıyıcı hatların yaygınlaşması ile yeni projeler birbirini takip etmiştir. 1992 yılı ocak ayında İstanbul'da doğal gaz kullanımı başlamış ardından, Bursa, İzmit ve Eskişehir kentsel dağıtım şebekeleri yapılarak, buralarda da kullanıma

geçilmiştir. Doğal gaz, ülkemizde oldukça geniş bir kullanım alanına sahip bulunmaktadır. Doğal gazın % 55'i elektrik üretiminde, %25'i konutta, %20'si ise sanayide kullanılmaktadır. Doğal gaz alt yapısı yapılan çalışmalarla ülke çapında oldukça yaygın bir hale getirilmiş ve doğal gaz kullanan şehir sayısı 70'i bulmuş durumdadır.

Türkiye'ye şu an boru hatlarıyla Rusya, (Batı Hattı ve Mavi Akım Hattı), İran ve Azerbaycan'dan doğal gaz temin edilmektedir. Ayrıca Marmara Ereğlisi ve İzmir Aliağa LNG tesislerine, Cezayir ve Nijerya'dan gemilerle sıvılaştırılmış doğal gaz tedarik edilmektedir.

2.7.2 İstanbul'da Doğal Gaz

Yaklaşık olarak 130 yılı bulan havagazı (kok gazı) kullanımı geçmişini olan İstanbul, 1980'li yılların sonu itibariyle asırlık havagazı geleneğini bırakmıştır. 80'li yılların ortalarında artan nüfus ile birlikte şehre giren kalitesiz kömürün kullanımı hava kirliliğini had safhaya çıkarmıştı. 1984 yılında Sovyet Rusya ile yapılan anlaşmaya müteakip İstanbul'da İ.E.T.T bünyesinde fizibilite çalışmaları başlatılmış, konunun ülkemizde yeni olması sebebiyle 1987 yılının mayıs ayında, İstanbul doğalgaz projesinin malzeme ve işçiliği, Fransız SAE firması ile Alarko konsorsiyumuna ihale edilmiştir. 1989 yılında başlanan çalışmalar neticesinde, projenin birinci bölümünün tamamlanma tarihi olan 1993 yılının Mayıs ayı beklenmeden, abonelere ilk doğal gaz 1992 yılının Ocak ayında verilmeye başlanmıştır. 2011 yılı itibari ile İstanbul'da sanayi, ticari ve evsel tip doğal gaz tüketim miktarı 4,5 Milyar m³' ü bulmuştur.

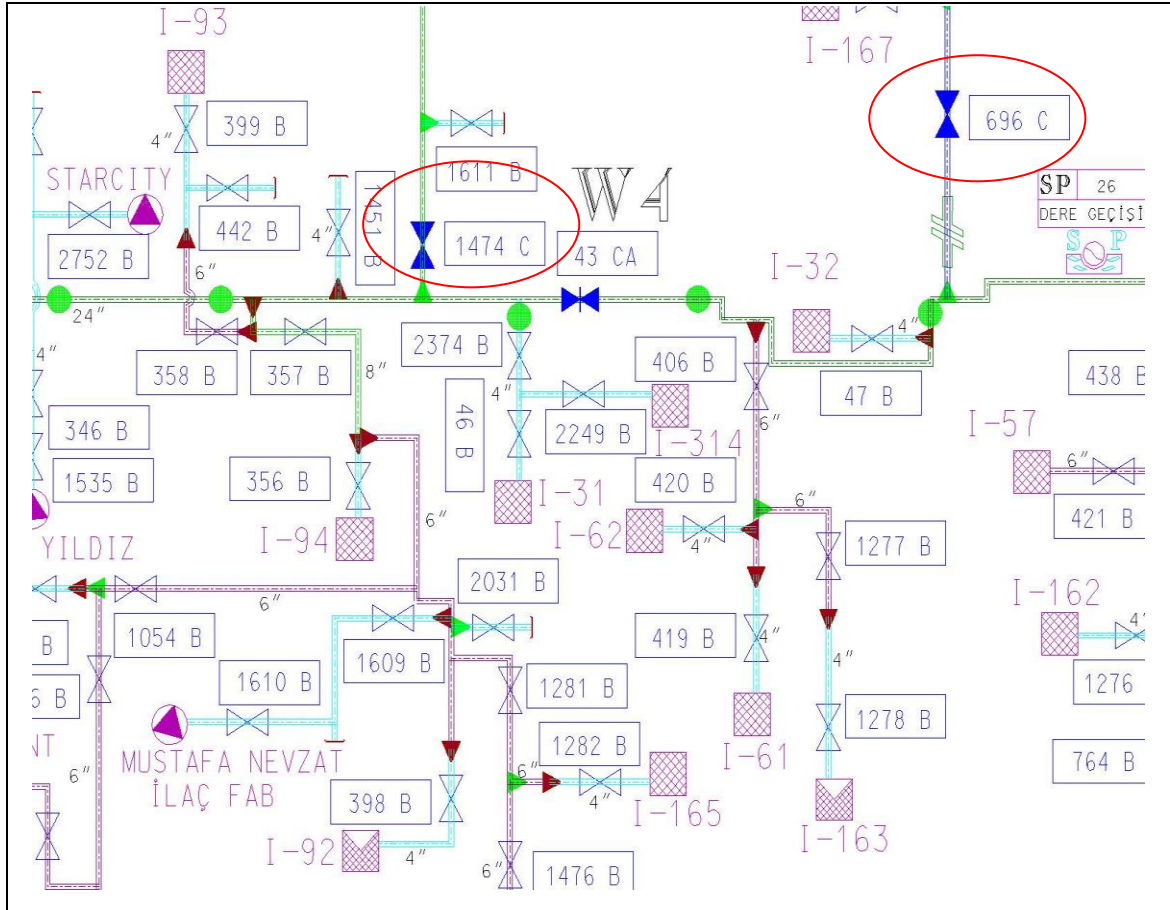
2.8 Doğal Gaz Dağıtım Şebekesi

Doğal gaz dağıtım şebekeleri çalışma basınçlarına göre 3 kategoride sınıflandırılır.

- Alçak basınç (0,3 bar- 1 bar)
- Orta basınç (0,6 bar- 4 bar)
- Yüksek basınç (4 bar üzeri)

Güvenlik ve gaz teminin sürekliliği açısından gaz dağıtım şebekelerinin bölünerek kollara ayrılması gereklidir. Orta basınçlı şebekelerde iki vana arası mesafe 3 km

civarında olmalı ve vanalar 15 dakika içerisinde hattın basıncını düşürecek şekilde tahliye sistemine sahip olmalıdır. Özellikle orta basınç çelik şebeke için aşırı kalabalık ve dar sokaklardan kaçınılarak hat güzergahları tespit edilmelidir. Şebeke dizaynı kesin bir esneklik içinde talepteki dalgalanmalara karşı cevap verebilmelidir. Şekil 2. 2’de doğal gaz çelik boru hattı şebekesi mimik planı üzerinde mavi renkle çizilmiş olan 696 C ve 1474 C no’lar vana odaları örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 Doğal gaz çelik boru hattı şebekesi mimik planı

DOĞAL GAZ ÇELİK ŞEBEKE VANALARI VE VANA ODALARI

3.1 Doğal Gaz Çelik Şebeke Vanasının İşlevleri

Çelik ana hatları ve dağıtım hatlarının üzerine doğal gaz vanaları, aşağıdaki işlevleri yerine getirmek için yerleştirilirler:

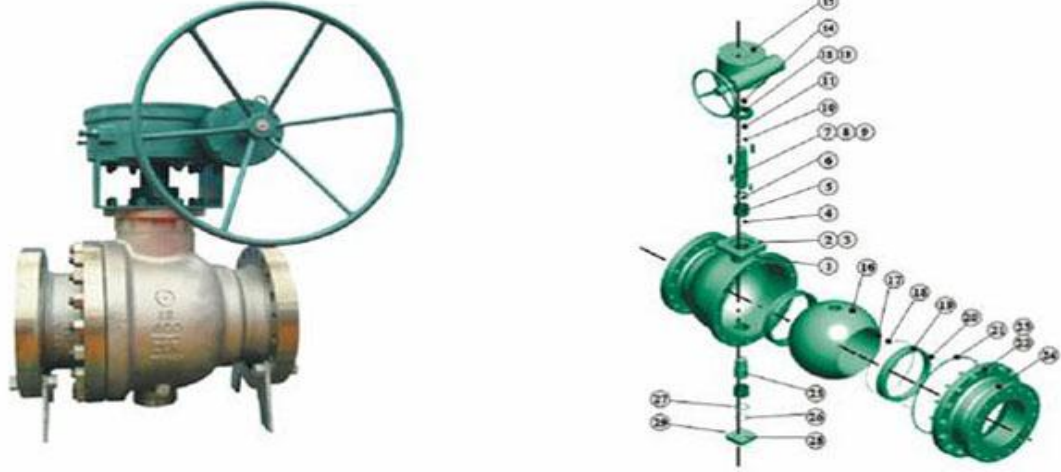
1– Acil durumlarda hattaki gaz akışının kesilmesi.

2– Çelik hattaki doğal gazın boşaltılması veya tamir amaçlı çalışmalarda hattın kapatılmasını sağlama.

Şekil 3. 1 ve Şekil 3. 2’de küresel tip (ball type) doğal gaz vana resimleri, Çizelge 3. 1’de parça ve malzeme listesi numaralandırılmış olarak verilmiştir.



Şekil 3. 1 Küresel tip doğal gaz vanası [2]



Şekil 3. 2 Doğal gaz küresel tip vanası ve vana parçaları [3]

Çizelge 3. 1 Doğal gaz küresel tip vanaların parça ve malzeme listesi

VANA PARÇALARI ve MALZEME LİSTESİ		
PARÇA NUMARASI	PARÇA ADI	KULLANILAN MALZEME
1	Gövde	ASTM A 216
2	Somun	ASTM 194
3	Saplama	ASTM A 193
4	O ring	Viton
5	Gövde yatağı	Metal destekli teflon
6	Conta	ASTM 182
7	Tij	ASTM 182
8	Anahtar	Karbon çeliği
9	Anahtar	Karbon çeliği
10	O ring	Viton
11	Dişli	Teflon
12	Örtü	ASTM A 105
13	Kep vidası	ASTM A 193
14	O ring	Viton
15	Dişli	Karbon çeliği
16	Küre	ASTM A 182
17	Yatak	Takviyeli teflon

18	O ring	Viton
19	Yatak tutucusu	ASTM A 105
20	Yay	SS 304
21	Conta	Viton, Teflon
22	Gövde saplaması	ASTM A193
23	Gövde somunu	ASTM A 194
24	Kapak	ASTM A 216
25	Alt trunion	ASTM A 182
26	O ring	Viton
27	Conta	ASTM A 182
28	Alt kapak	ASTM A 105
29	Kep vidası	ASTM A 193

3.2 Doğal Gaz Vana Odaları Yer Tespiti

Doğal gaz vana odalarının yerleri belirlenirken; [4]

- Trafik Durumu: Trafiğin yoğun olduğu yerlerden uzak olmalı.
- Altyapı Durumu: Diğer altyapılardan, özellikle elektrik hatlarından uzak olmalı.
- Yağmur Sularının Durumu: Suların basacağı aşağı kotlarda olmamalı.
- Havalandırma Borularının Durumu: Havalandırma borularının rahat çıkabileceği ve konumlandırılacağı yerler olmalı.
- Havai Elektrik Hatlarının Durumu: Boru hattından gazın tahliyesi (purging) esnasında tehlike söz konusu olmaması için odalar elektrik hatlarına uzak yapılmalı.
- Nüfus Yoğunluğu Durumu: Nüfusun yoğun olduğu, hastane ve okul gibi yerlerden uzak olmalı.

3.3 Vana Yerleştirme Modelleri

- Oda tipi yerleştirme modeli
- Gömülü tip yerleştirme modeli

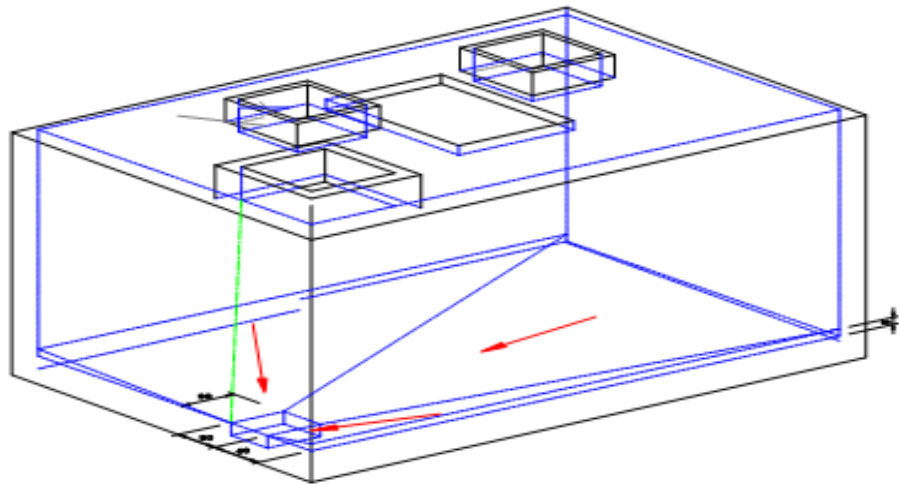
- Sahra tip yerleştirme modeli
- Odacık tipi yerleştirme modeli

3.3.1 Oda Tipi Yerleştirme Modeli

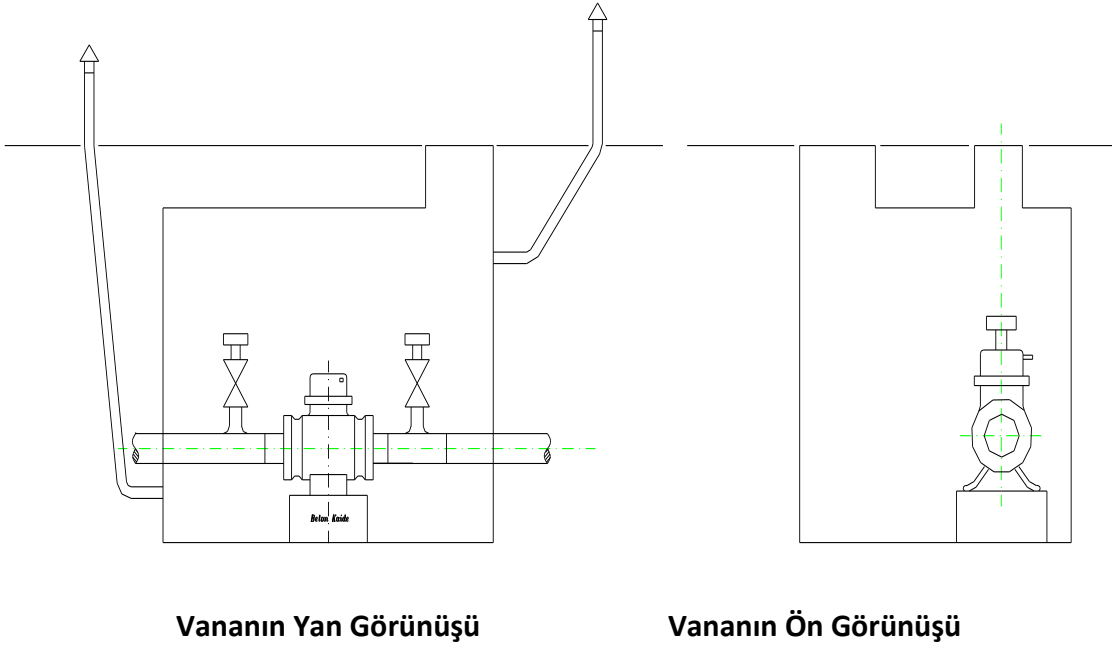
Oda tipi yerleştirme modelinin genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Değişik çapta vana veya vana gruplarını yer seviyesinin altında betonarme bir oda şeklindeki yapı içinde yerleştirme modelidir.
- Vana veya vana grubunun toprak veya kum ile herhangi bir teması bulunmamaktadır.
- Vana odasının hacmi standartlarda belirtilen hacimlere ulaştığında doğal havalandırma baca sistemleri tekniği ile havalandırılır.
- Vanaya gerekli müdahale, bakım personelinin odanın içerisine girerek müdahalesiyle olur.
- Ana vana ve tahliye vanalarından oluşan vana grubunun yerleştirileceği vana odası, vananın cinsine ve çapına göre boyutlandırılır.
- Yer altı vana odaları boru çaplarına göre 8", 12", 16", 20", 24", 28", 30" çaplarında olabilirler.

Şekil 3. 3 ve Şekil 3. 4'te doğal gaz vana odası teknik çizimleri verilmiştir.

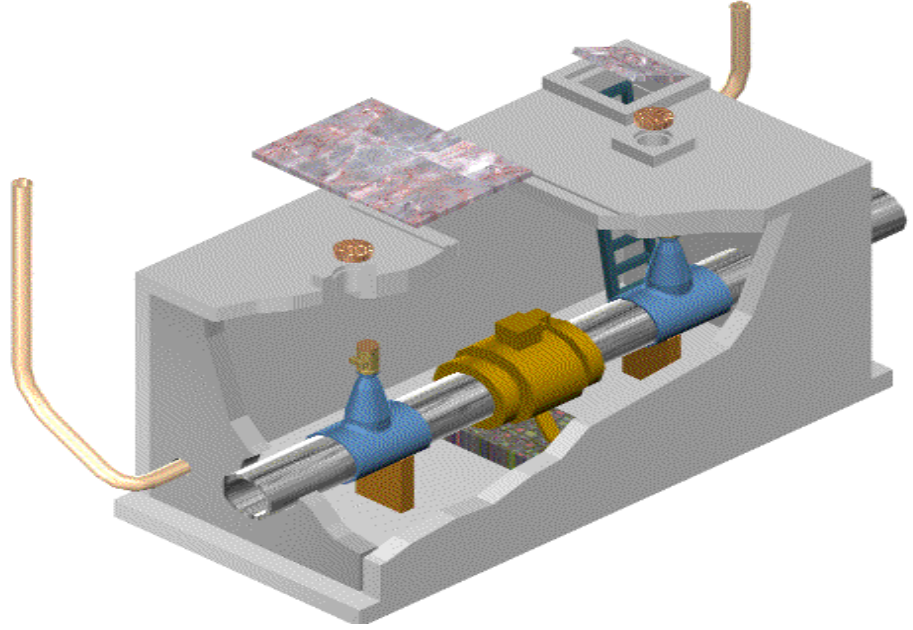


Şekil 3. 3 Doğal gaz vana odası teknik çizimi



Şekil 3. 4 (a) Doğal gaz vana odası modeli teknik çizimi yan görünüşü (b) ön görünüşü

Şekil 3. 5'te doğal gaz vana odası katı model çizimi verilmiştir.



Şekil 3. 5 Doğal gaz vana odası katı model çizimi

Şekil 3. 6, Şekil 3. 7, Şekil 3. 8, Şekil 3. 9'da sırası ile vana odası inşa aşamaları, Şekil 3. 10' da doğal gaz vana odası iç görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.6 Doğal gaz vana odası inşası



Şekil 3.7 Doğal gaz vana odası inşası



Şekil 3.8 Doğal gaz vana odası inşası



Şekil 3.9 Doğal gaz vana odası inşası



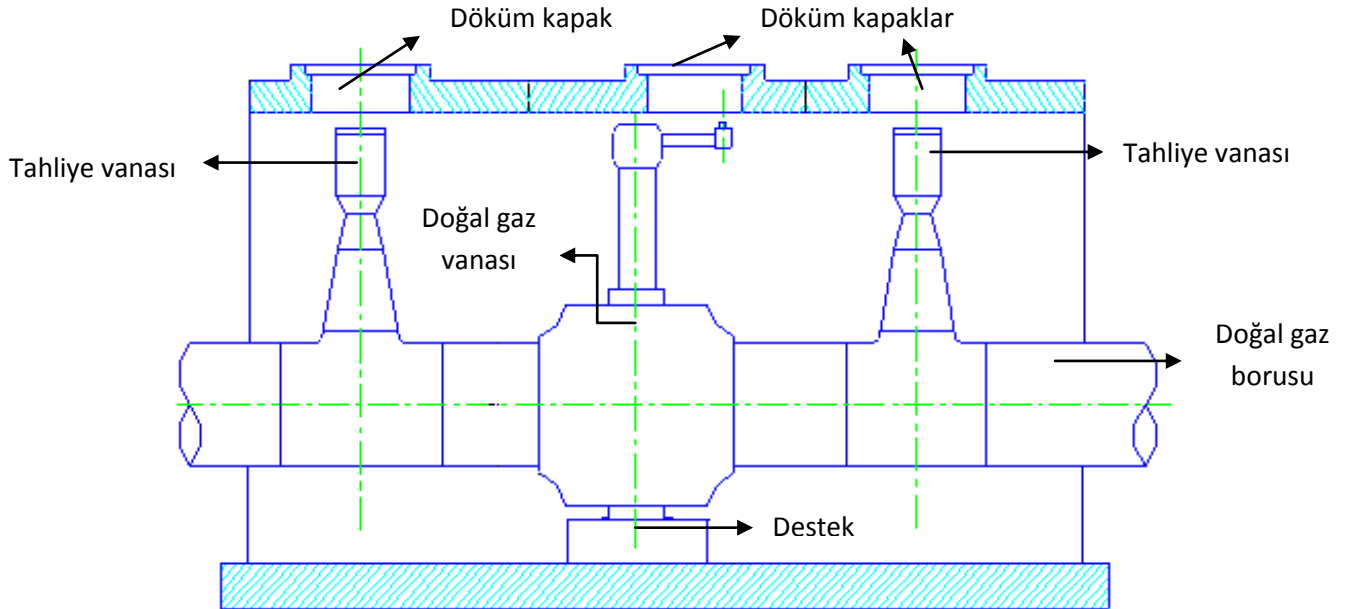
Şekil 3. 10 Doğal gaz vana odası iç görünüşü

3.3.2 Gömülü Tip Yerleştirme Modeli

Gömülü tip doğal gaz vana odalarının genel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Vana veya vana gruplarının direkt toprak altına veya toprak altında çevreden gelen dış kuvvetlerden etkilenmemesi için betonarme bir yapı içerisine yerleştirme Şeklidir.
- Vana veya vana grubunun toprak ve su ile teması bulunmaktadır. (Bunun için bu tip vana odaları izolasyon gerektirmez).
- Havalandırma gerektirmez.
- Vanaya müdahale bakım personeli tarafından bir kol ile yer seviyesinin üstünden yapılır.
- SCADA yoluyla uzaktan açıp kapamaya uygun değildir.
- Periyodik bakıma gerek yoktur. Ancak gerekli durumlarda flanşların saplama ve somunlarının değiştirilmesi zordur.
- Vana katodik koruma altındadır.

Şekil 3. 11’de gömülü tip doğal gaz vana odası teknik çizimi verilmiştir.



Şekil 3. 11 Gömülü tip doğal gaz vana odası teknik izimi

Şekil 3. 12’de uygulamadaki gömülü tip doğal gaz vana odası görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. 12 Gömülü tip doğal gaz vana odası modeli

3.3.3 Sahra Tipi Yerleştirme Modeli

Bu tip vana odaları, özellikle yerleşim bölgelerine uzak yerlerden geçen doğal gaz iletim hatlarına konurlar ve atmosfer ortamına açık olarak inşa edilirler. Boya ve temizlik gibi periyodik bakıma ihtiyaçları fazladır. Gerektiğinde vanaya müdahale kolaydır. Yerleşim bölgelerinde kullanımları uygun değildir. Şekil 3. 13’de vana odasının sahra tipi yerleştirme modeli verilmiştir.



Şekil 3. 13 Sahra tip doğal gaz vanası yerleştirme modeli

3.3.4 Odacık Tipi Yerleştirme Modeli

Bu tip vana odaları özellikle 4" ve 6" gibi küçük çaplı doğal gaz boruları için daha uygundur. Vanaya açma-kapama müdahalesi yer üstünden bir uzatma koluyla yapılır. Şekil 3. 14'de odacık tipi yerleştirme modeli verilmiştir.



Şekil 3. 14 Odacık tip doğal gaz vana yerleştirme modeli

DOĞAL GAZ BORU HATLARININ GÜVENLİĞİ VE RİSKLER

Kara ve deniz yolu taşımacılıklarına kıyasla boru hattı taşımacılığının hızlı, güvenli, çevreci olması ve atmosferik koşullardan etkilenmemesinin yanında yatırımı daha kısa sürede geri ödemesi gibi üstünlükleri vardır.

Doğal gaz iletim ve dağıtım hatları; ısıtma, soğutma, sanayi, elektrik çevrim santralleri, LNG depolama tesisleri, askeri üsler için hayati öneme sahiptirler. Yanıcı, patlayıcı ve yüksek çalışma basıncı özellikleri, doğal gazın insan ve çevre sağlığı açısından güvenli iletimini ve dağıtımını gerektirmektedir. Doğal gaz boru hatları oldukça yaygındır ve bu hatlar yoğun yerleşim bölgelerinin bulunduğu yerlerden de geçmektedir. Şekil 4. 1 'de doğal gaz hatlarının uydu görüntüsü üzerine harita verileri çakıştırılmış hali gösterilmektedir. Doğal gaz boru hatlarının güvenliği açısından hatların yeri mutlaka haritada işlenmeli ve bu bilgiler periyodik olarak güncellenmelidir.



Şekil 4. 1 Yerleşim bölgesinde doğal gaz hatlarının uydu görüntüsü

Doğal gaz boru hatlarında zaman zaman hasarlar ve patlamalar meydana gelebilmektedir. Bu hasarların ve patlamaların, birçok nedenleri vardır bunlar; boru hattı üzerinde üçüncü şahıslarca yapılan alt yapı amaçlı kazılar, iç ve dış korozyon oluşumu, mekanik hatalar, üretim hataları ve operatör hatalarıdır. Örneğin 14 Eylül 2008 yılında Appomattox Virginia’da doğal gaz borusu dış korozyon nedeniyle delinmiş, biriken sızıntı patlamaya sebep olmuş, iki ev yanarak kullanılmaz hale gelmiştir [5]. Depremler, doğal afetler ve seller boru hatlarına hasar verebilirler. Şekil 4. 2 Toprak kayması sonucu açığa çıkmış doğal gaz borusu, Şekil 4. 3 alt yapı çalışmaları esnasında hasar görmüş doğal gaz borusu örnekleri verilmiştir.



Şekil 4. 2 Toprak kayması sonucu açığa çıkmış doğal gaz borusu



Şekil 4. 3 Alt yapı çalışmaları esnasında hasar görmüş doğal gaz borusu

Boru hatları ve kompresör istasyonları, bombalı terörist saldırılara da maruz kalabilmektedir [6]. Her ne sebepten olursa olsun, tek bir doğal gaz patlaması afet

niteliğinde olabilmekte, ciddi maddi ve manevi sonuçlar doğurabilmektedir. Boru hatlarında meydana gelebilecek olan hasarlar iki kısma ayrılır. Bunlar; zamana bağlı hasarlar ve zamana bağlı olmayan hasarlardır.

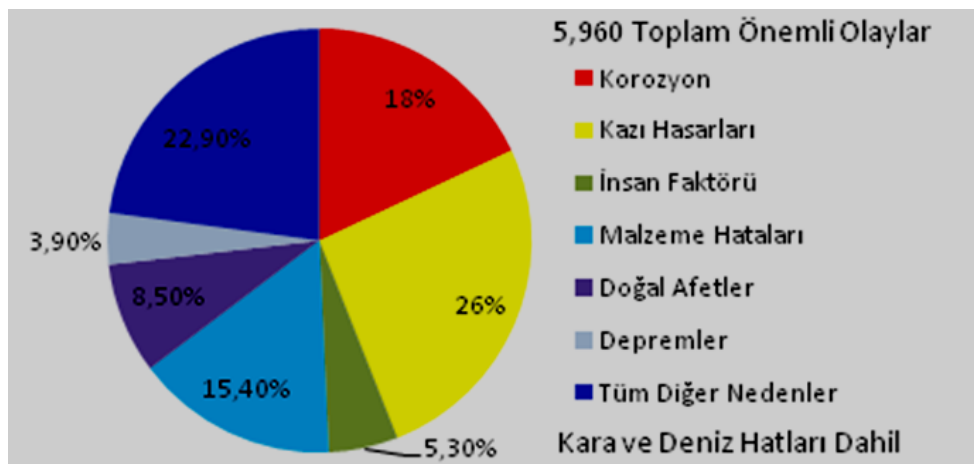
4.1 Zamana Bağlı Boru Hattı Hasarları Olası Mekanizmaları

1. Dış korozyon (External corrosion)
2. İç korozyon (Internal corrosion)
3. Yorulma çatlak oluşumu (Fatigue cracking)
4. Gerilmeli korozyon çatlama (Stress corrosion cracking)
5. Hidrojen gevrekliği (Hydrogen induced cracking)

4.2 Zamana Bağlı Olmayan Boru Hattı Hasarları Olası Mekanizmaları

1. Üçüncü şahıs alt yapı kazısı hasarları (Third party damages)
2. İnsan faktörü (Hatalı kaynak, hot-tap vb. çalışmalar) (Human factors)
3. Doğal afetler (Natural disasters)
4. Depremler (Earth quakes)
5. Malzeme hataları (Material defects)
6. Sabotaj (Sabotage)

Şekil 4. 4 'te Kara ve deniz hatları da dahil olmak üzere, boru hatlarında görülen hasarların kök nedenleri istatistiki olarak verilmiştir.



Şekil 4. 4 Boru hatlarındaki hasarların kök neden yüzde dilimleri (1988- 2008) yılları [7]

4.3 Doğal Gaz Boru Hatlarında Korozyon Tehlikesi

Yer altına gömülmüş boru hatlarında iç ve dış korozyon tehlikesi nedeniyle boru hattının delinme riski sürekli olarak vardır. Filtrelenmiş doğal gazın içindeki nem oranı düşük olduğundan doğal gaz boru hatlarındaki iç korozyon tehlikesi, dış korozyon tehlikesine göre çok daha azdır. Doğal gaz boru hatları yaşlandıkça bozulan kaplama malzemesi dış korozyon riskini artırmaktadır. Korozyon tehlikesi dinamiktir, kilometrelerce uzunlukta olan doğal gaz boru hatlarının etkin bir şekilde korozyon oluşumu takibinin sürekli yapılması, elde edilen verilerin birbiriyle karşılaştırılarak metal boru et kalınlığı kaybında ilerleme olup olmadığına bakılması gerekmektedir [8]. Doğal gaz boru hatlarında arzın kesintisiz olması istendiğinden korozyon takibi açısından en etkili yöntemlerden biri, boru hattının içine, üzerinde sensörler ve kayıt yapan elektronik cihazlar bulunan pigler göndermek olacaktır. Bu amaçla boru hattı içinde ultrasonik dalga (electromagnetic acoustic transducers) veya manyetik kaçak akım (magnetic flux leakage) yöntemlerini kullanan akıllı pigler (smart pig) geliştirilmiştir.

Şekil 4. 5 ve Şekil 4. 6 akıllı pig resimleri verilmiştir.



Şekil 4. 5 Manyetik kaçak akım yöntemiyle çalışan akıllı pig [9]

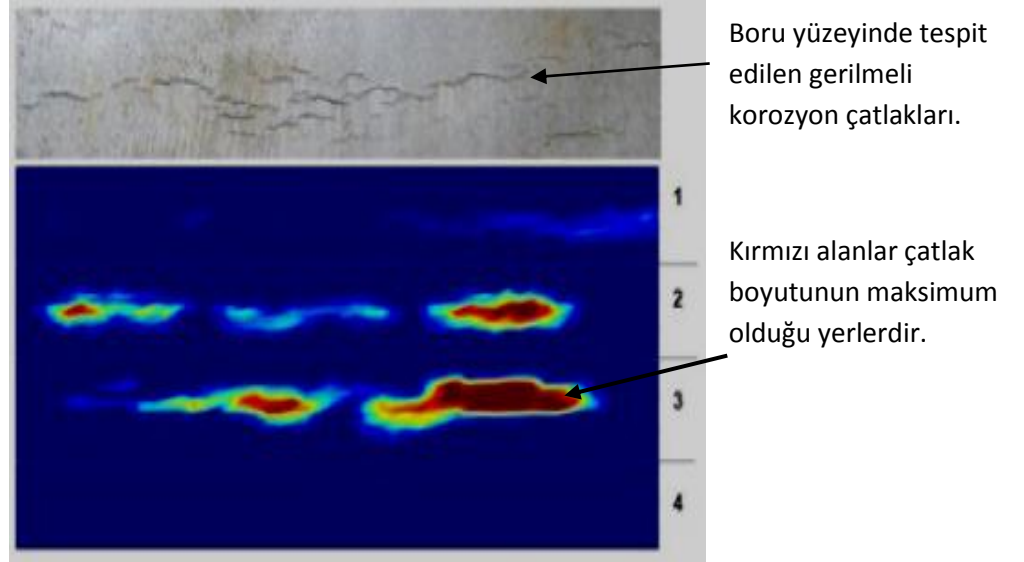


Şekil 4. 6 Akıllı pigin boru hattı içindeki simülasyonu [9]

Akıllı pigler, tahribatsız muayene (Non Destructive Testing) tekniklerini kombine olarak da kullanabilen sistemlerdir. Boru içinde akıllı pig kullanılarak tespit edilen pitting korozyonu örneği Şekil 4. 7’de, gerilmeli korozyon çatlakları örneği ise Şekil 4. 8’de verilmiştir.



Şekil 4. 7 Boru içinde akıllı pig kullanılarak tespit edilen pitting korozyonu [10]



Şekil 4. 8 Manyetik kaçak akım yöntemini kullanan akıllı pig ile tespit edilmiş gerilmeli korozyon çatlakları [10]

Akıllı pigler kullanılarak metal et kalınlığı kayıpları; hata derinliği şayet boru et kalınlığının % 20’ sinden daha derin ise veya hata uzunluğu boru et kalınlığının birkaç katı uzunluğunda ise tespitleri kolayca yapılabilmektedir [11].

5.1 Korozyonun Tanımı

Korozyon en genel tanımıyla; metallerin, içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır [12]. Korozyon doğal bir süreçtir ve birçok metal için kaçınılmazdır. Metaller daha kararlı halleri olan oksitli, karbonatlı ve sülfürlü bileşiklere dönme yani korozyona uğrama eğilimindedirler. Altın ve platin dışındaki metallerin tamamı doğada oksitlenmiş halde bulunurlar. Metal oksitleri redüklemek zorlu bir süreçtir ve büyük miktarlarda enerji kullanımını gerektirir. Termodinamik anlamda, bu süreç sonunda metaller daha yüksek bir enerji düzeylerine taşınırken, entropileri de düşer. Her tip korozyonun arkasındaki temel sebep veya yürütücü kuvvet (driving force) sistemin Gibbs serbest enerjisinin azaltılmak istenmesidir. Metalin, doğal ve düşük enerjili oksit haline dönüşümü korozyondur. Önemli olan bu hızın ne olacağıdır. Bu dönüşün hızı korozyon kontrol metotları ile yavaşlatılabilir.

5.2 Korozyon yarı hücreleri ve reaksiyonları

Korozyon yarı hücreleri olan yükseltgenme ve indirgenme hücreleri, metal üzerinde ayrı ayrı lokasyonlarda gerçekleşmektedir. Bu durumu mümkün kılan, metalin iyi bir iletken olma özelliğidir. Dolayısıyla elektronlar, kolay bir şekilde metalin iletkenliği sayesinde anottan, (negatif elektrot) katoda (pozitif elektrot) doğru hareket ederler. İyon taşınımı için, ortamda elektrolit görevi yapan su veya sıvının olması elzemdir, ancak ince bir nem tabakası bile yeterli olmaktadır. Korozyonun meydana gelebilmesi

için; anotun, katotun, elektrolitin ve elektrik devresinin olması gereklidir. Korozyon kısa devreli elektrokimyasal hücre olarak düşünülebilir. Bu olay; doğru akım üreten basit bir (DC) çinko-karbon pilleri gibidir. Bu hücrenin anodik adımı;

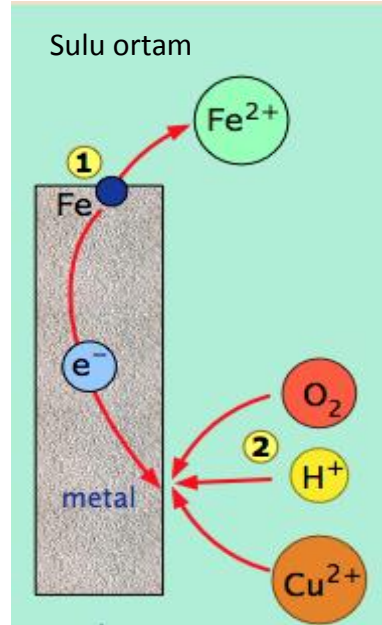
oksidasyon, çözünme anotta meydana gelecektir $Fe(s) \rightarrow Fe^{+2}(aq) + 2 e^{-}$ (5.1)

Katodik adımı ise aşağıdakilerden biri gibi olacaktır:

Havalandırılmış alkali ve nötral ortamda katot reaksiyon $O_2 + 2 H_2O + 4 e^{-} \rightarrow 4 OH^{-}$ (5.2)

Havalandırılmış asidik ortamda katot reaksiyonu $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2(g)$ (5.3)

Sulu ortamda demirin elektrokimyasal korozyonu Şekil 5. 1’de verilmiştir.



Şekil 5. 1 Sulu ortamda demirin elektrokimyasal korozyonu [13]

Şekilde 1 nolu noktada

Elektronları üreten reaksiyon

$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2 e^{-}$ (5.4)

Metal yüzeyindeki Fe atomu nem filmi içinde çözünür, elektronlarını metal içerisinde bırakır.

Şekilde 2 nolu noktada

Elektronları tüketen reaksiyonlar ise



5.3 Korozyonun Çeşitleri

İşletme esnasında sıklıkla görülen korozyon çeşitleri dokuzdur. Bunlar;

1. Genel korozyon
2. Galvanik korozyon
3. Aralık korozyonu
4. Pitting korozyonu
5. Taneler arası korozyon
6. Gerilmeli korozyon çatlaması
7. Seçimli korozyon
8. Betonda korozyon
9. Erozyon korozyonu

Kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

5.3.1 Genel Korozyon

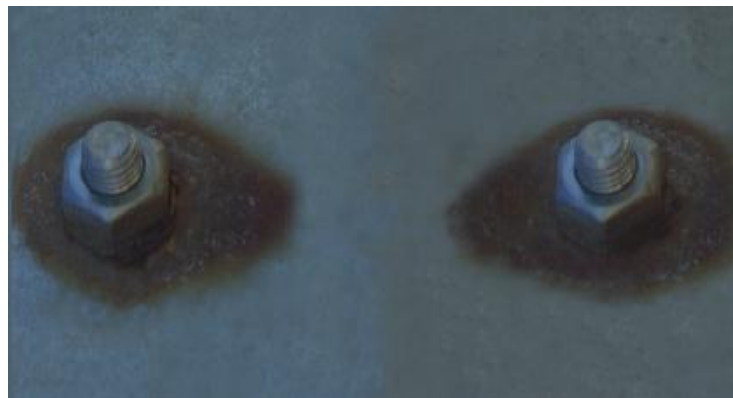
En yaygın korozyon türü olup üniform korozyon olarak da adlandırılır. Anodik çözünme, metalik yüzeyin her tarafına veya büyük bir kısmına eşit olarak dağılmıştır. Korozyon hızı yavaş ve her yerde aynıdır. Düzgün, pürüzsüz olan metal yüzeyi zamanla kaba, pürüzlü bir hal alır. Mikro anot ve katot hücreleri sürekli olarak elektrokimyasal davranışlarını anottan katota doğru değiştirirler. Et kalınlığındaki azalma üniform olduğu için tehlikesi azdır ve tahribatsız muayene uygulanarak korozyon hızı ölçülebilir. Doğal gaz borusunda genel korozyon oluşum örneği Şekil 5. 2'de verilmiştir.



Şekil 5. 2 Doğal gaz borusunda genel korozyon oluşumu

5.3.2 Galvanik Korozyon

Korozif bir ortamda bulunan ve elektrokimyasal potansiyelleri farklı olan iki metalin birbirine teması sonucu meydana gelen korozyondur. Daha az soy olan metal (anot) korozyona uğrayacak, daha fazla soy olan metal (katot) ise galvanik akım sayesinde katodik olarak korunacaktır. Galvanik korozyon hızına, çevre elektrolitin iletkenliği ve katot/anot yüzey alanı oranı da etki yapmaktadır. Eğer elektrolitin iletkenliği yüksek ise, korozyon daha geniş bir alanda kendini gösterir. Böylece zararlı etkisi azalır. İletkenliğin düşük olması halinde, iki metalin temas ettiği bölgenin yakınında dar bir alanda şiddetli olarak ortaya çıkar. Katot/anot yüzey alanı oranı da pratikte büyük önem taşır. Bu oranın büyük olması yani büyük bir katot yüzeyine karşı anot yüzey alanının küçük olması, anot akım yoğunluğunun artmasına ve dar bir bölgede şiddetli korozyon oluşmasına neden olur. Şekil 5. 3 'de çinko kaplı çelik sac ve paslanmaz çelik saplamada galvanik korozyon örneği verilmiştir.



Şekil 5. 3 Galvanik korozyon [14]

5.3.3 Aralık Korozyonu

Bu tip korozyon yaygın olarak küçük hacimli durgun, durağan çözeltilerin yerleşmiş olduğu, aralık meydana getiren dar ve kısmi alanlarda görülür. Geometrileri nedeniyle flanşlar, kaplinler, saplama somunlar ve perçinler aralık korozyonu için uygun zeminlere sahiptirler. Aralık içinde biriken kir, toz ve korozyon ürünleri kolayca temizlenemez ve aralık korozyonu için uygun ortamı hazırlar. Zamanla oksijen tükenir ve oksijence zengin olan yüzeyle farklı havalandırma hücreleri meydana gelir ve oksijen yoksunu ortam anot olur. Birçok vakada korozyonun ilerleme hızı sabit değildir. Şekil 5. 4’de flanşta meydana gelen aralık korozyonu örneği verilmiştir.



Şekil 5. 4 Flanşta aralık korozyonu

5.3.4 Pitting Korozyonu

Korozyon sonucu bir metal yüzeyinde delikçikler, çukurcuklar oluşursa bu tip korozyona pitting (çukurcuk) korozyonu ya da karıncalanma denir [15]. Bu tip korozyon sinsi ve çok tehlikelidir. Yüzeyde küçük bir hata, çizik veya kaplamadaki bir hasar pitting korozyonu oluşumunu başlatabilir. Ortamda çözelti ile birlikte klor, brom veya hipoklorit iyonlarının bulunması pitting korozyonunu daha da hızlandırır. Yüzeydeki çukurcukların üzeri sıklıkla korozyon ürünleri ile dolu olduğu için yeterince görülemez. Üniform korozyonla karşılaştırıldığında, pitting korozyonu daha tehlikeli olup, oluşan çukurcuklar 10 veya 100 kat derin olabilmektedir. Bu tip korozyon hasarlarına

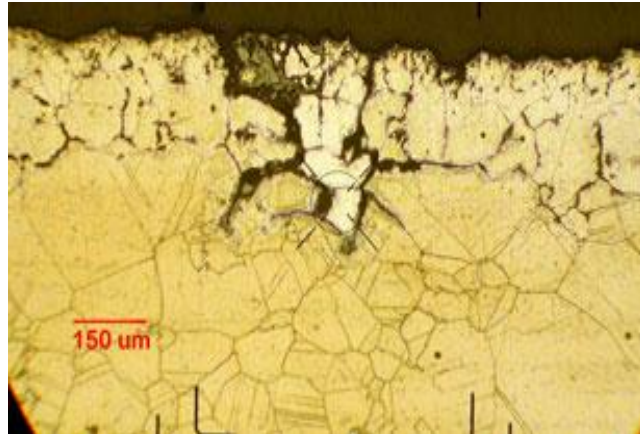
paslanmaz çeliklerin yanı sıra demir, krom, alüminyum, bakır gibi metaller ve alaşımları da duyarlıdır. Şekil 5. 5'de boruda pitting korozyonu örneği verilmiştir.



Şekil 5. 5 Pitting korozyonu [14]

5.3.5 Taneler Arası Korozyon

Bir metal alaşımının kristal yapısında tane sınırları boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür. Bu çelikler ısıtılma tabi tutulursa veya kaynak edilirse, 500-850 °C sıcaklıklarına ulaşan bölgelerde tane sınırlarında $Cr_{23}C_6$ tipi krom karbür çökmesi olur. Krom karbürün ağırlık bakımından % 90'nın krom olmasından ötürü, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile östenit tanenin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır. Tane sınırlarının yakınında krom konsantrasyonu düşük bölgeler oluşur ve sonuç olarak da tane sınırı bölgelerin korozyona maruz kalması söz konusu olur [16]. Şekil 5.6'da taneler arası korozyon örneği verilmiştir.



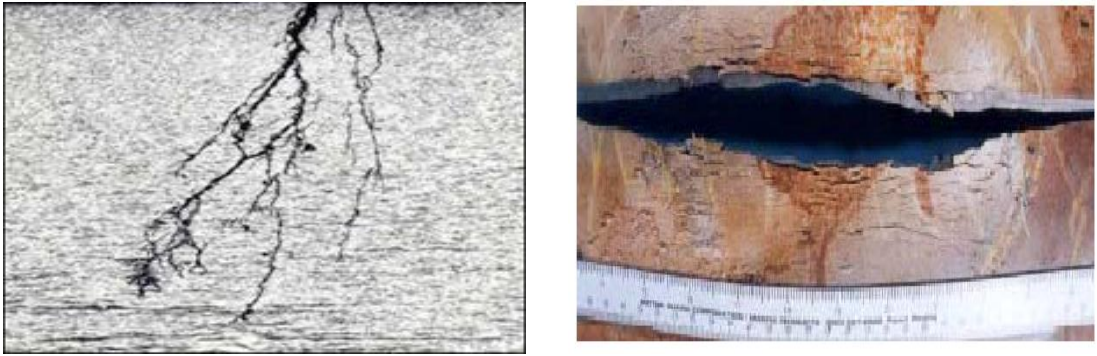
Şekil 5. 6 Taneler arası korozyon [17]

5.3.6 Gerilmeli Korozyon Çatlaması

Bir malzemenin korozyonla birlikte, dış yüklerin oluşturduğu statik çekme gerilmelerinin veya artık çekme gerilmelerinin etkisi altında hasara uğramasına gerilmeli korozyon çatlaması adı verilir. Gerilmeli korozyon çatlaması, malzemede çatlaklar oluşturarak dayanımını azaltan bir korozyon şeklidir [18]. Gerilmeli korozyon çatlaması (GKÇ), saf metallere nazaran alaşımlarda daha yaygındır. Korozyon sonucu metal kaybı son derece azken, mekanik dayanım oldukça fazladır. GKÇ sonucu oluşan ince çatlakların tespiti oldukça zordur. GKÇ hasarları önceden tahmin edilemez ve çevresine verdikleri maddi tahripleri oldukça yüksektir. GKÇ'nin meydana gelebilmesi için sıcaklığa ilaveten üç temel faktöre aynı anda ihtiyaç vardır. Bunlar:

- GKÇ'ye duyarlı bir malzeme
- GKÇ'ye uygun bir kimyasal ortam
- GKÇ için yeterli çekme gerilmesi

Alüminyum ve östenitik paslanmaz çelikler gerilmeli korozyon çatlağına duyarlı olan malzemelerdir. Şekil 5. 7'de gerilmeli korozyon çatlamasına örnekler verilmiştir.



Şekil 5. 7 Gerilmeli korozyon çatlaması [19],[20]

5.3.7 Seçimli Korozyon

Elektrolitik ortamda bir alaşım içinde bulunan elementlerden elektronegatifliği daha fazla olanın seçimli olarak korozyona uğrayıp çözünmesi sonucu oluşan korozyondur. Korozyon malzemenin her tarafına yayılmış veya kısmi kalmış olabilir. Geriye kalan malzemenin dayanımı oldukça düşmüştür. Alaşım elementleri yüzde olarak %70 Cu+ %30 Zn pirinçte çinko seçimli korozyona uğrar (dezincification) ve bakırca daha zengin,

sarı renkten kıızıla dönmüş bir yüzey meydana gelir. Ayrıca gri dökme demirde görülen demirin seçimli korozyonu olan grafitik korozyon da bir seçimli korozyondur. Şekil 5. 8’de pirinç malzemede seçimli korozyon örneği verilmiştir.



Şekil 5. 8 Pirinç malzemede seçimli korozyon [21]

5.3.8 Erozyon Korozyonu

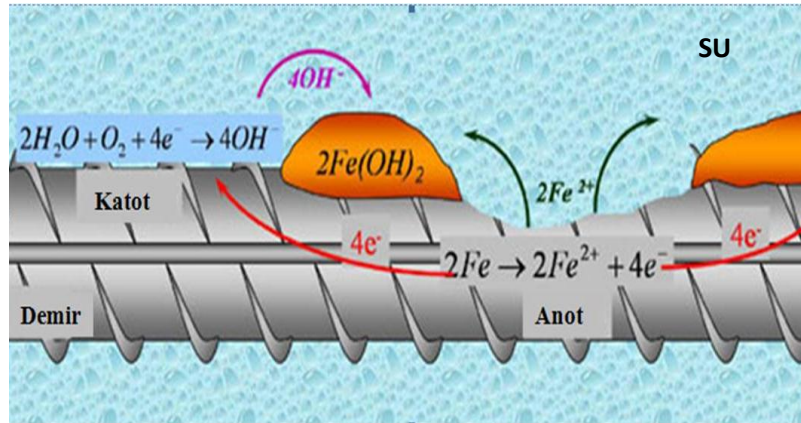
Metal yüzeyi üzerindeki yüksek hızlı, korozif akışkanın türbülansının da etkisiyle mekanik olarak korozyon tahribatının hızlandırılmasıdır. Ortamda katı parçacıkların bulunması erozyon korozyonunu daha da arttırır. Metallerin hepsi erozyon korozyonuna duyarlıdır. Pasif oksit tabakasının yüzeyden kalkmasıyla, çıplak metal yüzeyi korozif akışkana maruz kalır. Eğer pasif tabaka yeterince ve hızlıca kendini yenileyemezse, metal önemli ölçüde tahribata uğrar. Erozyonlu korozyonda metal yüzeyi temiz haldedir, korozyon ürünleri görülmez. Bu korozyon türü daha çok hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda örneğin borular, dirsekler, vanalar, pompalar, pervaneler, eşanjörler, karıştırıcılar vb. görülmektedir. Şekil 5. 9’da erozyon korozyonu örneği verilmiştir.



Şekil 5. 9 Erozyon korozyonu [22]

5.3.9 Betonda Korozyon

Demir ve alaşımlarının doğal olarak korozyona uğrama meyilleri olmasına rağmen, alkali ortamlar (pH 12-13) korozyona karşı koruma sağlarlar. Yüksek pH değerlerinde, ince bir oksit tabakası (pasifleşme) demir üzerinde oluşur, demirin korozyona uğramasını ve çözünmesini engeller. Oluşan bu oksit tabakası gerçekte korozyonu durdurmaz, ancak korozyon hızını önemli ölçüde düşürür. Bu oksit tabakasının tahribatı, ortamın alkalinite değerinin düşmesi veya klor konsantrasyonunun betonun içinde belli değerlere gelmesiyle başlayabilir. Betonda korozyonun en önemli sebebi demirin klor iyonlarına maruz kalmasıdır. Su içinde çözülmüş olan klor iyonları beton içerisine nüfuz edebilmekte veya yüzeydeki çatlaklar nedeniyle beton içerisine girebilmektedir. Beton harcının kendi içinde de klor bulunabilir. Klorun neden olduğu korozyonun mekanizması tam anlamıyla anlaşılamamıştır, ancak en popüler olan teori; klorun diğer iyonlara göre koruyucu oksit tabakasına kolayca nüfuz edip, onu tahrip etmesidir. Şekil 5. 10'da betonda korozyonun oluşum simülasyonu verilmiştir.



Şekil 5. 10 Betonda korozyon [23]

5.4 Korozyon Ortam Tipleri

Korozyon ortam tipleri genel anlamda üçe ayrılabilir. Bunlar;

- Atmosferik ortam
- Su ve sualtı ortamı
- Toprakaltı ortamı

Korozyon ortamlarının genel bir izahatı aşağıda verilmiştir.

5.4.1 Atmosferik Ortam

Atmosferik ortam; havanın oksijeninin, hava içindeki kirliliklerin, nemin, endüstriyel atık gazların ve tozların malzemeler üzerinde korozif bir ortam oluşturarak neden olduğu korozyona denir. Atmosferik ortamdaki korozyon bir elektrokimyasal korozyondur ve sürekli olarak metaller oksijenin ve nemin tehdidi altındadır. Atmosferik korozyon, metaller üzerinde en yaygın olan korozyon tipidir. Metallerde korozyona neden olan atmosferik parametreler; yüksek sıcaklık ve sıcaklık farkları, nem oranı, yağmur ve kar yağış miktarları, denize uzaklık veya yakınlık, rüzgar hızı ve endüstriyel kirlilikler olan; klor, oksijen, karbon dioksit, sülfür dioksit, azot oksitler, organik asitler gibi havada bulunan gazların miktarıdır. Doğal gaz boru hatları ve tesisleri atmosferik korozyonun şiddetine göre dört çeşit atmosferik ortama maruz kalmaktadır. Bunlar; Kırsal ortam, kentsel ortam, endüstriyel ortam ve deniz ortamıdır. Bu ortamların tanımı aşağıdaki gibi yapılabilir.

5.4.1.1 Kırsal Ortam

Bu ortam normal olarak kimyasal kirleticiler içermez ve korozyon tehlikesi en az olanıdır. Korozif etmenlere örnek olarak nem, oksijen ve çok az miktarda da karbondioksit sayılabilir. Şekil 5. 11’de kırsal ortama örnek verilmiştir.



Şekil 5. 11 Kırsal ortam

5.4.1.2 Kentsel Ortam

Az miktarda endüstriyel aktivitenin dışında kırsal ortam ile benzerdir. İlave kimyasal kirleticiler; araçlardan gelen egzoz gazları ve evsel tip yakıtlardan gelen sülfüroksitler ve

azotoksitlerdir. Şekil 5. 12'de Kentsel ortamda fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliği örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5. 12 Fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliği

5.4.1.3 Endüstriyel Ortam

Endüstriyel ortam atmosferi, ağır sanayinin atık gazları olan kükürt oksitleri, karbon oksitleri, klorları, fosfatları ve nitratları yoğun bir şekilde içerir. Şekil 5. 13'de endüstriyel ortama örnek olarak petrokimya tesisleri verilmiştir.



Şekil 5. 13 Petrokimya tesisleri

5.4.1.4 Deniz Ortamı

Deniz suyu, içerdiği deniz tuzları nedeniyle mükemmel bir elektrolittir ve son derece koroziftir. Rüzgarlar, denizden taşıdıkları klor parçacıklarını malzeme yüzeyinde biriktirirler. Bu ortamda meydana gelecek olan korozyonun hızı önemli ölçüde rüzgarın hızına, yönüne ve kıyıya olan uzaklığa bağlıdır.

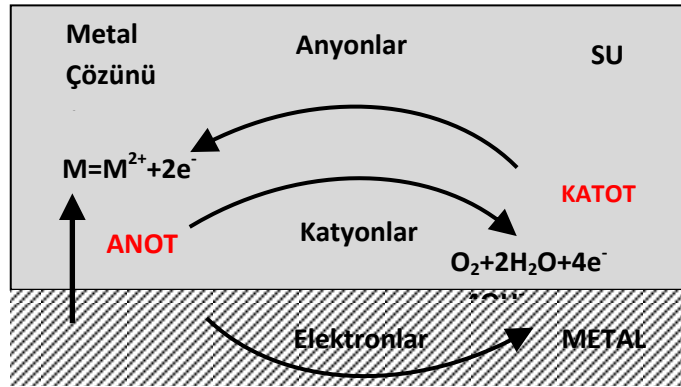
Deniz ortamına bir örnek Şekil 5. 14'te verilmiştir.



Şekil 5. 14 Deniz ortamı

5.4.2 Su ve Sualtı Ortamı

Sudaki korozyon; elektrokimyasal bir korozyondur. Elektrokimyasal korozyonun meydana gelebilmesi için bir anot, bir katot, elektriksel bir devre ve iyonik iletken olan elektrolite ihtiyaç vardır. Anodik reaksiyonda metal çözünür ve M^{2+} iyonları çözeltiliye taşınır. Anodik reaksiyon sonucu serbest kalan elektronlar metal iletkenliği sayesinde katoda gider ve katodik reaksiyonda tüketilir. Katodik reaksiyon sonucu oksijen ise redüklenir. İçerisine su dolan doğal gaz vana odalarında bu durum görülmektedir. Şekil 5. 15 sudaki korozyonun simülasyonu verilmiştir.



Şekil 5. 15 Suda korozyon

5.4.2.1 Gibbs Serbest Enerjisi ve Kimyasal Reaksiyonun Yönü

Gibbs serbest enerjisi, kimyasal bir reaksiyonun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini veyahut reaksiyonun yönünün ne olacağını kesin olarak belirler. Gibbs serbest enerjisinin formülü:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \text{ dir. Burada} \quad (6.1)$$

ΔG = Reaksiyonun serbest enerjisi, kj

ΔH = Entalpiddeki değişim, kj

T= Sıcaklık, kelvin

ΔS = Entropideki değişim, kj.K⁻¹

Şayet

$\Delta G < 0$ ise reaksiyon doğal olarak sağa yürür

$\Delta G > 0$ ise reaksiyon doğal olarak sağa yürümez

$\Delta G = 0$ ise denge vardır denir. Reaksiyonun sağa ve sola gitme eğilimi eşittir.

Gibbs serbest enerjisinin standart hali ise T= 25 °C, P= 1atm, Derişim= 1 Molar

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (6.2)$$

$$\Delta G^0 = \sum \Delta G^0_{\text{ürünler}} - \sum \Delta G^0_{\text{reaktantlar}} \quad (6.3)$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln Q \text{ burada;} \quad (6.4)$$

ΔG = Reaksiyonun serbest enerjisi

ΔG^0 = Reaksiyonun standart serbest enerjisi

R= İdeal gaz sabiti, 8,314 j/mol-k

T= Sıcaklık, Kelvin

Q= Reaksiyonun denge sabiti

Denge halinde $\Delta G = 0$ olacağından;

$$\Delta G^0 = -RT \ln Q \text{ olacaktır.} \quad (6.5)$$

$$\Delta G = -nFE_{\text{hücre}} \text{ olduğundan} \quad (6.6)$$

$$-nFE_{\text{hücre}} = -nFE^0_{\text{hücre}} + RT \ln Q \quad (6.7)$$

$$E_{\text{hücre}} = E_{\text{hücre}}^0 - (RT/nF) \ln Q \quad \text{Nerst denklemini elde edilir.} \quad (6.8)$$

$$\Delta G = \Delta G_{\text{anot}} + \Delta G_{\text{katot}} \quad (6.9)$$

Yukarıdaki formülle ΔG 'nin sayısal değerine bakarak metallerin sulu çözeltiler içerisinde korozyona uğrayıp uğramayacağı kolaylıkla söylenebilir.

5.4.2.2 Elektrokimyasal Potansiyel- pH Diyagramları (Pourbaix)

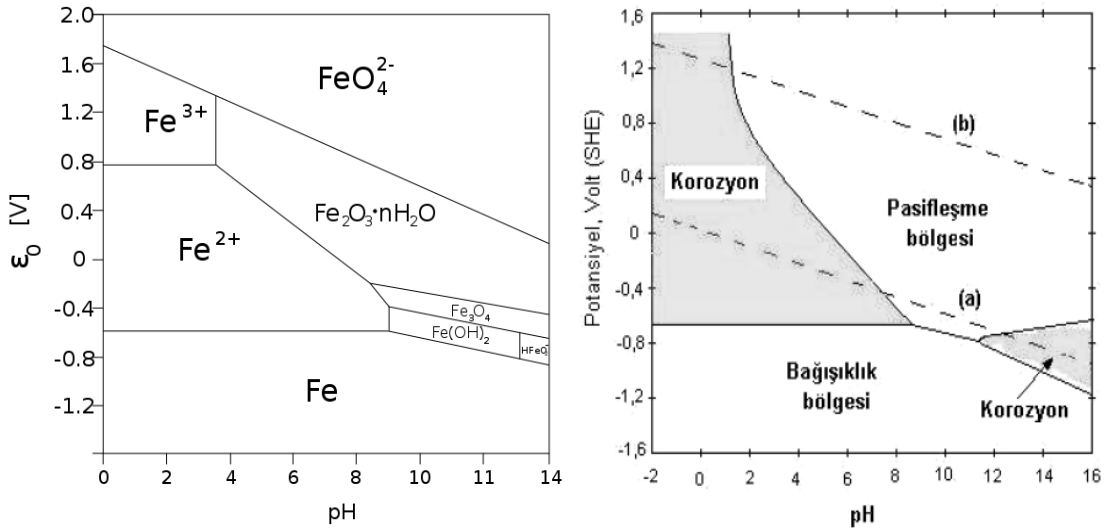
Bir metalin elektrot potansiyeli ile içine daldırılmış olduğu sulu çözeltinin pH değerine göre termodinamik verilerden yararlanılarak çizilen diyagramlardır. Bu diyagramlarla metalin ve korozyon sonucu oluşan bileşiklerin kararlı olduğu haritalar çıkarılır.

Demirin su içinde çözünen iyonları ve katı haldeki korozyon ürünleri şunlardır:

İyonlar: Fe^{+2} , Fe^{+3} , HFeO_2^- , FeO_4^{2-}

Katı oksitler: FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Şekil 5. 16'da Sulu ortamda demir için Potansiyel-pH (Pourbaix) diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 5. 16 Sulu ortamda demir için Potansiyel-pH (Pourbaix) diyagramları [24]

Potansiyel-pH (Pourbaix) diyagramlarından korozyon bölgesi, bağışıklık bölgesi, pasiflik bölgesi kolaylıkla görülebilmektedir.

5.4.3 Toprak Altı Ortamı

Toprak; kayaların ve organik maddelerin yüzyıllar boyunca çeşitli tektonik ve kuvvetli yer hareketleriyle parçalanıp ayrılmasıyla meydana gelmiş, içinde geniş bir canlılar alemini barındıran ve bitkilere yatak vazifesi görmesinin yanında, su ve besin maddesi sağlayan jeolojik bir yapıdır. Toprak oluşumuna hizmet eden kimyasal olaylar; oksidasyon, redüksiyon, hidroliz, hidrasyon-dehidrasyon, karbonatlaşma ve çözünme olarak sıralanabilir. Toprağın katı kısmı, kum, silt ve kil denilen farklı büyüklükteki parçalardan oluşmuştur. Kumlu topraklar bünyelerinde yüksek oranda kum ihtiva ederler. Suyu kolayca geçirirler, havalanmaları iyidir, çabuk ısınırlar. Geçirgenlikleri fazla olduğundan suyu fazla tutamazlar. Killi topraklar; mineraller açısından oldukça zengin topraklardır. Fazla geçirgen olmadıklarından geç ısınırlar ve suyu geç çektiklerinden mineralleri tutarlar. Siltli topraklar mineral ve organik parçacıklardan oluşmuştur. Suyu bünyelerinde tutma kapasiteleri yüksektir.

Toprakta korozyon hızını etkileyen birçok değişken vardır. Bunlar;

- Suyun etkisi
- Oksijen içeriğinin etkisi (havalandırma derecesi)
- Ortamın pH değerinin etkisi
- Toprak rezistivitesinin etkisi (elektrik özgül direnci)
- Redoks potansiyelinin etkisi
- Sıcaklığın etkisi
- Nemin etkisi
- Klor içeriği düzeyinin etkisi
- Sülfat içeriği düzeyinin etkisi
- Bakteri ve mikroorganizmaların etkisi
- Kaçak akımların etkisi

- Enterferans akımların etkisi
- Kombine etki

5.4.3.1 Suyun Etkisi

Korozyonun meydana gelebilmesi için iletken bir ortama ihtiyaç vardır. Damıtık su iyi bir iletken olmadığı için korozyon meydana gelmez. Su içindeki iyon miktarı konsantrasyonu arttıkça yani iletkenlik arttıkça korozyon hızı da artacaktır. Özellikle kükürt içeriği fazla olan sularda korozyon hızlanır. Sıvı haldeki iyonik olan su, elektrokimyasal korozyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi için ihtiyacı olan elektrolit görevini görür.

5.4.3.2 Oksijen İçeriğinin Etkisi (Havalandırma Derecesi)

Oksijence fakir olan yerlerde bulunan metalik malzemeler, oksijence zengin olan yerlerde bulunan metalik malzemelere göre daha anodiktirler. Oksijen konsantrasyonunun farklılığı, potansiyel farkı meydana getirerek bir elektron akımı meydana getirecektir. Toprakta derinlere inildikçe oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Nötr veya alkali ortamlarda, katodik reaksiyonda oksijen redüklendiği için, oksijen konsantrasyonunun korozyon hızına olan etkisi büyüktür. Diğer taraftan anaerobik ortamlarda bile sülfat redükleyici bakterilerin korozyon hızına olan etkisi büyük olabilmektedir.

5.4.3.3 Ortamın pH Değerinin Etkisi

Toprağın pH aralığı genellikle 5 ila 8 arasındadır. Bu aralıktaki pH değerinin korozyon hızı üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Asidik karakterli topraklar; çelik, dökme demir ve çinko kaplamalar üzerinde ciddi korozyon problemlerine neden olmaktadır. Toprağın düşük pH değeri; karbonik asit, minerallerin liçi, endüstriyel atıklar, asit yağmurları ve mikrobiyolojik organizmaların aktiviteleri sonucunda meydana gelmektedirler. Alkali topraklar; yüksek miktarlarda, sodyum, potasyum, magnezyum ve kalsiyum içerirler. Alkali toprakların pH aralığı 8.5-10 arasındadır. Şekil 5. 17 çözeltili pH değerinin korozyon hızına olan etkisi verilmiştir. Şekilde korozyon hızının en aza indiği bir pH aralığı görülmektedir.



Şekil 5. 17 Çözelti pH değerinin korozyon hızına olan etkisi [25]

5.4.3.4 Toprak Elektrik Özgül Direncinin Etkisi (Rezistivite)

Korozyonun meydana gelebilmesi için iletken bir ortama ihtiyaç vardır. Toprak elektrolit vazifesi göreceğinden iyon göçünün engellenmesi korozyon hızını yavaşlatacaktır. Diğer bir deyişle, toprak elektrik özgül direncinin azalmasıyla birlikte korozyon hızı da ters orantılı olarak artacaktır. Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi toprak elektrik özgül direncinin korozyon hızına olan etkisi büyüktür.

Çizelge 5. 1 Toprak zeminin özgül direnci ve koroziflik durumu

Toprak Elektrik Özgül Direnci (ρ) ohm.cm	Zemin Koroziflik Durumu
$\rho < 1000$	Oldukça çok korozif
$1000 < \rho < 3000$	Çok korozif
$3000 < \rho < 5000$	korozif
$5000 < \rho < 10000$	Orta korozif
$10000 < \rho < 20000$	Az korozif
$20000 < \rho$	Korozyon yok

5.4.3.5 Redoks Potansiyelinin Etkisi

Redoks potansiyeli toprağın havalandırılma derecesiyle doğrudan orantılıdır. Yüksek oksijen seviyesi, yüksek redoks potansiyeli tehlikesi demektir. Düşük redoks değerleri ise anaerob mikrobiyolojik korozyon aktivitesini destekler.

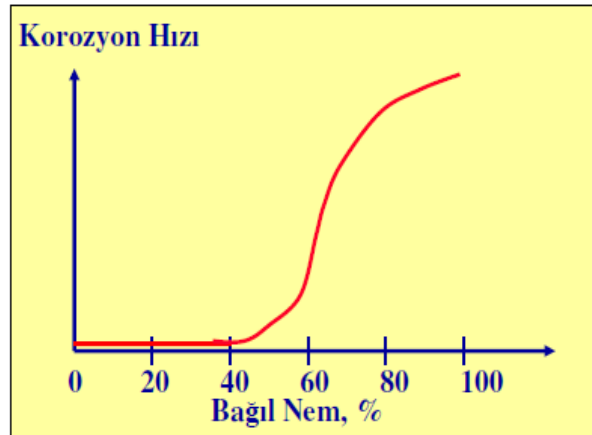
5.4.3.6 Sıcaklığın Etkisi

Difüzyon hızları sıcaklıkla artacağı için, yüksek sıcaklıklarda metallerin korozyon hızı, düşük sıcaklıklardaki korozyon hızından fazladır. Yüksek sıcaklıklarda, O₂ konsantrasyonu azalmaktadır.

5.4.3.7 Nemin Etkisi

Nem havadaki su miktarıdır. Her sıcaklıkta buharlaşma gerçekleşir. Korozyon hızı, nemden büyük ölçüde etkilenir. Yüksek nem, su buharı moleküllerinden oluşan ince bir katmanın metal yüzeyine yerleşmesini ve korozyon oluşumu için elektrolit görevi görmesini sağlamaktadır. Nemin çok düşük değerlerde olduğu ve korozyonun görülmediği tek ortam çöl ortamıdır [26].

Şekil 5. 18 Bağıl nemin korozyon hızına olan etkisi verilmiştir.



Şekil 5. 18 Bağıl nemin korozyon hızına olan etkisi [27]

5.4.3.8 Klor İçeriği Düzeyinin Etkisi

Ortamda bulunan bazı tip iyonlar diğerlerinden daha fazla koroziftir. Klor iyonları, sülfat ve sülfür iyonları büyük problemdir. Klor iyonları, korozyon sonucu oluşan ve koruyucu özelliği olan yüzeydeki pas tabakasını tahrip eder. Klor iyonları, metalin anodik çözünme reaksiyonlarında direkt yer alır. Toprakta mevcudiyeti halinde toprak resistivitesini düşürür. Klor toprakta jeolojik nedenlerden dolayı doğal olarak bulunabilir veya karlı havalarda yollarda yapılan tuzlama nedeniyle klor toprağa geçebilir. Doğal gaz vana odaları da özellikle kış aylarında klorlu sular ile dolabilmektedir.

5.4.3.9 Sülfat İçeriği Düzeyinin Etkisi

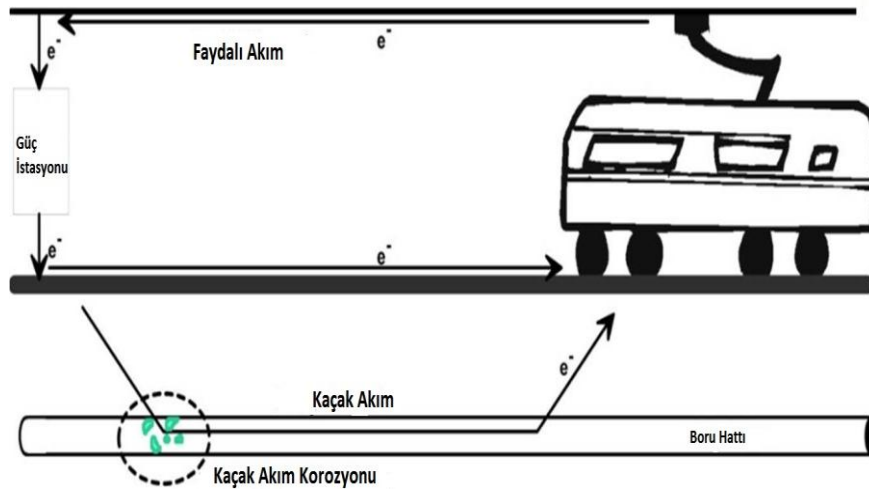
Sülfatın metalik malzemelere olan korozif etkisi, klora göre daha azdır. Bununla birlikte ortamda bulunması halinde anaerob sülfat redükleyici bakteriler sülfatları oldukça korozif olan sülfütlere dönüştürürler.

5.4.3.10 Bakteri ve Mikroorganizmaların Etkisi

Toprakta bulunan bakteriler, mantarlar ve diğer mikroorganizmalar korozyon oluşumunda ve gelişiminde önemli rol oynayabilirler. Birçok metal ve alaşımları mikrobiyolojik korozyona oldukça duyarlıdır. Mikroorganizmaların oluşturduğu korozyonun, metaller üzerine olan korozyon zararlarının yaklaşık % 20'sini oluşturduğu tahmin edilmektedir. Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı bir yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir.

5.4.3.11 Kaçak Akımların Etkisi

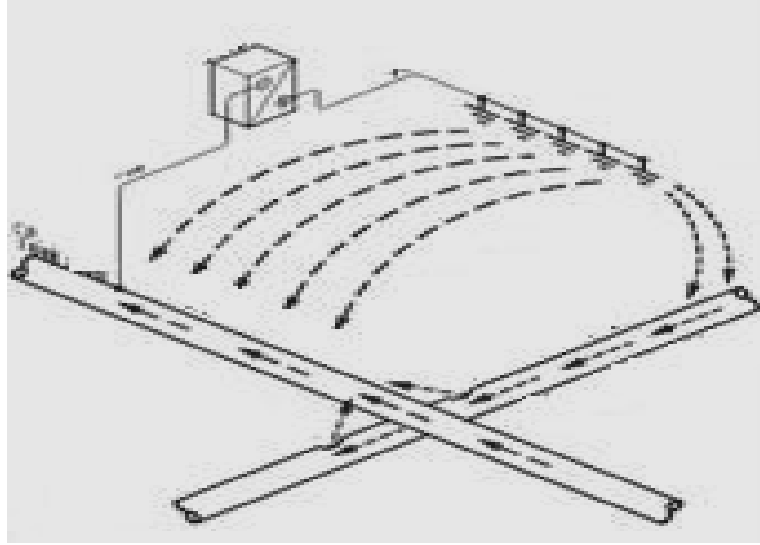
Toprak zemin içerisinde doğru akımla çalışan tramvay ve metro gibi raylı taşıtların zemin içine kaçak akımları metalik yapılarda, yer altı borularında çok hızlı ve şiddetli korozyona neden olur [28]. Metaller, zeminden daha iletken oldukları için, kaçak akımlar, boru hattına girmeyi tercih ederler. Akımın boru hattına girdiği bölge katot olur, burada korozyon meydana gelmez. Korozyon, kaçak akımın boruyu terk ettiği yerde meydana gelir. Şekil 5. 19'da toprak zemin içinde kaçak akıma örnek verilmiştir.



Şekil 5. 19 Toprak zemin içinde kaçak akımlar [29]

5.4.3.12 Enterferans Akımların Etkisi

Katodik korumayla korunmuş olan borular, zemin içinde yeterince yakın bir şekilde birbirleriyle kesişerek veya yan yana paralel olarak giderlerse enterferans akımlar boruya girerek daha az negatif koruma potansiyeli altında olan boruyu anot yaparak korozyonuna neden olabilirler. DC enterferans akımların neden olduğu korozyonun hızı oldukça yüksektir. Şekil 5. 20’da toprak zemin içinde enterferans akıma örnek verilmiştir.



Şekil 5. 20 Toprak zemin içinde enterferans akımlar [30]

5.5 Korozyondan Korunma Metotları

Korozyondan korunma metotları başlıca beş gruba ayrılabilir:

- Tasarım
- Malzeme seçimi
- Kaplama ve boyama
- İnhibitör kullanımı
- Katodik koruma

5.5.1 Tasarım

Bir proje, daha tasarım aşamasında iken korozyon kontrolü göz önünde bulundurulmalıdır. Korozyonu önlemek veya zararlı etkilerini en aza indirmek için,

alınacak tedbirler, aşağıda verilen şekilde özetlenebilir [31];

1. Durgun haldeki su birikintilerinden ve kirliliklerin toplandığı yerlerden kaçınılmalıdır.
2. Ölü köşeler ve keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Özellikle dar aralıklar, aralık korozyonuna neden olurlar. Perçinli, flanşlı imalatlar yerine kaynaklı imalatlar tercih edilmelidir.
3. Rutubetli ve nemli ortamların oluşumundan kaçınılmalıdır.
4. Yüzeyle kolaylıkla temizlenebilir ve boyanabilir olmalıdır. Periyodik bakımları yapılabilmelidir.
5. Galvanik çift oluşturabilecek iki farklı metalin teması önlenmelidir. Eğer bu yapılamıyorsa, plastik veya kauçuk kullanarak metal malzemelerin teması engellenmelidir.
6. Korozyona uğraması muhtemel parçalar servis dışı kalmayacak, kolayca değiştirilecek şekilde yapılmalıdır.
7. Kaplamanın etkinliğini engelleyecek veya zorlaştıracak geometrilerden kaçınılmalıdır.

Şekil 5. 21'de proje aşamasında alınması gereken tedbire örnek olarak flanşta galvanik çift oluşturmuş saplama ve somun verilmiştir.



Şekil 5. 21 Flanşta galvanik çift oluşturmuş saplama ve somun

5.5.2 Malzeme Seçimi

Doğru malzeme seçimindeki amaç; var olan işletme koşulları altında sorunsuz çalışabilecek en uygun, en ekonomik ve olabildiğince en uzun ömürlü malzemeyi seçmektir. Malzeme seçiminde; mukavemet, süneklik, fiziksel özellikler, ulaşılabilirlik, fiyat gibi özelliklerinin yanında, malzemelerin korozyona olan mukavemetleri de çok önemlidir. Korozyon türleri içerisinde en tehlikelisi pitting korozyonudur. Bu korozyon tipi çok kısa zaman içerisinde malzemede derin kraterler açarak malzemenin delinmesine yol açar. Klor içeren ortamlarda östenitik paslanmaz çeliklerin gerilimli korozyonla çatladıkları görülür. Korozyon farklı ortamlarda, farklı hızlarda gerçekleşebilir. Bu ortamlar içerisinde en önemli korozyon ortamlarından biri de deniz suyudur. Yüksek tuzluluk, deniz suyunun iletkenliğini artırarak korozyonun hızlanmasına neden olmaktadır. Perçinli ve civatalı bağlantılar, aralık korozyonu için elverişli dar bölgeleri oluştururlar. Aralık korozyonunun önlenmesi işi, birinci derecede tasarım sorunu olup, burada malzeme seçimi ikinci planda kalır. Bu nedenle aralık korozyon oluşumunun beklendiği koşullarda kullanılmamaları, bunun yerine kaynaklı imalata öncelik verilmesi daha iyi olacaktır. Bir metal bütün ortamlarda kullanılamaz. Örneğin tantal, hidroklorik asite dayanıklı iken, kostiğe karşı son derece dayanıksızdır. Metalik malzemelerde görülen korozyon tipleri ve korozyon ürünleri Çizelge 5. 2 de verilmiştir [32].

Çizelge 5. 2 Metalik malzemelerde görülen korozyon tipleri ve korozyon ürünleri [32].

Alaşımlar	Korozyon Tipi
Magnezyum Alaşımları	Farklı bir metal ile temasta galvanik korozyona büyük eğilim. Asidik ortamlarda hızlı korozyon.
Düşük Alaşımlı Çelikler	Genel korozyon, pitting.
Alüminyum Alaşımları	Klor içeren çözeltilerde pitting korozyonu, taneler arası korozyon.

Titanyum Alaşımları	Korozyona karşı dayanımı çok iyidir. Yüzeyinde ince bir TiO ₂ tabakası oluşturarak çok iyi korozyon direnci sağlar.
Kadmiyum Alaşımları	Genel korozyon.
Nikel bazlı alaşımlar (inkonel, Monel)	Pitting ve aralık korozyona karşı yüksek dayanım. Hidroklorik asit, nitrik asite dayanıklı.
Paslanmaz elikler (300 ve 400 serisi)	Taneler arası korozyon, deniz ortamında pitting korozyonu, gerilmeli korozyon atlamaşı.
Bakır Bazlı Alaşımlar, Pirinç, Bronz	Seçimli korozyon, Galvanik korozyon, pitting korozyonu, erozyon korozyonu.
Krom (Kaplama)	Pitting korozyonu.

Doğal gaz dağıtım hatlarında olası korozyon tehdi nedeniyle özellikle bina kutu bağlantılarında ve düşük başınlarda (4 Bar) elik boruların yerine, korozyon dirençlerinin yüksek oluşu nedeniyle polietilen borular kullanılmaktadır. Polietilen borular; hafif, esnek, ekonomik, elektro füzyon kaynaklı bağlantı imkânları kolay, taşınması ve montajı oldukça kolay olan borulardır. Darbe dayanımı ve çatlak ilerleme dirençleri yüksektir [33]. Polietilen borular, yüksek yoğunluklu, orta yoğunluklu ve düşük yoğunluklu olmak üzere imal edilirler. Polietilen borular, şebeke tasarımımda dikkate alınması gereken şebeke ömrü ile ilgili olarak şebeke başıncına göre 50 ila 100 yıl gibi zaman aralıklarında kullanılabilir. Doğal gaz sektöründe kullanılan polietilen borular sarı renkte imal edilmektedir.

Polietilen boruların dezavantajları da vardır. Polietilen borular, güneşin morötesi ışınlarından etkilenerek yapıları bozulup, gevrekleşebilirler, dolayısıyla mekanik özellikleri kötüleşir. Polietilen borular; kuvvetli asitlere, deterjanlara, halojenlere ve kimyasal maddelere karşı oldukça duyarlıdır. Kullanım başıncıları çok yüksek olamamaktadır. Genellikle bir doğal gaz şebekesinde, 50 yıllık ekonomik ömür için en fazla 4 barlık bir işletme başıncı öngörülür. Ayrıca; ateşe ve sıcaklığa karşı mukavemetleri yoktur. Kangal haldeki polietilen doğal gaz boru rneği şekil 5. 22’de verilmiştir.



Şekil 5. 22 Polietilen doğal gaz borusu

5.5.3 Kaplama ve Boyama

Üç tip kaplama vardır. Organik kaplamalar, inorganik kaplamalar ve metalik kaplamalar. Boru hatlarında organik kaplamalar, korozyondan korunmada en yaygın olarak kullanılmakta olan araçlardır. Polietilen kaplama, bitüm kaplama ve epoksi kaplama organik kaplamalara örnek olarak verilebilir. Organik kaplamaların başlıca kullanılma amacı, korozyon ortamından korozyona uğrayacak malzemenin irtibatını kesmektir. Kaplamalar, korozyona karşı, % 100 koruma sağlayamazlar. Kaplama üzerinde lokal olarak oluşacak mekanik kaplama hasarları galvanik etki oluşturacağından malzemenin hızla korozyona uğrayıp tahribatına neden olacaktır. Bu durumda ilave koruma tedbirleri almak kaçınılmazdır. Boru hatlarında korozyondan korunma amaçlı olarak kaplama ve katodik koruma kombinasyonu %100 etkin koruma sağlamaktadır. Şekil 5. 23'te polietilen kaplı doğal gaz çelik boruları örneği verilmiştir.



Şekil 5. 23 Polietilen kaplı doğalgaz çelik boruları

Boru hatlarında dış korozyondan korunma amaçlı kullanılan polietilen kaplamalarda aranan özellikler şunlar olmalıdır:

- Kaplamalar, su veya nem filminin araya girmesini engelleyecek şekilde metal boru yüzeyine yeterince yapışmalıdır. (Cathodic Bondment)
- Yüzeyde oluşacak gevrek çatlamalara karşı yeterince sünek olmalıdır.
- Mekanik darbelere ve çizilmelere karşı dirençli olmalıdır.
- Kimyasal dayanımı yüksek olmalıdır.
- Soyulma dayanımı yüksek olmalıdır.
- Uzun ömürlü olmalıdır.
- Mevcut olan katodik korumayı desteklemelidir. (Cathodic Shielding)
- Kaplamaların, nem tutuculuğu düşük, elektriksel direnci ise yüksek olmalıdır.

Çelik boruların kaynaklı imalat sonrası metalik kısımlarının korozyondan korunma amaçlı olarak sıcak sargı (heat shrink) uygulamasıyla kaplanması gerekmektedir. Sıcak sargılar; çelik boru ve polietilen kaplamalar üzerine mükemmel yapışma (adezyon) gösterirler [34]. Şekil 5. 24’de sahada imalat sonrası şalamo aleviyle boruda sıcak sargı uygulaması görülmektedir.



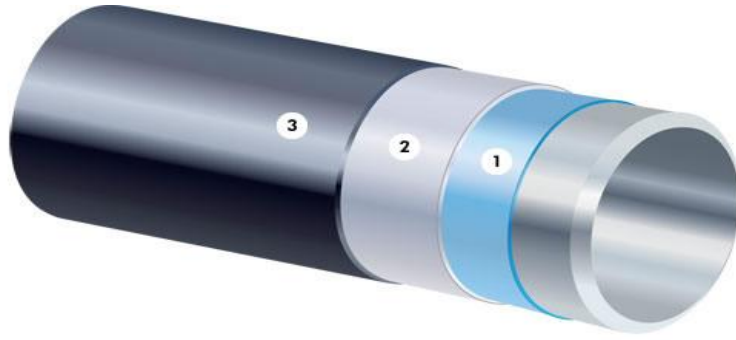
Şekil 5. 24 Doğalgaz çelik borularının kaynak yerlerine sıcak sargı uygulaması

Polietilen kaplamalar boru üzerine üç aşamalı olarak uygulanır. Bunlar;

1. Epoksi

2. Yapıştırıcı
3. Polietilen'dir.

Yapışkanlığı sağlamak amaçlı kaplama öncesi yüzey temizliği çok önemlidir. Boru yüzey temizliği, kumlama yöntemi ile yapılmaktadır. Genellikle ilk kat 100-200 mikron kalınlığında füzyon bond epoksidir. Polietilen ile epoksiyi birbirine yapıştırmak amaçlı 250-350 mikron kalınlığında yapıştırıcı bir kat uygulanır. Son kat 2-4 mm kalınlığında polietilen kaplamadır. Şekil 5. 25'te doğal gaz borusu PE kaplama katmanları verilmiştir.



Şekil 5. 25 Doğal gaz borusu PE kaplama katmanları [35]

Organik kaplamaların en önemlilerinden biri de boyalardır. Boyalar, pigment adı verilen çok ince parçacıklarla bunları askıda tutan uygun özellikteki taşıyıcıların karışımından oluşur. Boyaya, örtücülük, renk, dayanıklılık ve parlaklık özelliklerini verirler. Uygulandıkları yüzeylerde bir film tabakası oluşturarak fiziksel, kimyasal ve korozif etkilere karşı koruyan, aynı zamanda estetik bir görüntü sağlayan kimyasal bir karışımdır. Eğer boyanın incelticisi su ise bu boyalar su bazlı boyalar, eğer boyanın incelticisi sentetik tiner ise bu boyalar sentetik boya olarak adlandırılır.

Boya uygulamasından önce yüzey hazırlığı ve temizliği çok büyük önem taşır. Yüzey temizliğinin amacı metal yüzeyinde bulunan yağ, kir, oksit ve pas tabakalarının tamamen uzaklaştırılmasıdır. Kirli yüzeylere kesinlikle boya uygulanmamalıdır. Uygulanacak olan boyanın daha uzun ömürlü olması için temizlenmiş, kuru yüzeylere, kuru ve elenmiş, uygun tane iriliğindeki silis kumu veya grit kullanılarak raspa temizliği yapılarak pürüzlendirilmelidir. Yüzeyde istenen pürüzlülük derecesi, kullanılan aşındırıcı maddenin tipine, büyüklüğüne, şekline ve uygulama basıncına bağlıdır. Temizleme ve boyama işleri arasında geçen sürede metal yüzey okside olur veya rutubetlenirse

kesinlikle boya uygulaması yapılmamalıdır. Boya uygulaması -5 °C'nin altında uygulanmaz.

Doğal gaz vana odasında boyama öncesi motorlu fırça ile yapılan temizlik çalışması şekil 5. 26'da verilmiştir.



Şekil 5. 26 Vana odasında boyama öncesi yapılan temizlik çalışmaları

Sıklıkla görülen boya ve kaplama hatalarının başlıcaları aşağıdaki gibi sayılabilir:

1. Yetersiz yüzey hazırlığı nedeniyle kaplama veya boyama hatası: Yüzeyde yapılan yetersiz temizlik, yetersiz veya eksik kumlama nedenleriyle gerekli pürüzsüz yüzey elde edilememektedir.
2. Hatalı kaplama veya boya seçimi: İşletme şartlarına uygun olarak seçilmeyen boya veya kaplama seçimi.
3. Hatalı kaplama veya boya uygulaması: Kaplama uygulama şartnamesinin personel tarafından kaplanacak yüzeye hatalı uygulanması.
4. Hatalı kaplama veya boya kuruma, kürlenme süresi uygulaması.
5. Kaplama veya boyada mekanik hasarlar. Üçüncü şahıslar tarafından kaplama veya boyaya verilen hasarlar.
6. Kaptamada katodik koruma akımı değerinin fazla uygulanması nedeniyle hidrojen gazının neden olduğu yapışma hatası.

Şekil 5. 27’de yeni boyanmış doğal gaz boru ve vanası örneği verilmiştir.



Şekil 5. 27 Yeni boyanmış doğal gaz boru ve vanası

İnorganik kaplamalar; asit, baz gibi kimyasal maddelerin taşınmasında inorganik emaye kaplamalar uygundur. Emaye, esas olarak içinde renkli metal oksitler bulunan silikatlar veya camlardır. İnorganik kaplamalar, ısıya ve aşınmaya karşı organik kaplamalardan çok daha fazla dayanıklıdır. Çok yüksek korozyon dayançları vardır. Ancak sert olmalarına karşın darbeye dayanıklı olmadıklarından kırılabilirler. Onarımı hemen hemen olanaksız olan bu tür kırılabilirlikler korozyona neden olurlar.

5.5.4 İnhibitör Kullanımı

Korozyon inhibitörleri az miktarda ortama eklendiğinde metal ile çevresi arasındaki reaksiyonu kontrol eden, azaltan veya önleyen bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Başlıca inhibitörler dört farklı mekanizmayla korozyonu önlerler. Bunlar:

1. Metal yüzeyine tutunma (adsorpsiyon) ile yüzeyde birkaç molekül kalınlığında film oluşturma.
2. Yüzeyde çökelti oluşturarak yüzeyi kaplama.
3. Metalle reaksiyona girerek korozyona neden olup, oluşan korozyon ürünleriyle yüzeyde pasif film oluşturma.
4. Aşındırıcı iyonların etkisini ortadan kaldırma veya aşındırıcı iyonları ortamdaki uzaklaştırma.

İnhibitörler; anodik inhibitörler, katodik inhibitörler ve oksijen tutucu inhibitörler

olmak üzere üçe ayrılırlar. Anodik inhibitörler; anodik reaksiyonları engelleyerek korozyon hızını düşürürler. Anodik inhibitörler, yüzeyde görünmeyen bir oksit tabakası oluşumuna neden olarak anot potansiyelini arttırlar. Etkin anot alanı azaldığından korozyon hızı da düşer. Kromat, nitrit, nitrat ve fosfatlar birer anodik inhibitörlerdir. Anodik inhibitörlerin bir dezavantajı, şayet düşük konsantrasyonlarda kullanılırsa koruma altında olmayan alanlarda pitting korozyonunu hızlandırabilirler. Katodik inhibitörler; katodik reaksiyonları engelleyerek korozyon hızını düşürürler, yani suyun hidrojen gazı çıkışı olarak redüksiyonunu engellediklerinden korozyon oluşumunu geciktirirler. Katodik inhibitörler bileşiklerin katot bölgesinde çökerek bir bariyer gibi tüm yüzeyde çözünmeyen formasyon oluşturmasını sağlarlar. Çinko oksit, çinko fosfat, kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat birer katodik inhibitörlerdir. Anodik inhibitörler, katodik inhibitörlere göre daha etkindirler, fakat güvenli değildirler. Katodik inhibitörlerin etkinliği azdır fakat güvenlidirler. Hidrazin (N₂H₄); oksijen tutucu ve korozyon inhibitörü olarak vazife görür [36]. Güçlü redükleyicidir. Suda hızla çözünür, sudaki oksijeni hızlı bir şekilde giderir, güçlü toksik etkileri vardır ve kanserojen olduğu düşünülmektedir.

Oksijen ile yaptığı reaksiyon;



5.5.5 Katodik Koruma

Katodik koruma; toprağa gömülmüş veya su altı gibi elektrolit ortamlardaki metalik yapıları, harici anotlar (aktif) ile irtibatlandırarak düşük voltajlı DC elektrik akımı sayesinde metal yüzeyini katot (pasif) yaparak korozyondan koruma yöntemidir. Diğer bir deyişle anodik reaksiyon olan metalin çözünmesini önlemektir. Katodik koruma normal olarak kaplamalarla (coating) birlikte kullanılır ve ikincil korozyon koruma tekniği olarak düşünülür. Birincil korozyon koruma tekniği ise etkinliği % 50 ile % 99 arasında olan kaplamadır. Etkin bir katodik koruma tekniği kaplama ile elde edilen bu korozyon koruma değerini % 100'e yaklaştıracaktır. Katodik korumanın başarı ile kullanıldığı yerler; yer altı akaryakıt ve su depolama tankları, boru hatları, gemi

gövdeleri, iskele ve köprü ayakları, dubalar, betonarme yapılar, offshore platformlar gibi metalik yapılardır.

Katodik koruma iki yolla gerçekleştirilebilir:

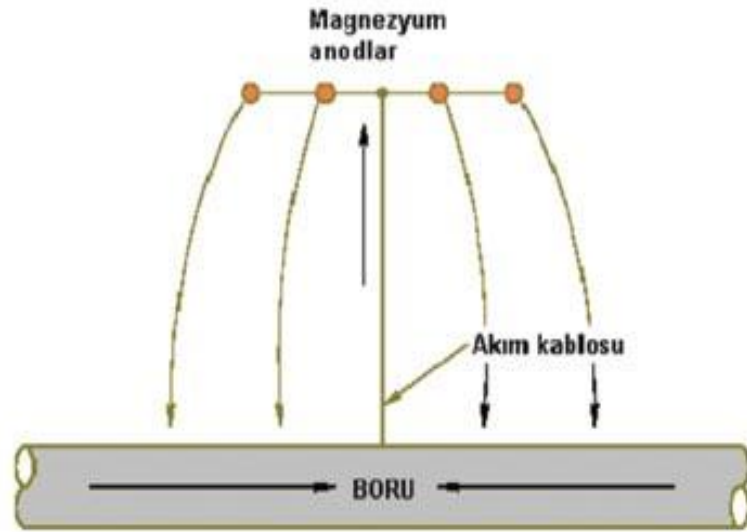
- Galvanik veya kurban (Galvanic or Sacrificial) anotlar ile,
- Dış kaynaklı (Impressed Current) bir DC akım kaynağı ile

5.5.5.1 Galvanik veya Kurban Anotlu Katodik Koruma

Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde korunması istenen metal yapıya kendisinden daha elektro negatif potansiyelde metal (anot) bağlanarak bir galvanik pil oluşturulur. Böylece metal yapı katot haline getirilir. Galvanik anotlar kendiliklerinden çözünerek aynen bir pil gibi akım üretirler. Çizelge 5. 3'de çeşitli metal ve alaşımlarının Cu-CuSO₄ referans elektrotuna göre galvanik serisi çizelgesi verilmiştir [37]. Çizelge 5. 3 Metal ve alaşımlarının Cu-CuSO₄ referans elektrotuna göre galvanik serisi

METAL	POTANSİYEL
Karbon, Grafit	+ 0,3
Platinyum	-0,1
Yüksek Silisli Dökme Demir	-0,2
Bakır, Pirinç, Bronz	-0,2
Betonda Yumuşak Çelik	-0,2
Kurşun	-0,5
Dökme Demir (Grafitik Olmayan)	-0,5
Yumuşak Çelik (Paslı)	-0,2 ile -0,5
Yumuşak Çelik (Temiz)	-0,5 ile -0,8
Saf Alüminyum	-0,8
Alüminyum Alaşımı (% 5 Zn)	-1,05
Saf Çinko	-1,1
Magnezyum Alaşımı (%6 Al, %3 Zn)	-1,6
Saf Magnezyum	-1,75

Pratikte kurban anot olarak sıklıkla çinko, alüminyum ve magnezyum kullanılmaktadır. Kurban anotlar, koruyucu akımları üretirken kendileri bir müddet sonra tükenirler. Tükenme hızı; etkin koruma için gerekli akım ihtiyacı ve anot olarak kullanılacak malzeme cinsine bağlıdır. Örneğin çinko anodun tükenme hızı amper yıl başına 10,70 kg, magnezyum anotta 3,90 kg amper yıldır. Bu metaller, faydalı akım üretirken kendilerinin de korozyona uğrayacağı açıktır. Bu durumda çinko % 90 etkin değerle kullanılırken, magnezyumun etkin değeri % 50 dir. Böylece gerçekte bir amper yıllık koruyucu akım için 11,80 kg çinkoya veya 7,70 kg magnezyuma ihtiyaç duyulacaktır. Şekil 5. 28’de kurban anot ile katodik koruma örneği verilmiştir.



Şekil 5. 28 Kurban anot ile katodik koruma [38]

Galvanik anotlar, elektrolitik ortam (toprak, su vb.) içinde çıplak olarak kullanılmazlar. Üretmiş oldukları doğru akımın toprağa geçişini kolaylaştırmak için bir dolgu maddesi içerisinde bez torba ile torbalanmış olarak kullanılırlar. Böylece anottan çekilebilen akım şiddeti artar [26]. Dolgu maddesi; alçıtaşı (jips), bentonit ve sodyum sülfat karışımından meydana gelmiştir. Bu malzemelerden meydana gelen dolgu maddesi suyu tutucu özelliği olduğundan, devamlı nemli kalır ve anot akımının kolayca toprağa geçmesini sağlar. Galvanik anotların kütle büyüklükleri ve ebatları, gömülecekleri toprağın özgül direnci (rezistivitesi) ile sınırlıdır. Prensipte olarak özgül direnci düşük olan zeminlerde büyük yüzeyli, özgül direnci büyük olan zeminlerde, küçük yüzeyli anotlar kullanılır. Galvanik anot miktarları, korunacak yapının yüzey alanının akım ihtiyacına ve

koruma yılına göre tespit edilir. Galvanik anotların boruya olan montajı ölçü kutuları vasıtasıyla yapılır. Boruya bağlanacak anotlar tekli olarak bağlanacağı gibi, paralel gruplar şeklinde de bağlanabilir. Şekil 5. 29'de çinko kurban anot ile boru hattının katodik koruması verilmiştir.

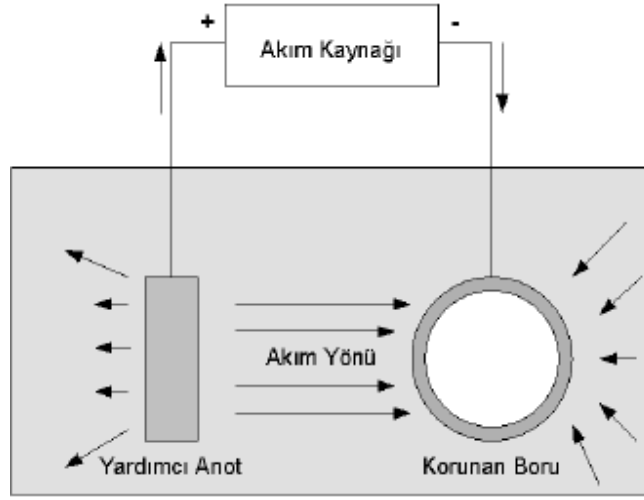


Şekil 5. 29 Kurban anot ile boru hattının katodik koruması [39]

5.5.5.2 Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma

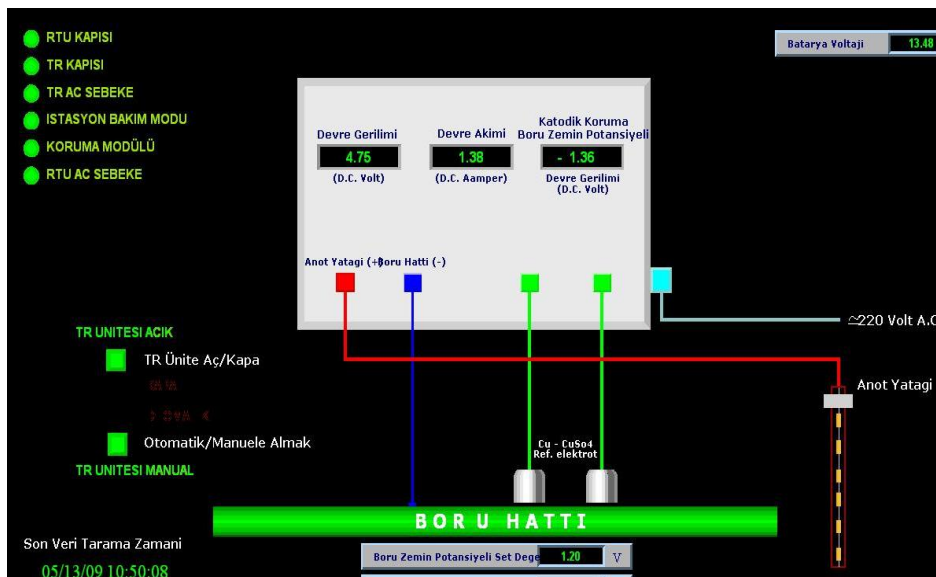
Kurban anotlarla büyük yapıların katodik koruması ekonomik bir şekilde yapılamaz. Devreyi tamamlamak için kurban anot yerine yardımcı anotlar kullanılmaktadır. Bu metotta ihtiyaç duyulan DC akım, alternatif akımı doğru akıma çeviren Trafo/Redresör üniteleri vasıtasıyla elde edilir. Elde edilen doğru akım (-) ucu korunacak olan metale (+) ucu da bir yardımcı anota bağlanır.

Trafo/Redresör üniteleri ile şebekeden alınan trifaze veya monofaze alternatif akım önce bir transformatörden geçirilerek potansiyeli istenilen seviyelere düşürülür ve bir redresörden geçirilerek doğru akım haline dönüştürülür. Dış akım kaynaklı katodik koruma amacıyla kullanılan yardımcı anotlar, kurban anotlara göre daha uzun ömürlüdürler. Bu yardımcı anotlar çözünmeyen anotlar olarak da bilinir. Geçmiş yıllarda demir-silis ve grafit anotlar kullanılmakta iken 1985 yılından itibaren karma metal oksit kaplı titanyum anotlar kullanılmaya başlanmıştır. Performansı yüksek ve hafif olduklarından, montajı kolay anotlardır. Şekil 5. 30'de dış akım kaynaklı katodik koruma simülasyonu verilmiştir.



Şekil 5. 30 Dış akım kaynaklı katodik Koruma [40]

Dış akım kaynaklı sistemde en önemli hususlardan birincisi, anot yatağının tesis edilmesidir. Anot yatakları tesis edilirken önce anot yatağı için uygun yerin olup olmadığı tespit edilir. Anot yatakları iki şekilde tesis edilir. Bunlardan birincisi, anotların yatay veya dikey konumda ve boru hattı derinliğinde yüzeysel olarak tesis edilmesi, ikincisi de derin kuyu şeklinde tesis edilmesidir. Anot yatağı ne şekilde tesis edilirse edilsin, esas olan yardımcı anot yatağından yeterli akımın çekilebilmesidir. Yardımcı anot yatağından akım çekilemediği takdirde anot yatağının direnci çok yüksek demektir. Şekil 5. 31 anlık verilerle uzaktan katodik koruma takibi ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. 31 Anlık verilerle uzaktan katodik koruma takibi

Galvanik ve dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinin birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları Çizelge 5. 4'te karşılaştırılmıştır.

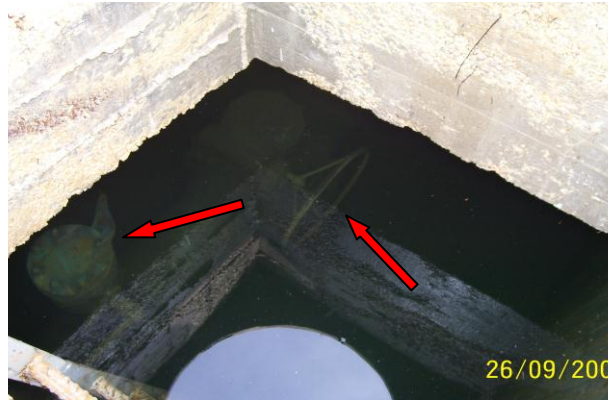
Çizelge 5. 4 Galvanik ve dış akım kaynaklı Katodik koruma amaçlı sistemlerin karşılaştırılması

Galvanik (Kurban Anotlu)	Dış Akım Kaynaklı
Harici bir güç kaynağına ihtiyacı yoktur	Harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır
Voltaj sabittir, ayarlanamaz	Voltaj ayarlanabilir
Akım sabittir, ayarlanamaz	Akım ayarlanabilir
Düşük özgül dirençli zeminlerde kullanılır	Hemen hemen her türlü zeminde kullanılabilir
Küçük yapılarda kullanılır	Herhangi büyüklükteki bir yapıda kullanılabilir
Yatırım masrafı düşüktür	Yatırım masrafı büyüktür
Yüzey alanı başına koruma masrafı büyüktür	Yüzey alanı başına koruma masrafı küçüktür
Bakım masrafı düşüktür	Bakım masrafı yüksektir
Kaçak akıma neden olmaz	Kaçak DC akımları üretebilir

DOĞAL GAZ VANA ODALARINDAKİ KOROZYON GÖZLEMLERİ

6.1 Doğal Gaz Vana Odalarına Su Girişi ve Sebepleri

Doğal gaz vanaları, doğal gaz şebekesinin kontrol altında tutulması ve gerekli durumlarda gaz akışının kesilebilmesi için tesis edilmiş önemli ünitelerdir. Boru hattında olası doğal gaz kaçaklarında vanalar kapatılarak çelik boru hattı gazsızlaştırılır. Vanalar fiziksel veya mekanik darbelere maruz kalmayacağı, yetkisiz kişilerin kolay ulaşamayacağı, görevli personelin ise acil durumlarda kolayca ulaşacağı şekilde olmalıdır. Gaz dağıtım şirketlerinde saha uygulamalarında 8", 10", 12", 14", 16", 20", 24", 28", 30" ve 36" çaplı vanalar, vana odası, sahra tip veya gömülü vana şeklinde muhafaza edilmektedir. Vana odalarına su girişi çeşitli nedenlerden olabilmektedir. Vana odalarında nem ve rutubet de oluşmaktadır. Şekil 6. 1'de su girişi olmuş vana odası verilmiştir.



Şekil 6. 1 Su girişi olmuş vana odası

6.1.1 Menhol (Adam Girişi) ve By-Pass Döküm Kapaklardan Su Girişi

6.1.1.1 Contasız Menhol Kapağı

Döküm kapaklarda, odaya su girişini engelleyecek olan contalar açma-kapama esnasında kapak ağırlığından dolayı ezilerek, zamanla fonksiyonunu yitirebilmekte ya da mevcut olmadığından su girişi olmaktadır. Şekil 6. 2’de contasız menhol kapağı verilmiştir.



Şekil 6. 2 Contasız menhol (Adam Girişi) kapakları

6.1.1.2 Çatlamış Menhol Kapağından Su Girişi

Menhol kapaklarının üretim yöntemi pik döküm olduğu için gevrek kırılmaya ve çatlak oluşturmaya meyillidirler, özellikle trafiğin yoğun olduğu yerlerde üzerlerinden geçen yüksek tonajlı araçlar nedeniyle zamanla çatlamaktadırlar. Şekil 6.3’de çatlak içeren menhol kapağı örneği verilmiştir.



Şekil 6. 3 Çatlamış döküm menhol kapağı

6.1.1.3 Menhol Kapağı Çevre Betonun Dağılması Nedeniyle Su Girişi

Menhol kapaklarının etrafı asfalt veya betonla kaplanmaktadır. Bu kısımlar işçilik hatası, malzeme hatası veya trafiğin yoğun olduğu yerlerde yüksek tonajlı araçların üzerinden geçmesiyle zamanla kırılmakta ve parçalanıp dağılmaktadır. Şekil 6. 4'te yük altında zamanla çevre betonu kırılmış menhol kapağı örneği verilmiştir.



Şekil 6. 4 Çevre betonu Kırılmış menhol kapağı

6.1.1.4 Blow- Down (By-Pass) Kapaklarından Su Girişi

Doğal gaz vana odalarında, boru hattındaki gazın tahliyesi veya basınç dengelemesi amaçlı iki adet Blow-Down mevcuttur. Su girişi açısından menhol kapakları için yazılanlar, bu kapaklar için de geçerlidir. Şekil 6. 5'te Blow- Down kapakları verilmiştir.



Şekil 6. 5 Blow- Down kapakları

6.1.2 Vana Odası Havalandırmalarından Su Girişi

Vana odalarında doğal gaz vanasının dış kaçak yapma olasılığına karşı havalandırma yapılmaktadır. Yağışlı havalarda vana odalarına havalandırma bacasından üç şekilde su girişi olmaktadır.

6.1.2.1 Izgara Tipi Havalandırmalardan Vana Odasına Su Girişi

Vanaların dış kaçak yapması olasılığı nedeniyle gazın dar bir alanda hapsolmesini önlemek ve odada oluşacak rutubeti engellemek amacıyla konulan ızgara tip havalandırmalardan vana odasına yağışlı havalarda su girişi olmaktadır. Şekil 6. 6'da vana odaları için havalandırma amaçlı kullanılan ızgara örneği verilmiştir.



Şekil 6. 6 Havalandırma amaçlı kullanılan ızgaralar

6.1.2.2 Baca Tipi Havalandırmalardan Vana Odasına Su Girişi

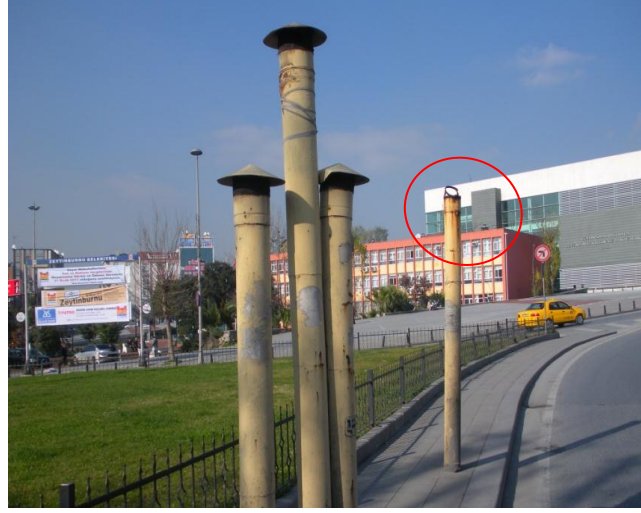
Baca tipi havalandırma boruları çelik borular olup yüzeyden yeraltına girerek vana odasına bağlanmaktadır. Toprak içinde kalan havalandırma boruları zamanla korozyona uğrayarak vana odasına su girişi olmaktadır. Şekil 6. 7'de korozyona uğramış havalandırma borusu örnek verilmiştir.



Şekil 6. 7 (a) Baca tipi havalandırma ve (b) havalandırma borusu içi

6.1.2.3 Havalandırma Bacalarının Eksik Şapkalarından Vana Odasına Su Girişi

Havalandırma bacalarının eksik olabilen şapkaları yağışlı havalarda vana odasına suyun girmesine neden olmaktadır. Şekil 6. 8’de havalandırma bacasının eksik olan şapkası örneği verilmiştir.



Şekil 6. 8 Eksik havalandırma bacası şapkası

6.1.3 Boru Duvar Geçiş Yerinden Vana Odasına Su Girişi

Doğal gaz borusunun vana odası duvarına girdiği yerde yetersiz izolasyon nedeniyle vana odasına su girişi gerçekleşebilmektedir. Çatlak mertebesinde olan sızmalar zamanla büyümektedir. Şekil 6. 9’da doğal gaz borusu duvar geçiş yerinden su girişi örneği verilmiştir.



Şekil 6. 9 Boru duvar geçiş yerinden su girişi

6.1.4 Paslanan Donatıdan Vana Odasına Su Girişi

Vana odaları betonarme yapıda inşa edilmişlerdir. Yeterli pas payı bırakılmamış vana odası donatısı içindeki demirin paslanmasıyla betonu patlatarak zamanla vana odasının bulunduğu ortama bağlı olarak su girişi olabilmektedir. Şekil 6. 10'da vana odası paslanmış demir donatısı örneği verilmiştir.



Şekil 6. 10 Paslanmış vana odası demir donatısı

6.1.5 Vana Odası Zemininden Vana Odasına Su Girişi

Dere yatakları veya yeraltı sularının bulunduğu alanlarda vana odası zemininden su girişi olabilmektedir. Şekil 6. 11'de vana odası zemininden su girişi örneği verilmiştir.



Şekil 6. 11 Zemininden su girişi

6.1.6 Kanalizasyon Suyu Girişli Olmuş Vana Odaları

Doğal gaz vana odalarına yağmur suyu, dere suyunun yanında klor içeren kanalizasyon suları ve asidik, bazik özellikteki sanayi atık suları da girebilmektedir. Bu sebeple doğal gaz vana odalarında korozyon oluşumlarının daha da hızlı olması beklenmektedir. Şekil 6.12 (a) ve (b)'de sırası ile yağmur suyu ve kanalizasyon suyu ile dolmuş vana odası örnekleri verilmiştir.



Şekil 6. 12 (a) Yağmur suyu ile dolmuş vana odası (b) kanalizasyon suyu ile dolmuş vana odası

6. 2 Doğal Gaz Vana Odalarında Uygulama Hataları

6.2.1 Polietilen Kaplama Hataları

Vana odalarında atmosferik ortama açık olan doğal gaz borusu kısmen polietilen kaplama ile kaplı olabilmektedir. Zamanla polietilen kaplama, termal genişlemesi farklı olan borudan sıyrılmaktadır. Su alan vana odalarında buraları, su ve çamur ile dolmaktadır. Bu yer, kaplama altı korozyonu için çok uygun bir ortamdır. Şekil 6. 13'de polietilen kaplama altı korozyonu örneği verilmiştir.



Şekil 6. 13 Kaplama altı korozyonu

6.2.2 Doğal Gaz Vanası Altına Yerleştirilmiş Metal Destekler

Destek amaçlı doğal gaz vanaları altlarına yerleştirilen metalik destekler birbirlerine kaynatılmadığı için boşluklarda su, kirlilik, çamur birikebilmekte ve yosun oluşabilmektedir. Bu durum aralık korozyonuna neden olmaktadır. Şekil 6. 14’de aralık korozyonu meydana gelmiş metal destekli doğal gaz vanası örneği verilmiştir.



Şekil 6. 14 Metal destekli doğal gaz vanası

6.2.3 Yeterli Yüzey Temizliği Yapılmadan Boyanmış Doğal Gaz Vanaları

Doğal gaz vana odalarında korozyona karşı metalik yüzeyleri korumak amaçlı belli periyotlarda boyama yapılmaktadır. Ancak vanada ve boruda, yetersiz kumlama ve yüzey temizliği yapılmadan uygulanan boyalar korozyona karşı koruma yapmayarak kaplama altı korozyonuna neden olabilmektedir. Şekil 6. 15’te kaplama (boya) altı korozyonuna örnek verilmiştir.



Şekil 6. 15 Kaplama (boya) altı korozyonu

6.2.4 Periyodik Boya Bakımı Gecikmiş Doğal Gaz Vanaları

Doğal gaz vana odalarına su girişi nedeniyle su altında kalan alanlarda boya ile kaplanan alanlar zamanla kabarıp (Blistering paint) şişmekte ve korozyona karşı koruma özelliğini yitirmektedir. Şekil 6. 16'da korozyona karşı koruma amaçlı yapılan boyanın zamanla kabarmasına örnek verilmiştir.



Şekil 6. 16 Boyanın kabarcıklaşıp sıvı ile dolması

6.2.5 Polietilen Kaplama Hasarı

Polietilen kaplamalar, gazlama çalışmaları esnasında hatta basılan kreyojenik azot gazının ortamın ısısını düşürerek buzlanma oluşmakta ve polietilen kaplamalar kaplama özelliklerini yitirip gevrekleşebilmektedir. Şekil 6. 17'de gevrekleşmiş polietilen kaplamaya örnek verilmiştir.



Şekil 6. 17 Polietilen kaplamanın gevrekleşip çatlaması

6.2.6 Flanşlı By- Pass Vanaları

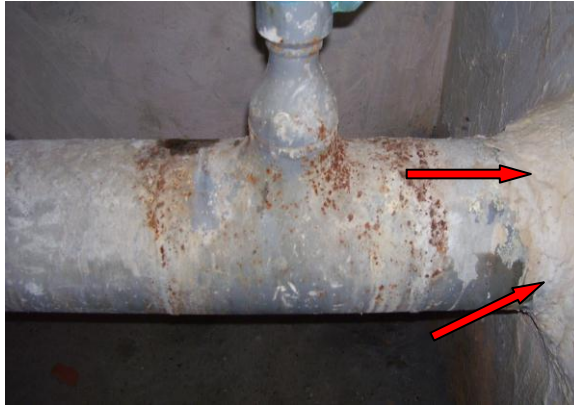
By-pass vanalarının flanş aralıklarının bakımı ve kumlama temizliği yapılmadığından flanşlı kısım aralık korozyonuna neden olabilmektedir. Bu flanşlar basınç altında oldukları için yenileriyle de değiştirilememektedir. Şekil 6. 18'de korozyona uğramış flanş örneği verilmiştir.



Şekil 6. 18 Flanşlı By-Pass vanalarında aralık korozyonu

6.2.7 Doğal Gaz Vanası Borusunun Duvar Girişleri

Boruların vana odası duvarına giriş ve çıkış yerleri, su sızmasını engellemek amaçlı olarak çimento esaslı dolgu harçlarla izole edilmiştir. Zamanla su sızıışı tekrar başlayabilmektedir. İzole dolgu harçların altı görülemediğinden görsel kontrol yapılamamaktadır. Yapılan gözlemlerde kırılan izole dolgu harçların altında korozyon meydana geldiği görülmüştür. Şekil 6. 19'da borunun duvar giriş yerinin dolgu harçlarla izolasyonu örneği verilmiştir.



Şekil 6. 19 Boru duvar giriş yeri dolgu harcı ile izolasyonu

6.2.8 Doğal Gaz Vanalarında Kirlilik Ve Nem

Vana odalarına suyla birlikte yüzeydeki her türlü kirlilik ve çamur da girmektedir. Doğal gaz borusu havaya göre soğuk olduğu için boru yüzeyinde her zaman nem filmi oluşmaktadır. Şekil 6. 20 (a) ve (b)'de vana odasındaki kirlilik ve nem nedeniyle duvarlarda meydana gelmiş yoğuşmaya örnek verilmiştir.



Şekil 6. 20 (a) Boruda kirlilik ve çamur (b) Tavanda nem nedeniyle oluşmuş su damlaları

6.2.9 Doğal Gaz Vanalarında Hatalı Termoplastik Sıcak Sargı Uygulaması

Doğal gaz borusu içinden sürekli gaz akışı nedeniyle boru yüzeyinde yoğun ısı soğurulması olmaktadır. Çıplak boru yüzeyi, bir ısı kaynağıyla ısıtılarak, sıcak sargı uygulaması mümkün değildir. Termoplastik sıcak sargının bu hatalı uygulaması sonucu yeterince yüzeye yapışamamış olan kaplama altında korozyon meydana gelmiştir. Hatalı sıcak sargı uygulaması şekil 6. 21'de verilmiştir.



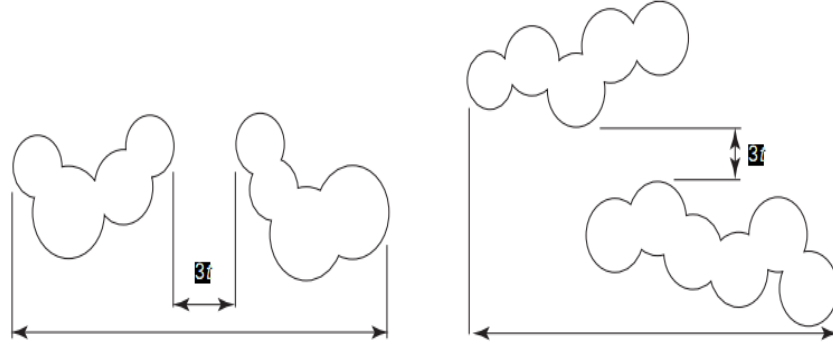
Şekil 6. 21 Hatalı sıcak sargı uygulaması sonrası oluşmuş korozyon

REHABİLİTASYON ÖNERİLERİ

7.1 Metal Kayıplarının ASME B31G Standartına Göre Değerlendirilmesi

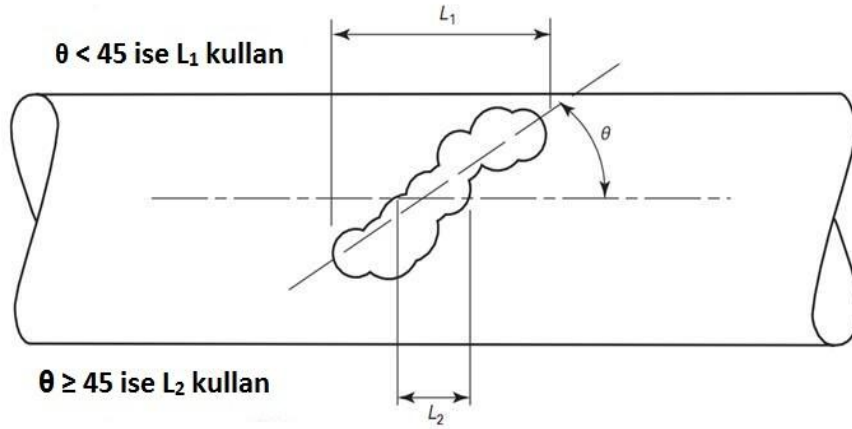
İç veya dış korozyon nedeniyle metalik et kayıplarının olduğu boru hatlarının mukavemet açısından etkinliğinin değerlendirilmesi ile ilgili konuları kapsayan ASME B31G “Manual for determining the remaining strength of corroded pipelines” standardının amacı; basınçlı borularda korozyon nedeniyle meydana gelmiş olan metal et kayıplarının değerlendirilmesinde kılavuzluk yapmaktır. Standart ayrıca diğer boru yüzeyindeki et kayıpları nedenleri olan mekanik hasarlar, çatlaklar, ark yanıkları, imalat hataları ve diğer nedenlerden dolayı hasarın taşınarak meydana gelecek olan metal et kayıplarına da aynı şekilde atıf yapmaktadır. Bir sınırlama olarak bu standart; boruda meydana gelmiş metal kayıplı hasarların, gerilim yığılmalarına (stress riser) neden olmayacak şekilde düzgün geçişli (smooth contour) olmalarını istemektedir.

Standartta dört ayrı değerlendirme düzeyi bulunmaktadır ve bu düzeylerin seçimi ise kullanıcıya bırakılmaktadır. Bu değerlendirmeler; boru malzemesinin nitelik ve niceliğine ait bilgilerinin ulaşılabilir durumuna ve uygulanabilirliğine göre düzey 0, düzey 1, düzey 2, düzey 3 şeklindedir. Düzey 0 değerlendirmesi; her çap boru için hata (metal kaybı) derinliği ve boru et kalınlığı değerleri göz önünde bulundurularak müsaade edilir hata uzunluğunu içeren tablolara sahiptir. Düzey 0 değerlendirmesinde, korozyonlu bölgelerin değerlendirmesi detaylı hesaplamalara gerek kalmadan sahada kolaylıkla yapılabilir. Şekil 7. 1’de korozyonlu boruda 3t mesafe için etkin pitting korozyonun boyuna uzunluğu verilmiştir. [41]



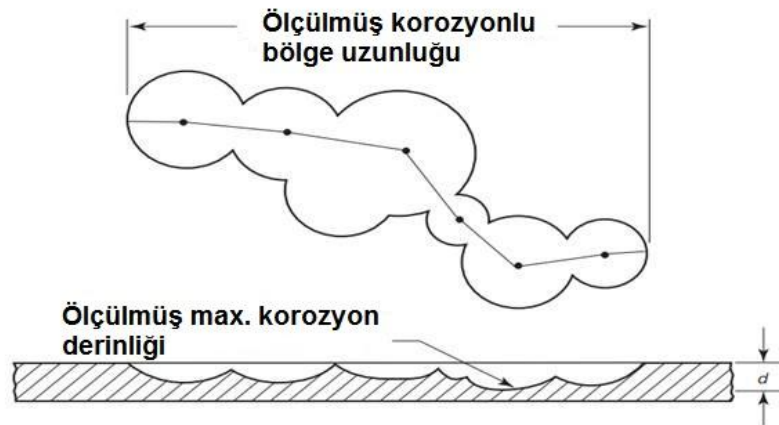
Şekil 7. 1 Korozyonlu boruda 3t mesafe için etkin pitting boyuna uzunluğu [41]

Şekil 7. 2'de helisel pitting uzunluğunun (L_1 , L_2) θ açısına bağlı tayini verilmiştir.



Şekil 7. 2 Metal kaybı meydana gelmiş boruda helisel pitting uzunluklarının (L_1 , L_2) θ açısına bağlı olarak tayini [41]

Şekil 7. 3'de korozyonlu bölgede maksimum pitting derinliği değeri (d) verilmiştir.



Şekil 7. 3 Korozyonlu bölgede maksimum pitting derinliği değeri (d) [41]

Çizelge 7. 1'de boru çapları ≥ 168 mm ve < 168 mm için, müsaade edilebilir hata uzunlukları (L) örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 7. 1 Müsaade edilebilir hata uzunlukları (L) [41]

Derinlik, d mm	Boru et kalınlığı değerleri, t, mm							
	2,1	3,2	4,0	4,8	5,2	5,6	6,4	7,9
0,3	84,4	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok
0,5	38,8	103,6	115,7	97,4	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok
0,8	22,4	48,0	85,6	127	132,0	137,1	146,4	Limit yok
1,0	16,4	31,8	48,1	73,8	91,6	118,1	146,4	163,6
1,3	13,0	24,6	35,5	50,0	58,5	69,3	98,0	163,6
1,5	10,7	20,3	28,7	39,1	44,9	51,7	67,8	121,1
1,8	...	17,3	24,3	32,6	37,1	42,2	53,6	85,5
2,0	...	15,0	21,1	28,2	31,9	36,0	45,0	68,1
2,3	...	13,1	18,7	24,9	28,1	31,6	39,1	57,4
2,5	...	11,6	16,7	22,3	25,1	28,3	34,8	50,2
2,8	...	...	15,0	20,2	22,8	25,6	31,4	44,8
3,0	...	...	13,6	18,4	20,8	23,4	28,7	40,6
3,3	...	...	...	16,9	19,1	21,5	26,4	37,2
3,6	...	...	...	15,5	17,6	19,8	24,4	34,4
3,8	...	...	...	14,3	16,3	18,4	22,7	32,0
4,1	...	...	...	...	15,1	17,1	21,2	29,9
4,3	...	...	...	...	...	15,9	19,8	28,0

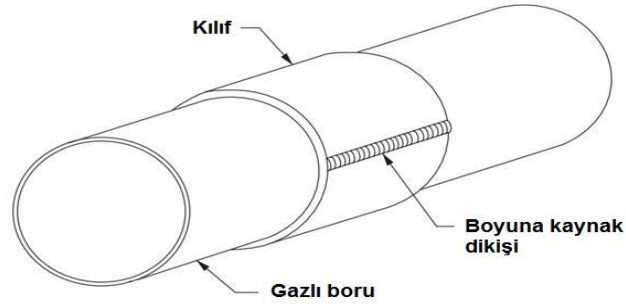
7.2 ASME PCC-2 Standardına Göre Korozyon Hasarlarının Tamirâtı

Basıncılı ekipman ve boruların tamiri konularını kapsayan ASME PCC-2 "Repair of pressure equipment and piping" standardının amacı; basınçlandırılmış, işletme altındaki boru hattında yapılan incelemeler ve hata değerlendirmeleri neticesinde meydana gelmiş metal kayıpları nedeniyle gerekli görülen tamirat yöntemlerini, teknik

bilgileri, prosedürleri, tavsiyeleri ve üzerinde konsensüs olan mühendislik uygulama ve çözümlerini açıklamaktır.

7.2.1 Korozyon Hasarlı Bölgeye Çevresel Çelik Kılıf Kaynağı Uygulaması

Bu uygulama; hasarlı bölgeye gaz akışı kesilmeksizin silindirik şekilli çelik kılıfın boru üzerine boyuna ve çevresel kaynaklarla kaynatılarak metalik koruma altına alınmasıdır. Gazlı borunun kaynaklı imalatında, borunun delinme riski bulunduğu için, kaynağı yapacak olan kaynakçılar, kaynağı yapacak yeteneğe ve sertifikalara sahip olmalıdırlar. Sertifikalandırma çalışmaları, onaylı kaynak prosedürüne göre ve en önemlisi canlı boru hattı simüle edilmiş şartlarda kaynakçıların kalifikasyonu yapılmalıdır. Kaynaklı imalata başlamadan, kaynakçı testinin yapılarak, kaynakçının standartların öngördüğü kalitede kaynak yapabilme kabiliyetine sahip olup olmadığı belirlenmelidir [42]. Yapılan kılıf kaynağında meydana gelebilecek olası hataların ultrasonik muayene ile tahribatsız olarak kontrolünün yapılması gerekmektedir. Şekil 7. 4 ve Şekil 7. 5'te hasarlı bölgeye kaynaklı çelik kılıf uygulamasına örnekler verilmiştir.



Şekil 7. 4 Korozyon hasarlı bölgeye kaynaklı çelik kılıf uygulaması [43]



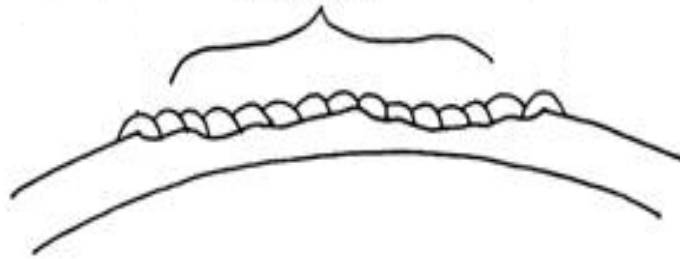
Şekil 7. 5 Korozyon hasarlı bölgeye çelik kılıf kaynatılması

7.2.2 Dış Korozyon Hasarlı Bölgeye Dolgu Kaynağı Uygulaması

Pitting korozyonu nedeniyle yaşanan metal et kayıplarının alternatif olarak dolgu kaynağı ile doldurularak tamir edilmesi çevresel kılıf kaynağı uygulamasına göre uygulama kolaylığı sebebiyle oldukça caziptir. Dirseklerdeki metal et kayıplarının çevresel kılıf kaynağı uygulamasına uygun olmaması, dolgu kaynağını, buralarda daha da cazip hale getirmektedir.

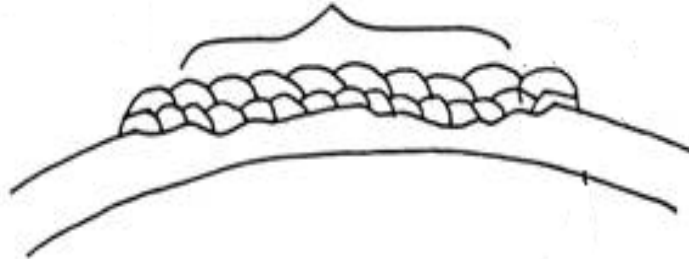
Pitting korozyonuna uğramış gazlı borunun metal kaybının bulunduğu yerde yapılacak olan dolgu kaynağının yetersiz et kalınlığı, kaynağın yüksek ısı girdisi veya yüksek ark gücü nedeniyle delinip boru dışına gaz çıkma riski mevcuttur. Gazlı boruda yakıp delme hatasını en aza indirmek için seçilecek olan kaynak yöntemi ve uygun elektrot seçimi çok önemlidir [44]. Düşük hidrojenli elektrotların ark güçleri düşük olduğundan ve küçük çaplı elektrotlarda düşük amper kullanıldığından ısı girdileri de az olacaktır. Şekil 7. 6, şekil 7. 7 ve şekil 7. 8'de gazlı boruda pitting üzerine dolgu kaynağı uygulaması verilmiştir.

Piting üzerine 1. tamir kaynak pasosu



Şekil 7. 6 Gazlı boruda pitting üzerine dolgu kaynağı 1. paso uygulaması [45]

Piting üzerine 2. tamir kaynağı pasosu



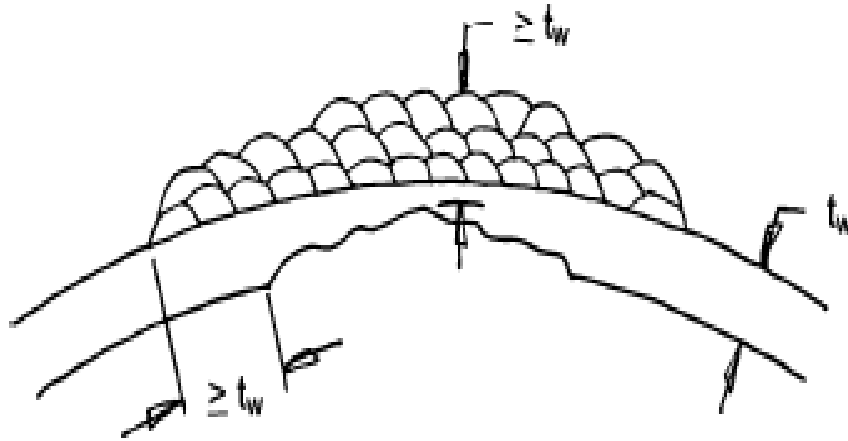
Şekil 7. 7 Gazlı boruda pitting üzerine dolgu kaynağı 2. paso uygulaması [45]



Şekil 7. 8 Gazlı boruda pitting korozyonu üzerine yapılmış dolgu kaynağı pasoları [45]

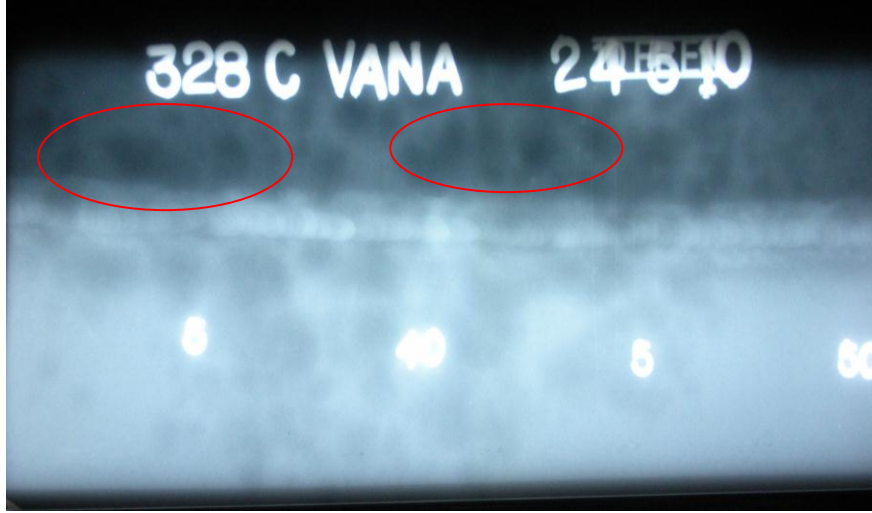
7.2.3 İç Korozyon Hasarlı Bölgeye Dolgu Kaynağı Uygulaması

Pitting korozyonu nedeniyle meydana gelen metalik et kayıpları gazlı boru içinde de meydana gelebilir. Boru içindeki metalik et kayıpları radyografik muayene veya ultrasonik et kalınlığı ölçüm cihazıyla kolayca tespit edilebilmektedir. Şekil 7. 9'da boruda iç korozyonlu bölge üzerine yapılacak olan dolgu kaynağının paso sayısı ve et kalınlığı miktarını gösteren uygulama örneği verilmiştir.



Şekil 7. 9 Boruda iç korozyonlu bölge üzerine dolgu kaynağı [45]

Şekil 7.10'da radyografik film üzerindeki siyah lekeler pitting korozyonunun varlığını göstermektedir. Siyah lekelerin resmettiği et kayıpları değerleri modern x-ray cihazlarıyla kolayca hesaplanabilmektedir.



Şekil 7. 10 Gazlı boruda iç korozyonlu bölgenin radyografik görüntüsü

Borunun Orijinal et kalınlığından yola çıkarak, iç korozyonlu bölgedeki et kalınlığı kaybı ultrasonik yöntemle de sahada kolayca bulunabilmektedir. Şekil 7. 11'de gazlı boruda ultrasonik cihazla, metal et kalınlığı ölçümü yöntemi verilmiştir.

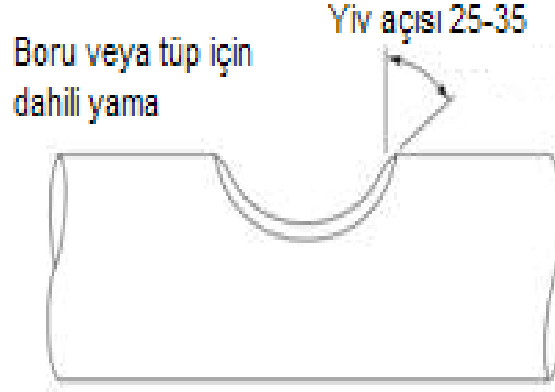


Şekil 7. 11 Gazlı boruda ultrasonik cihazla metal et kalınlığı ölçümü yöntemi.

7.2.4 Korozyon Hasarlı Bölgenin Çıkarılıp Dahili Yama Kaynağı Yapılması

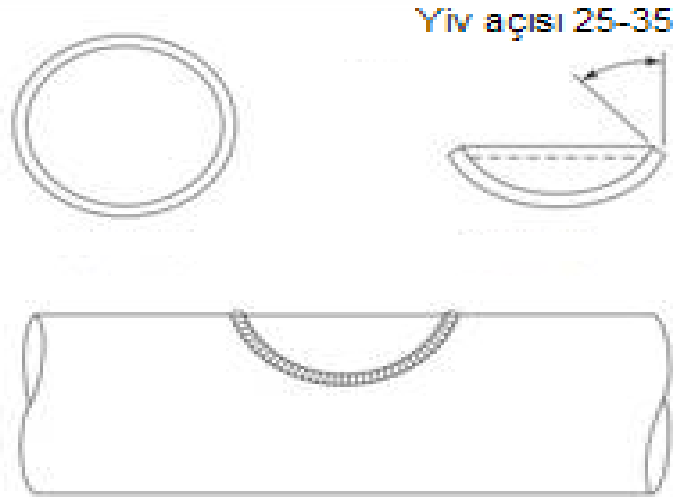
Pitting korozyonu nedeniyle meydana gelmiş lokal metalik et kayıplarının olduğu bölgede hot-tap fitting kaynağı, delme ve tıkama (stopple) çalışmalarıyla gazsızlaştırılmış canlı boru hattından dairesel kupon çıkarılarak yerine dahili yama kaynağı yapılabilir. Ancak dahili yama malzemesi aynı sınıf çelik boru malzemesinden

veya yapım standardının istediği şartları sağlayan malzemeden olmalıdır. Dahili yamanın et kalınlığı değerı de, ana boru malzemesinin et kalınlığından az olmamalıdır. Bu uygulama özellikle büyük çaplı borularda daha uygundur. Şekil 7. 12 gazsız boruda pitting nedeniyle yapılacak dahili yama kaynağı öncesi örnek verilmiştir.



Şekil 7. 12 Gazsız boruda pitting nedeniyle yapılacak dahili yama kaynağı ncesi [43]

Gazsızlaştırılmış boruda pitting hasarı nedeniyle yapılmış dahili yama kaynağı sonrası rneği Şekil 7. 13'de verilmiştir.



Şekil 7. 13 Gazsız boruda pitting nedeniyle yapılmış dahili yama kaynağı [43]

7.2.5 Korozyon Hasarlı Borunun ıkarılıp Araya Parça Boru Kaynatılması

Metal kaybının fazla olduğu pitting korozyonunda gazlı boru hattının gazsızlaŐtırılarak, hasarlı borunun çıkarılıp sağlam borunun yerine kaynak edilmesi gerekir. Bu iŐlem

pahalıdır ve gazlı ortamlarda çalışıldığı için riskleri vardır. Şekil 7. 14'te gazsızlaştırma işlemi sonrası yeni boru hattının bağlantı (tie-in) kaynağı işlemi verilmiştir.



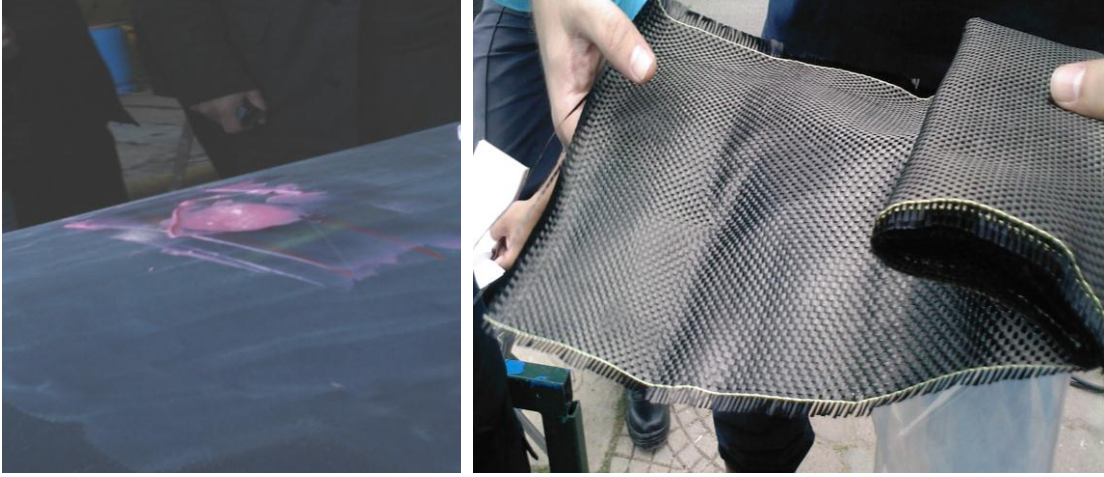
Şekil 7. 14 Gazsızlaştırma işlemi sonrası yeni boru hattının kaynak işlemi

7.2.6 Metalik Olmayan Kompozit Tamir Sistemleri Uygulaması

Kompozit malzemeler, boru hatlarında meydana gelmiş hasarların veya korozyon nedeniyle yaşanan metalik et kalınlığı kayıplarının, dengelenmesi amacıyla, kullanımları her geçen gün artan kalıcı tamir malzemeleridir [46]. İnovasyon ürünü fiber karbon kompozit tamir sistemleri, kolay ve uygulanabilirliği ile ön plana çıktığından, doğal gaz sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Metalik et kaybı hasarı nedeniyle artmış olan hoop stresi, kompozit tamir malzemelerinin içerdiği yüksek mukavemetli dolgu malzemesi sayesinde kompozit tamir malzemesine aktarmaktır.

Kompozit tamir malzemeleri, oldukça farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin kombinasyonu olup, bir araya geldiklerinde daha mukavemetli malzemeleri meydana getirirler. Örnek olarak karbon fiber kompozit malzeme, çelikten 4 kat daha hafif olmasına rağmen 10 kata kadar daha mukavemetlidir. Kompozitler, yorulma göstermezler ve korozyona uğramazlar. Boru hatlarında % 80 metalik et kayıplarına kadar kullanılabilirler [47]. Gazlı hatlarda kaynak işlemi gerektirmezler, dolayısıyla riskleri yoktur. Ancak uygulanmaları uzmanlık

gerektirir ve sertifikalı personele ihtiyaç duyulur. Boru çapına bağlı olarak, iki personelle, kürlenme süresi hariç 30-50 dakika gibi kısa sürede uygulanırlar. Ekonomik bir ürün olup, üreticiler 50 yıl gibi kalıcı tamir sürelerini vaat etmektedirler. Şekil 7. 15 (a)'da Hasarlı boruya dolgu malzemesi uygulanması, şekil 7. 15 (b)'de Fiber karbon kompozit tamir malzemesi verilmiştir.



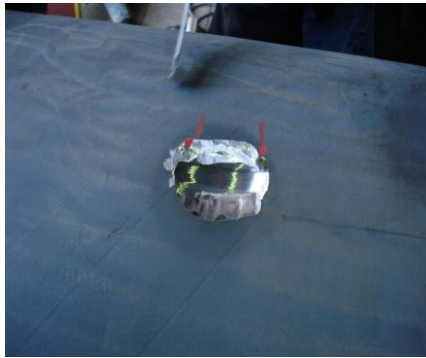
Şekil 7. 15 (a) Hasarlı boruya dolgu malzemesi uygulanması (b) Fiber karbon kompozit tamir malzemesi

7.2.6.1 Metalik Olmayan Kompozit Tamir Sistemlerinin Mukavemet Testi

Kompozit tamir sistemlerinin dayanımlarını ölçmek amacıyla mukavemet testleri hidrostatik test düzeneği hazırlanarak yapılabilmektedir. Bu testi gerçekleştirmek için 24" çapında 8,1 mm et kalınlığında doğal gaz borusunun her iki tarafına kep kaynakılarak basınçlı kap barometresi ve tahliye bağlantıları ile test düzeneği hazırlanmıştır. 24" çaplı boru API 5L GrB malzeme ile ASTM A 234 fitting kep malzemesi ile kaynak prosedürüne uygun olarak kaynakılmıştır. Kaynakların radyografik filmleri çekilerek uygunluğu saptanmıştır. Tahliye ve barometre bağlantıları için boru üzerine dişli bağlantı elemanı (threadolet) kaynakları yapılmıştır. Şekil 7. 15'te 24" çelik boruya 60 mm boyunda, 60 mm eninde ve 6,4 mm derinliğinde % 80 boru et kalınlığına tekabül eden metal taş motoru ile taşlanarak et kaybı hasarı verilmiştir. Derinlik kaybı kalibrasyonlu iğne uçlu derinlik komperatörü ile ölçülmüştür. Taşlama sonrası borunun kalan et kalınlığı 1,7 mm'ye kadar düşürülmüştür. Şekil 7. 16, şekil ve 7. 17 hidrostatik test öncesi parça hazırlığı örnekleri verilmiştir.

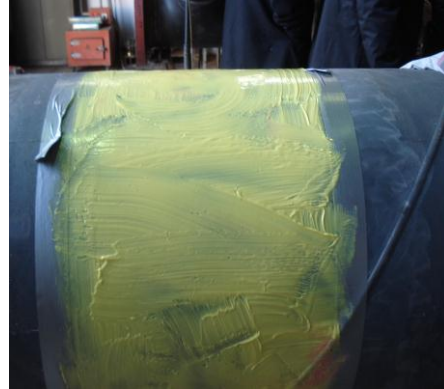


Şekil 7. 16 Hidrostatik test öncesi parça hazırlığı



Şekil 7. 17 (a) Boruya verilmiş hasar (b) Hasar derinliğinin komperatör ile ölçülmesi

Boru yüzeyinde mukavemet testi için oluşturulmuş olan et kalınlığı kaybı hasarının dolgu malzemesi ile doldurulması gerekmektedir. Daha sonra kompozit malzeme uygulanacak olan yüzeyin tümüne yapıştırma amaçlı epoksi reçine uygulanmalıdır. Hasar verilmiş boruya dolgu ve epoksi reçine uygulanması örneği Şekil 7. 18 (a) ve (b)'de verilmiştir.



Şekil 7. 18 (a) Hasara dolgu uygulanması (b) dolgu sonrası epoksi reçine uygulanması

Kompozit malzemenin hasarlı bölgeye sarım işleminden sonra 24 saat kürlenme süresi beklenmiştir. Test parçası, hidrostatik testin uygulanması için 70 bar basınca kadar basınçlandırılmıştır. Test parçası bu koşullarda 1 gün basınçlı olarak bekletilmiştir. Basınç düşümüne, kompozit malzeme uygulanmış hasarlı bölgede veya boru malzemesinde bir deformasyona rastlanmamıştır. Şekil 7. 19 (a) ve (b) kompozit tamir malzemesi ve uygulaması verilmiştir.



Şekil 7. 19 Hidrostatik test sonrası kompozit tamir malzemesi

kompozit tamir malzemesini tahrip amaçlı olarak, başka bir dayanım testinde, test düzeneği, daha yüksek basınç değerlerine basınçlandırılmıştır. Ancak boru, yüksek basınç nedeniyle patlayarak deformasyona uğramış, kompozit tamir malzemesinde ise, herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir. Şekil 7. 20’de kompozit tamir malzemesinin deformasyon amaçlı yapılan, yüksek basınçlı hidrostatik testi verilmiştir.



Şekil 7. 20 Yüksek basınçlı hidrostatik test sonrası boruda meydana gelmiş olan deformasyon. Kompozit malzemede deformasyon yoktur.

Pitting korozyonuna maruz kalmış doğal gaz vana borusuna lokal olarak uygulanmış kompozit tamiri. Şekil 7. 21 (a)'da boruda pitting korozyonu, şekil 7. 21 (b)'de pitting korozyonlu boruya kompozit tamir uygulaması da örnek olarak verilmiştir.



Şekil 7. 21 (a) Korozyonlu bölgenin tamir öncesi ve (b) Kompozit tamir uygulaması

7. 3 Mevcut Doğal Gaz Vana Odalarında Rehabilitasyon Önerileri

7.3.1 Menhol Ve Blow-Down Kapaklarının Yerden Yüksek Olarak İnşa Edilmesi

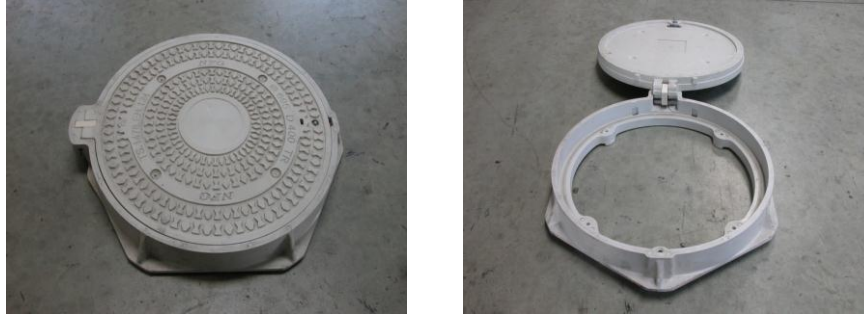
Cadde ve sokaklarda bulunan doğal gaz vana odaları, menhol ve blow-down kapaklarının yüzeye yakın oluşları nedeniyle, yağışlı havalarda yağmur suları altında kalarak su ile dolmaktadır. Vana odaları kaldırımlara alınarak, menhol ve blow-down kapaklarının yerden yüksek olarak inşa edilmesi ile su girişi önlenilecektir. Şekil 7. 22'de kaldırımda vana odası uygulaması örnek olarak verilmiştir.



Şekil 7. 22 Kaldırımda menhol ve blow-down kapaklarının yerden yüksek olduğu vana odası uygulaması.

7.3.2 SMC Malzemedan Yapılmış Menhol Kapaklarının Kullanımı

Menhol kapakları, pik döküm olmaları sebebiyle oldukça ağırdırlar. Açma ve kapama esnasında sızdırmazlığı sağlayan contalar (O-ring) ağır yük altında kalarak ezilebilmekte ve sızdırmazlıklarını kaybedebilmektedirler. Menhol kapakları dökme demirden imal edildiklerinden, gevrek kırılmalık yatkinlıkları nedeniyle bir müddet sonra yük altında çatlayabilmektedirler. Dökme demirden imal edilen menhol kapakları yerine kompozit malzeme olan SMC (Sheet Moulding Compound) malzemeler kullanılabilir. SMC malzemeler genel anlamda kırılmış cam elyafı ve polyester reçinenin tabaka haline gelmiş formudur. Açma-kapama işlemlerinin olumsuz etkileri, kompozit malzemede görülmeyecektir. Şekil 7. 23 Kompozit malzemedan üretilmiş menhol kapakları verilmiştir.



Şekil 7. 23 SMC malzemedan imal edilmiş menhol kapakları

7.3.3 Havalandırma Bacalarının Yağmur Suyu Girmeyecek Şekilde Dizayn Edilmesi

Havalandırma bacalarının ızgaralı veya şapkalı olarak imal edilmiş olmaları, yağışlı havalarda vana odasına su girişine neden olmaktadır. Şekil 7. 24’de ki gibi bir dizayn yağışlı havalarda su girişini engelleyecektir.



Şekil 7. 24 Yağmur suyu girişini önleyen havalandırma bacası

7.3.4 Menhol Kapakları Etrafında Çimento Esaslı Harç Malzemesi Kullanılması

Özellikle yüksek tonajlı araçların, vana odası menhol kapaklarının üzerinden sürekli olarak geçmeleri, kapak çevresindeki beton veya asfaltın, kırılıp parçalanmasına neden olmaktadır. Bu durumda, parçalanmış beton veya asfalttan, vana odasına su girişi olmaktadır. Hızlı dayanım kazanan çimento esaslı, büzülme yapmayan, yüksek mukavemetli, akıcı tipte tamir harçları, menhol kapakları çevresinde kullanılabilir. Şekil 7. 25’de çimento esaslı harç uygulaması örneği verilmiştir.



Şekil 7. 25 Menhol kapağı çevresinde çimento esaslı harç uygulaması

7.3.5 Su Girişlerini Genleşerek Tıkayan Şok Prizli Su Tıkacının Kullanılması

Doğal gaz vana odalarında borunun beton duvara giriş yaptığı yerlerden zamanla su ve sıvı girişi olabilmektedir. Su girişlerini önlemek amacıyla demir donatıyı korozyona uğratmayan, kimyasal ve polimer katkıları içeren silis agregalı, hızla prizini alan çimento olan su tıkaçları kullanılabilir. Şekil 7. 26’da su tıkaçına örnek verilmiştir.



Şekil 7. 26 Su kaçaklarına karşı uygulanan su tıkaçı

7.3.6 Doğal Gaz Vanası Desteklerinin Boruya kaynaklanması

Doğal gaz vanaları çok ağır olduklarından metal desteklerle desteklenirler. Bu metal destekler borulara kaynaklanmadığında boru destek arasındaki aralıkta su ve çamur birikerek korozyona neden olabilmektedir. Metal desteklerin boruya kaynakılarak, aralık korozyonunu önlemek mümkün olabilmektedir. Şekil 7. 27’de metal desteğin, boruya kaynakılmış hali verilmiştir. Korozyon oluşumunun olmadığı görülmektedir.



Şekil 7. 27 Doğal gaz vanasında boruya kaynaklı destek uygulaması

7.3.7 By- Pass Vanalarında Flanş Yerine Kaynaklı Uygulamanın Tercih Edilmesi

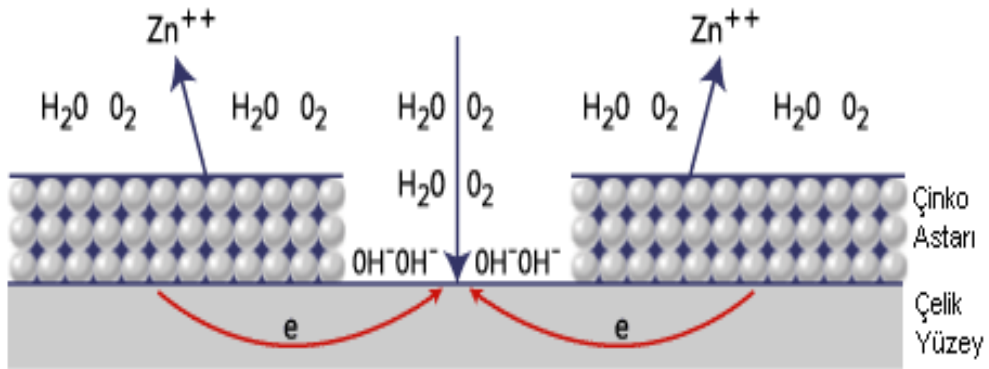
Flanş aralıklarının, su ve çamur biriktirmeleri nedeniyle, aralık korozyonu oluşumuna yatkınlıkları vardır. Bu aralıkların temizlenmesi ve boyanması kolay olamamaktadır. Flanşlı imalat yerine, kaynaklı imalat tercih edilmelidir. Şekil 7. 28’de kaynaklı vana örneği verilmiştir.



Şekil 7. 28 By-pass vanada flanş yerine kaynaklı imalatın tercih edilmesi

7.3.8 Boru ve Vanada Korozyondan Korunma Amaçlı Soğuk Galvanizleme Uygulaması

Soğuk çinko galvanize sistemler, sıcak daldırmaya alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Korunacak olan metali hem aktif hem de pasif olarak korurlar. Kullanımları standartlarda da yerini almıştır. Boya değildirler. Çinko içerikleri % 96 seviyelerine ulaşabilmektedir [48]. Çinkonun elektromotor potansiyeli demire göre oldukça büyüktür. Korunacak olan metalin çinko ile kaplanması korozif ortam ile fiziksel bir bariyer oluşturacaktır. Bu bariyer hasar görmesi durumunda çinko kurban anot görevini görecektir. Çinko, atmosfere maruz kaldığında, oksijen ile reaksiyona girerek çinko oksit, çinko oksitin su ile temasıyla da çinko hidroksit meydana gelecektir. Son olarak çinko hidroksit, atmosferdeki karbondioksit ile reaksiyona girerek ince, geçirimsiz, çözünmeyen ve yüzeye sıkıca tutunan gri çinko karbonatı meydana getirerek alüminyum ve paslanmaz çelikte olduğu gibi oksit tabakaları ile korozyonu önleyecektir. Şekil 7. 29'de soğuk galvanizlemenin elektrolitik ortamda çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 7. 29 Elektrolitik ortamda çeliğin korozyona karşı galvanik korunması [49]

7.3.9 Doğal Gaz Vana Odalarının Yer Üstü Uygulaması

Doğal gaz vana odalarının park veya yeşil alanlar gibi yerlerde yer üstü uygulaması, korozyon tehlikesi açısından en sorunsuz olanıdır. Şekil 7. 30 (a)'da görüldüğü gibi yer üstü vana uygulamasında yapılan incelemelerde vana ve borularda korozyon görülmemiştir. Şehir içerisinde yer üstü vana uygulaması için uygun alan bulma sorunu, uygulamanın dezavantajlı yönü olmaktadır. Şekil 7. 30 (b)'de yer üstü vana odası uygulamasının dış görünüşü verilmiştir.



Şekil 7. 30 (a) Yer üstü vana odası uygulaması iç görünüşü (b) Yer üstü vana odası uygulaması dış görünüşü

7.3.10 Doğal Gaz Vana Odalarının Deplase Edilmesi

Önceki bölümlerde yağışlı havalarda doğal gaz vana odalarına su girişi olduğundan bahsedilmişti. Vana odalarına su girişlerinin önlenmesine yönelik alınacak tedbirlerin yetersiz kalacağı yerler için bu vana odalarının su girişine maruz kalmayacak şekilde şehir içinde uygun olan başka yerlere deplase edilmesi gerekir. Ancak her bir deplase işlemi getireceği yüksek operasyon maliyeti yanında, kaynak esnasında borunun delinmesi ile sonuçlanabilecek gazlı ortamda çalışma risklerini de beraberinde getirecektir [50]. Şekil 7. 31’da doğal gaz boru hattının deplasesi için yapılan stopple operasyonu verilmiştir.



Şekil 7. 31 Doğal gaz boru hattının deplasesi için yapılan stopple operasyonu

SONUÇ VE ÖNERİLER

Korozyonun oluşumunda ve önlenmesinde tasarımın önemi açıktır. Hatalı tasarımlar, yanlış malzeme seçimleri ve uygulama hatalarının önüne geçilmesinin yanında, korozyonla etkin mücadele yöntemleri ve hasara uğramış boruların tamir yöntemlerinin de doğru seçilmesi çok önemlidir. Doğal gaz sektöründe ve benzer sektörlerde yapılacak kıyaslama (benchmarking) çalışmaları da korozyondan korunma hakkında farklı fikirler vermektedir. Örneğin bir petrokimya sanayi tesisi olan Petkim’de dışı bitümlü kaplanarak toprak altına gömülmüş borularda pitting korozyonu nedeniyle delinmeler meydana geldiği, dış akım kaynaklı katodik koruma uygulanarak korumaya alınan borularda meydana gelen bu delinmelerin azaldığı rapor edilmiştir [51].

Doğal gaz iletim ve dağıtım sektöründe kilometrelerce uzunlukta olan ve yeraltında gömülü olarak bulunan 4-42 inç çaplı çelik borularda 20-70 bar arasında yüksek basınçlarda çalışıldığından, korozyon hasarlarının sebebiyet vereceği delinmeler nedeniyle yaşanacak olası tehlikelerin önemi özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan büyük şehirlerde daha da artmaktadır. Ayrıca korozyonun neden olabileceği ekonomik kayıplar, ürün kayıpları, verim kayıpları, tesisin servis dışı kalması ve çevreye vereceği riskler yanında unutulmamalıdır ki ülkemizde elektrik üretiminin büyük bir bölümü de çevrim santrallerinde doğal gazdan elde edildiğinden kesintisiz gaz arzının sürekliliği çok önemlidir.

Bu çalışmada özellikle şu sonuçlara varılmıştır:

1. Korozyondan korunma yöntemlerinde doğal gaz vana odalarında uygun tasarımın ön plana çıktığı açık ve net olarak görülmüştür. Su girişi ve kirliliğin yoğun olduğu vana odalarında boru ve vanalarda korozyon oluşumu daha hızlıdır. Su girişi az olan vana odalarında ise nem ve rutubetle birlikte tavanda yoğuşmalar olduğu, boru ve vanalarda korozyon meydana geldiği tespit edilmiştir. Su girişi meydana gelmeyen vana odalarında bakımı yapılmış boyalı borularda korozyon meydana gelmemiştir. Ancak boru içinden geçen gazın sıcaklığı ortam sıcaklığından düşük olduğunda boru yüzeyinde yoğuşma ve terlemeler meydana geldiği, bunun da korozyon oluşumunu desteklediği tespit edilmiştir.
2. Doğal gaz vana odalarında, kaplama ve boyaların korozyondan korunmada katkısı oldukça büyüktür. Ortamın korozif etkilerine karşı fiziksel bir bariyer olan kaplama ve boyaların, yerinde ve uygun kullanıldığında korozyon oluşumunu engellediği tespit edilmiştir. Ancak kaplama ve boyaların hasar almamış olması gerekmektedir. Aksi takdirde hasarlı bölge anot olacak ve korozyon oluşumu başlayacaktır.
3. Oda tipi doğal gaz vana odaları toprağa gömülü olmadıklarından kısmen atmosfere açık ortamlardır. Katodik koruma iyonik ortamlarda çalıştığından vana odalarındaki vana ve borular katodik koruma sistemi tarafından korunamamaktadırlar.
4. Gömülü tip vana odaları, oda tipi vana odalarına alternatif olarak düşünülmüştür. Gömülü tip vana odalarında boru ve vanalar gömülü olduklarından korozyondan korunmada katodik korunmadan yararlanabilmektedirler. Ancak gömülü vana odalarına su girişi olması durumunda dolgu malzemesi çökmekte veya taşınmakta vana ve boruların açığa çıkarak katodik korumasız kalmakta olduğu tespit edilmiştir.
5. Aralık korozyonuna neden olacak şekildeki uygulamalarda, korozyon oluşumunun oldukça hızlı olduğu görülmüştür. Özellikle metal desteklerle desteklenmiş vanalarda, aralıkta biriken kirlilikle birlikte yoğun pitting

korozyonu tespit edilmiştir. Aralık korozyonunun önlenmesi için kaynaklı imalatlar tercih edilmelidir.

6. Korozyonla mücadelede insan faktörü çok önemlidir. Hatalı uygulama ve boya öncesi temizlik veya kumlama yetersizliği, prosedüre uymayan uygulamalar gibi bakım çalışmaları yarar yerine zarar verebilir. Bakım ve onarım işleri, doğal gaz işletme bakım operatörleri tarafından gerçekleştirilmelidir. Konu ile ilgili teknik şartnameler, prosedürler ve talimatlar hazırlanmalı ve tecrübe edilmiş doğru tek tip uygulamaya gidilmelidir.
7. ASME PCC-2 “Repair of pressure equipment and piping” standardı, doğal gaz vana odalarında, pitting korozyonu nedeniyle metal et kaybı yaşanmış hasarlı boru ve vanalarda tamir yöntemlerini içermektedir. Bu tamir yöntemlerinden olan çelik kılıf kaynağı ve kaynaklı dolguda gazlı ortamda çalışıldığından buralarda ehliyetli, sertifikalı ve aynı zamanda tecrübeli kaynakçılar çalıştırılmalıdır. Aksi takdirde borunun delinmesi ve gaz çıkışı riskleri mevcuttur.
8. Doğal gaz vana odalarında, pitting korozyonu nedeniyle yaşanmış metal et kayıplarının, kaynakla yapılacak tamir amaçlı dolgu yamalarının, metal et kalınlığı azalmış olan gazlı boruyu delme riski bulunduğundan, standartlarda yerini almış fiber kompozit tamir sistemleri kullanılarak, hızlı ve güvenli bir şekilde tamirleri yapılabilmektedir.
9. Su girişlerine müsait olan yerlerde bulunan doğal gaz vana odaları, su girişine engel olacak şekilde tasarlanıp projelendirilmeli, daha uygun yerlere taşınarak inşa edilip, deplase edilmelidir. Ancak her bir deplase işlemi, maliyeti yüksek olup ve gazlı ortamlarda çalışılacağından, riskler dikkate alınarak iyi planlanmalıdır.
10. Doğal gaz vana odalarının yer üstü uygulamalarında su girişlerinin yaşanmadığından, bu uygulamada boru ve vanalarda korozyonun meydana gelmediği tespit edilmiştir.

Doğal gaz sektörü ülkemizde halen hızlı gelişmekte olan bir sektördür. Hali hazırda 70 ilimizde doğal gaz kullanılmaktadır. Doğal gaz sektörünün yumuşak karnı olan doğal gaz

vana odaları, korozyon oluşumlarına ve korozyon hasarlarına çok uygun yerlerdir. Özellikle sektörün içindeki şirket yöneticilerine ve mühendislerine yapılacak çok işler düşmektedir. Bu çalışma, sektörün ihtiyaçlarına ışık tutacaktır. Ayrıca korozyondan korunma amaçlı doğal gaz vana odalarındaki boru ve vanalarda metal üzerine uygulanabilecek soğuk galvanizleme (Cold Galvanizing) uygulanabilirliğinin ve neticelerinin araştırılması yaşanan korozyon problemlerini önleme ve durdurma amaçlı alternatif bir çözüm olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] İGDAŞ, İstanbul Gaz Dağıtım Sanayii ve Ticaret A.Ş, İGDAŞ Yayınları, Şebeke Aktiviteleri, İstanbul, 1999.
- [2] QYV, Shanghai Qiuyi Valve Co., Forged Trunnion Ball Valve, <http://www.valvesellers.com>, 1995-2009.
- [3] SUNGO Valves Group Co., Ltd. <http://www.sungovalve.com/en/product.asp>, 2002.
- [4] İGDAŞ, İstanbul Gaz Dağıtım Sanayii ve Ticaret A.Ş, Vana Odası Yapım Kontrol Talimatı Revizyon No:3, 15.07.2010, 5-6.
- [5] FRACDALLAS, Pipeline Explosions, <http://fracdallas.org/docs/pipelines.html>, 2012
- [6] Parfomak Paul W., Pipeline Security: An Overview of Federal Activities and Current Policy Issues, February 2004.
- [7] PHMSA, (2009). U.S Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, <http://www.phmsa.gov/portal/site/PHMSA>
- [8] Hydrocarbon World, Combined In-Line Inspection of Pipelines for Metal Loss and Cracks, December 2006.
- [9] Spetsneftegaz, Magnetic Flux Leakage Tools, <http://www.spetsneftegaz.ru>, Moscow, Russia, 2011.
- [10] ROSEN Metal Loss Inspection, In-Line Inspection, <http://www.roseninspection.net/RosenInternet/InspectionService/ILInspection>
- [11] Bubenik, T., Nestleroth, J.B. ve Leis, B. , Introduction to Smart Pigging in Natural Gas Pipelines, The Gas Research Institute, December 2000.
- [12] Yalçın H. ve Koç T. (1999). Katodik Koruma, Palme Yayınları, Ankara.
- [13] Lower, S., Chem1 Electrochemistry:Introduction, 2005. [14] Anderson Materials Evalution, Inc., <http://www.andersonmaterials.com>, 2010.
- [14] G. Vetteric., Corrosion, <http://in.materials.drexel.edu/blogs>, 2011.
- [15] Üneri, S. (1998). Korozyon ve Önlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi

- Fizikokimya Anabilim Dalı, Korozyon Derneği Yayını, Ankara Kasım 1998.
- [16] Hitit A., Korozyon, <http://www2.aku.edu.tr/hitit/DERSLER/KOROZYON>
- [17] Anderson Materials Evaluation, Inc., <http://www.andersonmaterials.com>, 2010.
- [18] Eryürek İ.B. (1993). Hasar Analizi, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.
- [19] Corrosion Testing Laboratories, Inc, Chloride Stress Corrosion of Buried Steel Pipeline, <http://www.corrosionlab.com>, 1995-2007.
- [20] Corrosioncost, <http://www.corrosioncost.com/pdf/gasliquid.pdf>, Kasım 2008.
- [21] Global e-Marketplace trade, <http://www.gtrade.or.kr>, 2011.
- [22] Toronto, Corrosion Control to Repair and Prevent Leaky Pipes, <http://www.toronto.ca/housing/corrosioncontrol.htm>, Toronto 1998-2012.
- [23] Brown Corrosion Services, Inc., <http://www.browncorrosion.com>, 2012.
- [24] Wikipedia, the free encyclopedia http://en.wikipedia.org/wiki/pourbaix_diagram, 3 February 2012.
- [25] Thoa N., Hoang N. ve Man T., (2010). Corrosion and Protection Of Metals, University of Science Ho Chi Minh City October
- [26] MEGEP (2008). Uçak Bakım Korozyon, Ankara.
- [27] Jotun, Paint School, JPS-E/Corrosion, 2012.
- [28] Anand K., CCS Corrosion Control Services, Managing Electrical Interference on Pipelines.
- [29] Envirosan Inc., Corrosion and Grounding, <http://www.envirosan.com>, 21 march 2012.
- [30] Javia S., Corrtch International Presentation, Pipeline Corrosion and Integrity Issues, 2011.
- [31] Çizmecioğlu, Z., “ İsale Hatlarının Katodik Koruması ”, İstanbul, 1998
- [32] Akdoğan, A., “ Demirdışı Metal ve Alaşımlarının Korozyonu”, 27 Nisan 2009.
- [33] Fırat PE Boru ve Ek Parçaları, Genel Bilgiler, <http://www.firat.com>, 2010.
- [34] CANUSA-CPS, Pipeline Coating Repair Products for Corrosion Protection, <http://www.shrinksleeves.com/products/PRP.htm>, 2012.
- [35] Bredero Shaw, the Global Leader in pipe coating solutions, Anti-Corrosion Solutions, www.brederoshaw.com/solutions/3LPE.htm, 2012.
- [36] ERTEK, Ertek Kimya, BOILER WATER TREATMENT, <http://www.ertekkimya.com>
- [37] Çizmecioğlu, Z., “ İç Tesisat Çelik Borularının Yeraltında Korozyona Karşı Katodik Koruması ” , İGDAŞ Yayınları, 3-14, İstanbul, 2000.
- [38] Aslan H., Akifer Su Hizmetleri, “ Katodik Koruma İstasyonlarının GPRS Üzerinden İzlenmesi ”, Temmuz 2010.
- [39] İgdaş, Adalar 8" boru doğal gaz deniz geçişi, 2006.

- [40] Akçayol, M.A., "Bilgisayar Kontrollü Katodik Koruma Trafo-Redresör Ünitesi Tasarımı ve Uygulaması", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Ankara, 2003.Washington, DC 20460 October 2006.
- [41] ASME B31G (2009). "Manual for determining the remaining strength of corroded pipelines"
- [42] Coley, D. ve Caraballo A., Pipeline Technology Conference 2011, Practical Aspects for the Development of Rehabilitation Strategies for Ageing Onshore Pipelines: A Case Study, 4-5 April, 2011, Hannover Messe, Germany.
- [43] ASME PCC-2 (2008). "Repair of pressure equipment and piping"
- [44] Elhan, S. ve Özarpa, C. (2011). " Canlı Çelik Boru Hatlarında Hot-Tap Fitting Kaynakçı Belgelendirmesi " Kaynak Teknolojisi VIII. Ulusal Kongre ve Sergisi, Kaynak Mühendisliği ve Uygulamaları Bildiriler Kitabı, Ankara.
- [45] Bruce W.A. ve Amend W.E., Guidelines for Pipeline Repair by Direct Deposition of Weld Metal, Sydney, Australia, April 3, 2009.
- [46] Internal Repair of Pipelines Review & Evaluation of Internal Pipeline Repair Trials Report EWI Report September 2004.
- [47] United States Environmental Protection Agency Air and Radiation (6202J) Washington, DC 20460 October 2006.
- [48] Zinga Galvanic Protection, Zinga Technical Data Sheet, <http://www.zinga-uk.com>, 10 December 2008.
- [49] ZRC Worldwide, Technical Data "Reports The Electrical Conductivity of ZRC" http://www.zrcworldwide.com/t_conductivity.asp, 2011.
- [50] API Recommended Practice 2201 Fifth Edition, Procedures for Welding or Hot Tapping on Equipment in Service, July 2003.
- [51] Öztürk F., " PETKİM Petrokimya Tesislerinde Karşılaşılan Korozyon Problemleri ve Çözüm İçin Yapılan Uygulamalar ", Petkim Petrokimya Holding A.Ş., Aliğa-İzmir, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ömer A. ENGİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.06.1970 – Konak/İZMİR
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : oengin@igdass.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Petrol Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	1993
Lise	Fen Bölümü	İzmir Atatürk Lisesi	1988

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
1997-2002	İGDAŞ, Gaz Dağıtım San. Ve Tic. A.Ş	Mühendis

2002-2004	İGDAŞ, Gaz Dağıtım San. Ve Tic. A.Ş	Mühendis
2004-Halen	İGDAŞ, Gaz Dağıtım San. Ve Tic. A.Ş	Teknik Şef

YAYINLARI

Makale

1. Dragos- Adalar Deniz Geçişli Doğal Gaz Çelik Boru Hattı Kaynağı INGAS 07 2. Uluslar arası Doğal gaz İşletmeciliği Sempozyumu ve Sergisi İstanbul 2007

Kitap

1. Sorularla Doğal Gaz Çelik Boru Hattı Kaynağı ve Kontrolü İGDAŞ YAYINLARI 2011